

Licenciatura en Criminalística
Cohorte 2008

Universidad FASTA
Facultad de Ciencias
Jurídicas y Sociales

BALISTICA FORENSE

AÑO

2011

TESIS LICENCIATURA EN CRIMINALISTICA
PRESENTADA POR:

ALEJANDRO LUIS MULLER.-

TUTORES:

EN EL AREA CRIMINALISTICA:

Lic. HERNAN GACIO.-

Lic EUGENIA CARIAC.-

EN EL AREA METODOLOGICA:

Lic. AMELIA RAMIREZ.-

ESTUDIOS SOBRE
RESTOS DE
DEFLAGRACIONES
PRODUCTO DE
DISPAROS DE
ARMAS DE FUEGO

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	Pág. 4.
INTRODUCCION.....	Pág. 5.

CAPITULO I

CONSIDERACIONES GENERALES

.....	Pág. 6.
Mecanismo de Formación de Partículas.....	Pág. 8.
Áreas específicas de deposición de residuos.....	Pág. 9.
Consideraciones generales respecto a la toma de muestras...	Pág. 10.

CAPITULO II

EL ORIGEN DE LOS RESIDUOS DE DISPARO

.....	Pág. 12.
La pólvora.....	Pág. 12.
La pólvora negra.....	Pág. 13.
La pólvora sin humo.....	Pág. 15.
El fulminante.....	Pág. 19.
El arma de fuego.....	Pág. 22.
La vaina.....	Pág. 24.
El proyectil.....	Pág. 25.

CAPITULO III

TECNICAS DE ANALISIS DE RESIDUOS INORGANICOS

.....	Pág. 31.
1) Análisis basados en la detección del Ion Nitrato y Nitrito..	Pág. 31.
Determinaciones sobre armas de fuego.....	Pág. 31.
Procedimientos de análisis de armas de fuego.....	Pág. 32.
Estudios de restos de deflagraciones en las manos del tirador	Pág. 38.
Prueba de la Parafina.....	Pág. 39.
Estudios sobre restos de deflagraciones en ropas.....	Pág. 43.

2) Análisis basados en las pruebas del Rodizonato de Sodio.....	Pág. 49.
3) Análisis por espectrometría de absorción atómica.....	Pág. 54.
Fundamentos del sistema, absorción y emisión atómica.....	Pág. 54.
Fotometría de llama.....	Pág. 55.
Espectrometría de absorción atómica.....	Pág. 56.
Levantamiento de muestras.....	Pág. 59.
4) Análisis por activación neutrónica.....	Pág. 61.
5) Análisis mediante el uso de plasma acoplado por inducción...	Pág. 62.
6) Análisis por microscopia de barrido electrónico (SEM) y espectroscopia dispersiva de energía (EDX).....	Pág. 66.
Principio de funcionamiento.....	Pág. 66.
Como son las partículas de residuos de disparos de tipo orgánico	Pág. 67.
Diferentes métodos de toma de muestras.....	Pág. 70.
Modelo de acta de levantamiento mediante Kit para SEM/EDX...	Pág. 76.
Posibles fuentes ambientales de contaminación.....	Pág. 77.

CAPITULO IV

TECNICAS DE ANALISIS DE RESIDUOS ORGANICOS

.....	Pág. 80.
1) Cromatografía de gases.....	Pág. 80.
Columnas de sistemas de control de temperatura.....	Pág. 82.
Columnas de relleno.....	Pág. 84.
2) La cromatografía líquida de alta resolución.....	Pág. 87.
3) Electroforesis capilar.....	Pág. 90.
4) Otras técnicas aplicadas al análisis de los residuos de disparos	Pág. 93.

CAPITULO V

ASPECTOS LEGALES

.....	Pág. 96.
Validez de la prueba de Espectroscopia de Absorción Atómica...	Pág. 98.
Validez de la prueba de Microscopía de Barrido Electrónico.....	Pág. 101.
Breve exposición de casos judiciales relacionados con el tema...	Pág. 104.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.....	Pág. 117.
ANEXO I: CUADRO RESUMEN DE TECNICAS APLICADAS Y VALIDEZ DE LAS MISMAS.....	Pág. 121.

GLOSARIO TERMINOS ESPECIFICOS.....	Pág. 124.
BIBLIOGRAFIA UTILIZADA	Pág. 132.

AGRADECIMIENTOS

A mi esposa Paola y mis tres hijos Alejandro, Luis y Benjamín, por su apoyo incondicional, en esta difícil profesión dentro de la Institución Policial a la cuál pertenezco, el sacrificio y el haberle restado parte de mí tiempo que dedico a esta vocación.

A la universidad FASTA por haberme brindado este espacio y la oportunidad de enriquecer mis conocimientos posibilitando mí desarrollo intelectual.

A mis profesores de balística y química balística por haberme brindado sus conocimientos, inculcando en mí el afán por la investigación y la búsqueda de la verdad.-

Y un especial agradecimiento:

Al Sr. MARTIN ORELLANO, quién en forma desinteresada trabajó en la traducción de diferentes textos del inglés utilizados y en la compaginación del presente trabajo.

Al Bioquímico CARLOS ARUA, Jefe del Laboratorio Químico Pericial de la Policía de la Provincia de Buenos Aires con asiento en la ciudad de Bahía Blanca, quién prestó su desinteresada colaboración en la provisión de reactivos químicos para efectuar algunas de las prácticas realizadas.

Al Farmacéutico de Gonzales Chaves Dr. CARLOS DE FRANCESCO, quién brindó sus conocimientos profesionales y realizó algunos de los preparados utilizados en el presente trabajo.

A miembros de la Asesoría Pericial del Poder Judicial de la Provincia de Buenos Aires, quienes me permitieron la visita a sus instalaciones y brindaron información respecto al Espectrómetro de Absorción Atómica.

A miembros del Laboratorio Químico Pericial de la Policía de la Provincia de Buenos Aires, con asiento en la ciudad de La Plata, quienes permitieron obtener fotografías del SEM/EDX de uso en esa dependencia y aportaron apuntes respecto al funcionamiento del mismo.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se describen una serie de técnicas y procedimientos destinados a la detección y posterior procesamiento de los restos de deflagraciones producidos por disparos de armas de fuego con la intención de sistematizar una serie de herramientas de utilidad a la hora de realizar diferentes determinaciones tendientes a establecer la existencia o no de restos de deflagraciones en el arma de fuego presuntamente utilizada en el hecho, en las manos de un presunto tirador, en las prendas de la víctima o en el sector próximo al orificio de ingreso del proyectil.

Se explica el fenómeno por el cual se generan los residuos de disparos, el origen de los mismos, la forma de deposición en los diferentes soportes y luego, teniéndose en cuenta el origen de los residuos, se efectúa una diferenciación entre residuos de tipo orgánico e inorgánicos, describiéndose además las diferentes técnicas de recolección, procesamiento y análisis, mencionándose también la interpretación que de sus resultados realiza la administración de justicia, para luego concluir en un resumen final de las diferentes técnicas empleadas, la conveniencia de su aplicación en cada caso y la validez e interpretación de estas.

Esta área de estudio de la Criminalística es, en ocasiones, subestimada y poco apreciada existiendo al respecto escasa información y bibliografía, siendo que sin embargo resultan de vital importancia a la hora de diferenciar entre otras, una acción homicida de una suicida o reconstruir un hecho criminal tanto culposo como doloso en el cuál se vean involucradas armas de fuego.

Con lo cual estos estudios, las técnicas aplicadas y la correcta interpretación de los resultados obtenidos resultan de singular interés en la labor pericial ampliando nuestros conocimientos sobre el tema, en este sentido, el trabajo intenta desarrollar no sólo conocimientos teóricos sobre el tema sino también de tipo práctico recreándose algunas de las diferentes técnicas de detección de restos de deflagraciones conocidas, discutiéndose el grado de sensibilidad de estas y la correcta interpretación de sus resultados.

CAPITULO I

CONSIDERACIONES GENERALES

“Los restos microscópicos que cubren nuestras ropas y nuestros cuerpos, son testigos mudos, seguros y fieles, de nuestros movimientos y de nuestros encuentros”

Edmond Locard (1877-1966 criminalista francés).

Una vez producido el disparo los residuos generados por este proceso químico, son proyectados hacia adelante y hacia atrás, diseminándose además en el interior del arma de fuego permitiendo este fenómeno el análisis químico de los mismos. Entre los restos proyectados encontramos residuos producto de la deflagración de la pólvora y de la explosión del sebo fulminante, como también del proyectil, su encamisado y de la vaina del cartucho entre otros.

Respecto a los restos proyectados hacia el frente, a través de los mismos, es posible establecer la distancia desde la cual fue disparada el arma, y hacia atrás es posible determinar si una persona ha hecho uso de dicha arma de fuego ya que estas partículas se asientan sobre la mano de quien ha efectuado el disparo, como así también en un sector próximo a las mismas como pueden ser sus ropas u otros objetos cercanos.

De acuerdo a lo enunciado y a través de numerosos estudios realizados mediante el uso de fotografía de alta velocidad se ha establecido que parte de los residuos son expulsados por el cañón del arma y otros en la explosión a través del sector próximo a la aguja percutora, los primeros pueden clasificarse en tres categorías;

Primarios; los residuos salen del cañón antes del proyectil.

Secundarios: los residuos salen del cañón junto al proyectil.

Terciarios: los residuos salen del cañón después del proyectil.

En cuanto a los residuos provenientes de la explosión generada en la parte trasera del arma también se ha logrado demostrar que la mayoría de los residuos depositados sobre las manos de los tiradores de armas de fuego provenían de este sitio (en armas sucias sin embargo se observó una superposición de residuos de la boca y del gatillo)¹, lográndose también comprobar de esta manera que en la deposición de los residuos en las manos del tirador, tienen también influencia los factores ambientales, como por ejemplo la velocidad y dirección del viento (en lugares abiertos).

¹ Cfr. Dalvy, Oliver, et al., “Análisis of Gunshot Residue and Associated Materials”, en: **Journal of Forensic Sciences**, EEUU, American Academy of Forensic Sciences, 2010, Vol. 55, n°4, p. 938.

El mecanismo de producción, es el principio de intercambio, ya mencionado por el eminente criminalista francés Edmond Locard, el cuál enuncia que cuando dos objetos entran en contacto entre sí, siempre un intercambio y transferencia de material se lleva a cabo.

Los productos originados por el disparo están constituidos por gránulos de pólvora parcialmente quemada y no quemada, como también partículas del fulminante, grasa, lubricantes y metales tanto del cartucho como del arma, pudiendo ser estos residuos de naturaleza tanto orgánica como inorgánica.

Los compuestos orgánicos se generan principalmente en la pólvora y en los lubricantes del arma de fuego, convirtiéndose en partículas de pólvora semicombustionada y no combustionada, productos de dicha transformación e hidrocarburos.

Los residuos inorgánicos como el nitrato, nitrito y las partículas metálicas se originan en el fulminante y la pólvora, y también en la vaina del cartucho, en el encamisado o en el núcleo del proyectil y en el cañón del arma misma.²

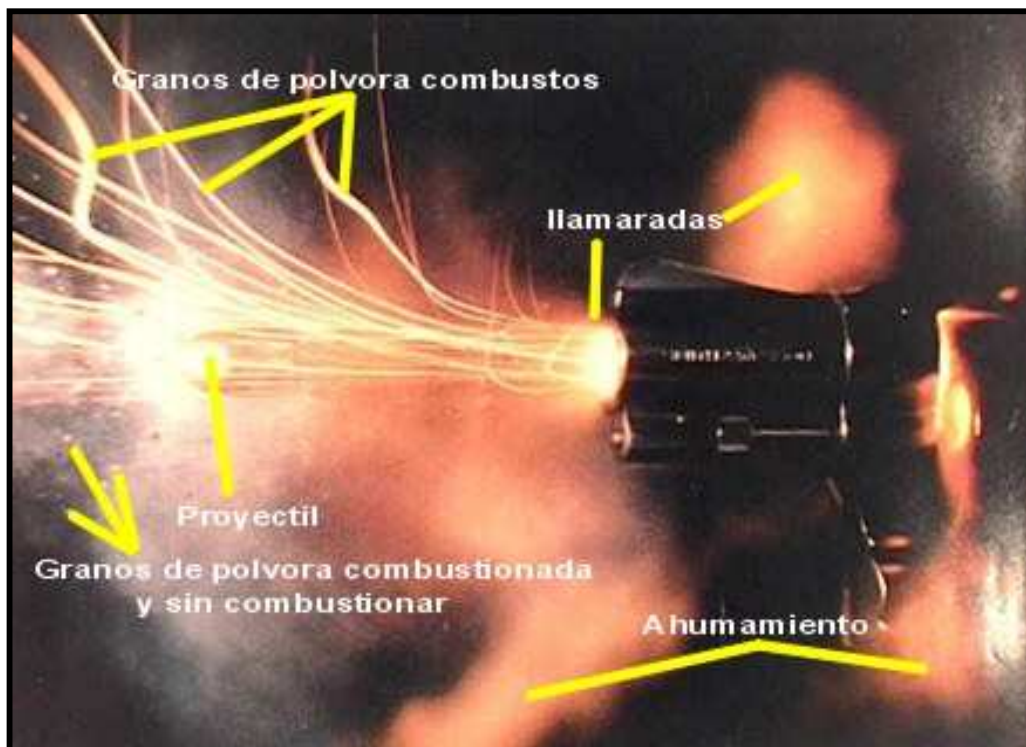


Figura N° 1: Fotografía en alta velocidad que muestra la proyección de los productos de la combustión una vez producido el disparo en un arma de fuego.

² Cfr. Dalvy, Oliver, et al., ob. cit., p. 925.

- Mecanismo de Formación de las Partículas.

Cuando el martillo percutor golpea la aguja de percusión y así al fulminante de la munición, este entra en ignición generando un aumento de temperatura y presión dentro de la vaina.

Este aumento de temperatura funde la mezcla del fulminante y en cuestión de unas milésimas de segundo (de entre 400 a 750 microsegundos) las partículas vaporizadas de plomo, bario y antimonio, que se hallan en el fulminante son expulsadas. El efecto de supersaturación hace que las partículas vaporizadas se condensen otra vez dentro de la superficie líquida del fulminante en forma de gotitas.

Se ha comprobado que algunas partículas inorgánicas que se originan en el fulminante, se forman incluso antes de que entre en ignición la pólvora propelente.

Ni bien la mezcla del fulminante quema la pólvora, un segundo aumento rápido de presión y temperatura tiene lugar y el proyectil es expulsado del arma. Durante este proceso, las partículas son sometidas a temperaturas y presiones extremas seguidas por un enfriamiento rápido, por eso se forman unas gotitas líquidas que luego se solidifican.

También se ha demostrado que los denominados residuos de tipo inorgánico pueden tener origen no sólo en el fulminante, sino también en el proyectil. En efecto, se comprobó que las partículas del fulminante contenían óxidos, sulfuros y sales, en las que el anión contenía oxígeno, (oxisales), tales como el meta-antimoniato de bario y el sulfato básico de plomo (lanarkite). Se agregó además, que los ingredientes del fulminante inicialmente son compuestos, por lo tanto, no pueden reducirse a elementos simples, en el entorno de oxidación de la ignición del fulminante, demostrándose así que las partículas elementales se originan en los materiales del proyectil.³

Las partículas producidas por los restos de deflagraciones de armas de fuego si bien son muy duraderas, es decir no se degradan con facilidad en condiciones normales, no permanecen en las manos o en los objetos de forma indefinida, debido a la misma actividad física de la materia, es decir los roces, el sacudimiento de prendas y manos, manos en los bolsillos, etc., lo que genera la pérdida del material depositado, con lo cual el tiempo transcurrido entre la acción de disparar un arma de fuego, y la toma de las muestras resulta un factor importante para la detección de estos restos.⁴

³ Cfr. Dalvy, Oliver, et al., ob. cit., p. 926.

⁴ Cfr. Schwoeble, A.J. y Exline, D.L., **Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis**, Boca Raton, CRC Press LLC, 2000, p. 13.

Otras variables a considerar también incluyen el tipo de arma utilizada, calibre y características de la misma, la clase de detonador de la munición, de la pólvora, de la cantidad de disparos efectuados, las condiciones ambientales, etc., acotándose que las armas largas en general dejan escaso residuo.⁵

- Áreas específicas de deposición de residuos.

Las manos de un tirador sospechoso es el sitio más habitual de dónde se obtienen los restos de deflagraciones de armas de fuego. La recolección de los residuos en las manos se centra en cuatro zonas principales (palma de la mano derecha, dorso de la misma mano, palma de la mano izquierda y dorso de la misma mano).

Otro de los sitios donde pueden depositarse los restos de deflagraciones es en el pliegue interno del codo del brazo de apoyo del tirador, cuando este utiliza armas de fuego como escopetas, fusiles, carabinas u otras armas largas. Ensayos con estas armas han demostrado que gran cantidad de residuos se depositan también en la cara, pecho y cabello de la cabeza, dependiendo también esta circunstancia del tipo de arma utilizada, su conformación, ubicación de la ventana expulsora, etc.

También, en las prendas se pueden hallar residuos de restos de deflagraciones, incluso después que haya pasado un periodo de tiempo relativamente largo, entre el momento en que se efectuaron los disparos y la recolección de las muestras, pudiendo hallarse no sólo en el lugar próximo al orificio del proyectil (en caso de disparos a corta distancia), sino que también en los puños del tirador, prendas interpuesta al disparo, etc.

En la propia arma de fuego utilizada, esta determinación puede arrojar luz acerca de si el arma fue utilizada o no en el hecho criminal y de esta manera identificar indirectamente al propietario u operador de la misma. Estos estudios se realizan en el cañón del arma, alvéolos (en caso de revólveres), en la recámara, etc.⁶

En otro orden, también los objetos próximos a la zona dónde se sucedieron los disparos pueden aportar datos importantes a la investigación. El examen de las mesas, sillas, paredes, cortinas, puertas, ropa de cama, mobiliario, interior de los automóviles (paneles interiores, apoyacabezas, tapizados, tablero de instrumentos, etc.) dónde la detección de los restos puede aportar datos que ayuden en la reconstrucción del hecho.

La cantidad del residuo y el área de deposición del mismo también varían respecto al tipo munición utilizada, y el tipo de arma con la cuál esta fue disparada. Respecto al tipo

⁵ Cfr. Cardini, Fernando, et al., **Tratado de criminalística, Tomo II, La química analítica en la investigación del delito**, Buenos Aires, Editorial Policial, 1983, p. 64.

⁶ Cfr. Schwoeble, A. J. y Exline, D., ob. cit., p.14.

de arma utilizada podemos decir que estudios realizados mediante el uso de fotografía de alta velocidad han demostrado que las estelas de humo y deposición de los residuos varían de un arma a otra, existiendo al respecto una amplia variedad de patrones, se ha podido observar también que parte de las estelas de humo se vuelven hacia atrás depositándose en el pecho, cabello y rostro del tirador. En forma genérica las conclusiones de estos estudios se grafican en la siguiente tabla;

TIPO DE ARMA	DISTRIBUCION DE LOS RESIDUOS
Armas semiautomáticas de menor Calibre (eyección de la vaina hacia Adelante)	En la mayoría de los casos las estelas de residuos tienden a seguir el trayecto de la vaina eyectada, aunque a veces las concentraciones también se distribuyen en la parte de adelante de los dedos.-
Revólveres de mayor calibre	Estelas diseminadas
Fusiles y escopetas	Concentraciones de humo/residuos sobre la Parte interior del codo del brazo de apoyo---

* Fuente: Dalvy, Oliver, et al., ob. cit., p. 938.

Con respecto al tipo de cartucho utilizado, la misma hace variar la cantidad y calidad de los restos hallados, toda vez que los compuestos que estas poseen suelen ser diferentes entre uno u otro fabricante, existiendo hoy actualmente municiones cuyos fulminantes se hallan libres de plomo, por lo que es necesario a la hora de realizar un dictamen realizar un estudio "caso por caso".⁷

- Consideraciones generales respecto al levantamiento de muestras.

El tiempo es el factor más importante. Los estudios han demostrado que, en una persona viva, la permanencia de los restos de deflagraciones de armas de fuego disminuyen con el paso del tiempo, por lo cual es muy importante, luego de sucedido el hecho, recoger la evidencia tan rápido como sea posible.

De acuerdo a la literatura especializada el plazo de tiempo estándar sugerido es de 3 a 6 horas después del incidente. Sin embargo en algunos casos, los restos pueden persistir mucho más tiempo especialmente en la ropa y en personas fallecidas.

Una mejora en los medios y procedimientos para la toma de muestras, también puede ser un factor en la ampliación del tiempo de recolección, variando sin embargo los

⁷ Cfr. Dalvy, Oliver, et al., ob. cit., p. 940.

protocolos de levantamiento de muestras si se tiene en cuenta el método de detección que se va a utilizar. Todo esto también depende de la actividad física de la persona y en esa actividad también participa la piel y la ropa.

En caso de personas fallecidas, de las cuales se presume han tomado parte activa de los hechos, ya sea operando las armas de fuego o defendiéndose de las mismas, es importante y antes de realizar cualquier actividad con el cuerpo, cubrir sus manos con bolsas de nylon, para así evitar que los restos de disparos puedan perderse y proceder a efectuar el levantamiento de los mismos (en caso de fallecidos siempre hay que practicar el levantamiento antes de que se le extraigan fichas dactilares al cadáver).

La preservación de la ropa secuestrada en la investigación es otra consideración importante. No se debe sacudir, ajear o doblar excesivamente la ropa de los sospechosos. La pérdida de partículas puede reducirse al mínimo, en muchos casos, y cada esfuerzo debe hacerse con la finalidad de relacionar cualquier objeto con el arma de fuego disparada por cualquier sospechoso.

La ropa es un buen medio para preservar los restos de deflagraciones, pero por desgracia su importancia en las investigaciones es a menudo subestimada.

Utilizar guantes de látex estériles es una condición imprescindible para no contaminar las muestras obtenidas.

También un concepto erróneo es el considerar que si no se puede ver la evidencia de los restos de deflagraciones, éstas no estarán presentes, sólo por que a simple vista no pueden ser visualizadas. Las partículas depositadas de los restos de deflagraciones pueden ser de un tamaño de 1 micrón (0,001 mm) a 10 micrones, aunque pueden variar de menos de 1 micrón a más de 100 micrones, por lo que a simple vista y sin la utilización de instrumental adecuado en ocasiones no es posible visualizarlas. La presencia de las manos limpias del sospechoso o las prendas sin manchas no debe llevarnos a suponer que los restos de deflagraciones de disparos no están presentes. Por el contrario, el depósito negro-grisáceo en las manos y en la ropa puede ser originado por otras fuentes distintas.⁸

Siempre hay que documentar, dónde, cuando, de quién y de que áreas de la escena del crimen son recogidos los residuos, debido a que esto, es muy importante cuando se intenta reconstruir el hecho. Las pruebas de recolección y detección de residuos de restos de deflagraciones prácticamente por sí solas, pueden ayudar a corroborar o refutar cualquier hipótesis sobre el hecho investigado.

⁸ Cfr. Schwoeble, A.J. y Exline, D., ob. cit., p.17.

CAPITULO II

EL ORIGEN DE LOS RESIDUOS DE DISPAROS

“Aunque personalmente me satisface que se hayan inventado los explosivos, creo que no debemos mejorarlos”

Winston Churchill (1874 - 1965 político y estadista inglés).

A los efectos de avanzar en el tema, es preciso en principio detenernos en los componentes que generan el proceso físico químico en las armas de fuego, como lo son la pólvora y el fulminante, que junto a los restos de otros elementos del cartucho, como el proyectil, la vaina, lubricantes y restos de la misma arma de fuego conforman los residuos liberados por las armas de fuego al momento de efectuarse el disparo.

- La Pólvora.

La pólvora es un compuesto cuyo origen es incierto y deriva del término “polvo” o “sustancia pulverulenta”, resultando un explosivo deflagrante, impulsor de los proyectiles de las armas de fuego portátiles modernas. Se tomó conocimiento de la misma en occidente, a través de un manuscrito escrito por un alquimista inglés llamado Roger Bacón, fechado por el año 1248, quién habría tomado conocimiento de las propiedades de este compuesto a través de alquimistas sarracenos (musulmanes) quienes ya sabían del potencial bélico del mismo.⁹

Este compuesto, para mejorar su potencial y prestaciones, sufrió sucesivas modificaciones durante el transcurso del tiempo hasta el advenimiento, a fines del siglo XIX, de la denominada pólvora sin humo, generando este último descubrimiento un cambio sustancial de las performances obtenidas y en las armas de fuego hasta esa fecha utilizadas.

En cambio el fulminante, a diferencia de la pólvora, se trata de un explosivo de tipo detonante y es el que por acción de un golpe se acciona y de forma instantánea envía el calor generado a la carga de pólvora la cual se enciende. Este compuesto como tal

⁹ Cfr. Fernández Gonzalo, **Los proyectiles y sus Efectos**, Tomo I, Montevideo, Centro Militar, República Oriental del Uruguay, 1962, p. 83-86.

aparecido por primera vez hacia principios del siglo XIX de la mano del reverendo John Alexander Forsyth quién en 1807 patentó a su nombre un compuesto fulminante a base de fulminato de mercurio. Hoy en día el fulminante, con diversas modificaciones, es el iniciador de prácticamente la totalidad de las municiones pertenecientes a las armas de fuego portátiles actuales.

Seguidamente se procederá a enunciar la composición y propiedades básicas de la pólvora negra, pólvora sin humo y del fulminante:

- **La pólvora negra.**

Está formada por la mezcla mecánica de los siguientes componentes: Salitre, (nitrato de potasio NO_3K), Azufre (S) y Carbón (C).

La proporción básica que integra al compuesto se enuncia precedentemente aunque existen de las más variadas modificaciones:

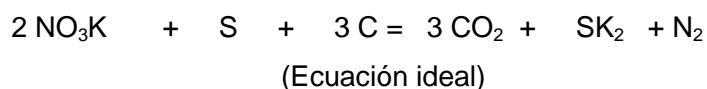
Nitrato de Potasio (NO_3K).....75 %.

Azufre (S).....12 %.

Carbón (C).....13 %.

Es de consignarse que un exceso de nitrato de potasio (NO_3K) aumenta la cantidad de sulfato y de dióxido de carbono y liberación de calor mientras que un exceso de carbón aumenta la producción de monóxido de carbono y el volumen de gases.

El elemento combustible que proporciona mayor cantidad de combustible es el carbón. El comburente, es decir el portador de oxígeno, es el Nitrato de Potasio, mientras que el azufre, por su inflamabilidad y combustión más rápida que el carbón, favorece el encendido de la mezcla, en la combustión completa, se realiza la siguiente ecuación química:



Esta es una ecuación ideal sin hallarse el compuesto confinado en la recámara de un arma de fuego, pero cuando la deflagración se verifica dentro de un arma se suceden una serie de reacciones más complejas, las que originan los siguientes compuestos:

Dióxido de carbono (CO_2).

Sulfuro de Potasio (SK_2).

Nitrógeno (N₂).

Monóxido de Carbono (CO).

Nitrito de Potasio (NO₂K).

Sulfato de Potasio (SO₄K₂).

Carbonato de Potasio (CO₃K₂).

Sulfuro de Hidrógeno (SH₂).

Tiocianato de Potasio (K. SCN).

Las armas de fuego accionadas por pólvora negra dejan una importante cantidad de residuos carbonosos, agregándose también que en disparos próximos producen en el sector cercano al orificio de ingreso del proyectil un importante ahumamiento el cuál se debe al dióxido y monóxido de carbono liberado y que impulsa al proyectil, pudiéndose hallar también iones nitrito y iones nitrato.¹⁰

Una de las fórmulas más exitosas de la pólvora negra fue la llamada pólvora “achocolatada”, basándose esta denominación por la coloración amarronada de sus gránulos, cuya morfología era un prisma hexagonal u ortogonal perforado. La característica principal de este compuesto era que el carbón se lograba a partir de la quema de la paja de centeno. Una composición básica de la pólvora achocolatada era carbón 19 %, salitre 78 % y 3% azufre.

Un sustituto moderno de la pólvora negra es el Pyrodex, el cuál es más seguro para transportar, almacenar, utilizar y de quemar, a la vez que más limpio que la pólvora negra convencional (deja menos residuos). Pyrodex se compone de carbón y azufre, aunque en menores proporciones que la pólvora negra tradicional, y nitrato de potasio además de otros componentes.

Actualmente las armas de fuego accionadas por pólvora negra se hallan prácticamente en desuso, a excepción de las utilizadas por entusiastas del tiro avancarga.

¹⁰ Cfr. Cardini, Fernando, et. al., ob. cit., p. 59-61.



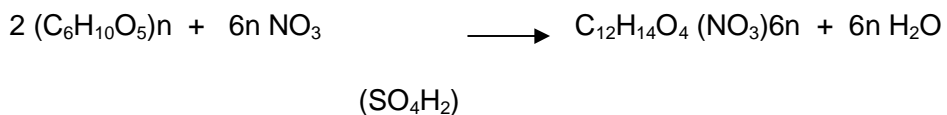
Figura N°2 : Corresponde a pólvora negra convencional.

- La Pólvora Sin humo.

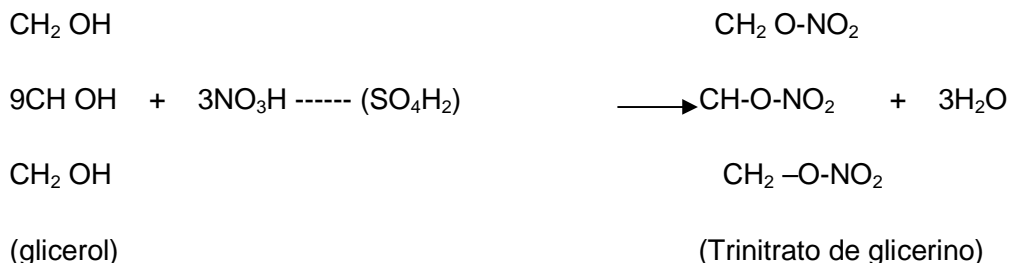
Es un explosivo de tipo deflagrante, esencialmente compuesto por nitrato de celulosa NC (nitrocelulosa) mezclado, en variable proporción, con nitrato de glicerilo NG (nitroglicerina).-

El nitrato de celulosa es el producto resultante de la nitración del algodón (celulosa pura) o de la celulosa en general mediante mezclas adecuadas de ácido nítrico y ácido sulfúrico.

Formación del nitrato de celulosa:



Formación del trinitrato de glicerilo a partir del glicerol (glicerina):

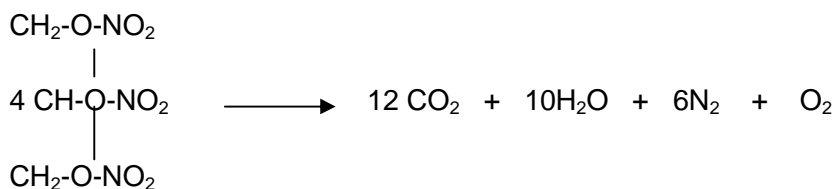


La descomposición térmica de la pólvora provoca complejas reacciones las que pueden simplificarse de la siguiente manera;

Descomposición del nitrato de celulosa:



Descomposición del nitrato de glicerilo:



11

Estas son reacciones ideales que representan el proceso químico prioritario, a las que se le suman otras reacciones producidas por otros compuestos que en general poseen las pólvoras sin humo, como lo son; los plastificantes, como los ftalatos, adipato de poliéster, uretano, etc.- También productos químicos de naturaleza orgánica como la nitroguadinina. Estabilizantes como la difenilamina, 2-nitrodifenilamina, dinitrotolueno, N-metil, p-nitroanilina, centralitas acarditas, los cuales tienen por función de neutralizar la descomposición de la nitrocelulosa. También de tipo inorgánico como yeso, grafito, sulfato

¹¹ Cfr. Cardini Fernando, et. al., ob. cit., p.62.

de potasio, nitrato de potasio, nitrato de bario, para mejorar la inflamabilidad, facilitar el manejo y reducir el “fogonazo” o destello del arma, (el gáfito actúa como lubricante para cubrir los granos de pólvora y evitar que se peguen entre sí y también ayuda a disipar la corriente estática generada por la fricción entre los granos de pólvora).

Las pólvoras que poseen nitrocelulosa y nitroglicerina, se denominan de doble base, las de triple base se generan cuando una importante cantidad de nitroguanidina se incorpora a las de doble base, aunque estas últimas son escasamente producidas para armas de fuego de tipo portátil.

La pólvora sin humo es menos higroscópica que la pólvora negra, además deja escaso residuo y a diferencia de esta también desprende menos humo. Además la pólvora sin humo se trata de un compuesto, en cuya molécula se halla también incluido el oxígeno, mientras que la pólvora negra es una mezcla que toma el oxígeno del nitrato de potasio.

Cualquier cartucho de pólvora sin humo de un arma de fuego portátil, dependiendo su calibre, desprende entre 700 a 1.100 cm³ de gas por grano de pólvora y la temperatura de su llama puede oscilar entre 1230 a 3700 °C. La composición típica de la mezcla de gases liberados es la siguiente: dióxido de carbono (CO₂), 28%, monóxido de carbono (CO) 23 %, hidrógeno (H₂) 8 %, nitrógeno (N₂) 15 %, agua (H₂O) 26%.

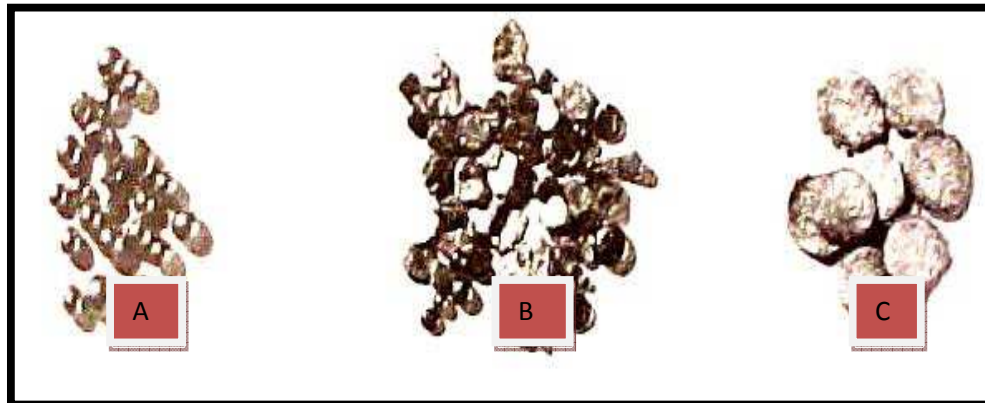
Otros ingredientes que se pueden encontrar en la pólvora sin humo son el alcanfor, carbazol, cresol, dinitrocresol, 2,4-dinitrodifenilamina, resina, goma árabe, resinas sintéticas, aluminio, clorato de amonio, oxalato, perclorato, oxamina, carbonato de plomo, óxido de magnesio, fluoruro de aluminio, sodio, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, vaselina, óxido de estaño, bismuto trifeníl, etc.¹²

La velocidad de deflagración de la pólvora sin humo, al igual que la de la pólvora negra, es extremadamente importante, debido a que si los gases calientes se liberan muy rápidamente, el arma se puede dañar y si por el contrario son liberados muy lentamente el proyectil pierde velocidad. En este sentido la velocidad de deflagración puede ser controlada variando el diseño y el tamaño de los granos de pólvora, es por esta razón que existen diferentes diseños y tamaños de grano en los diferentes tipos de pólvora.

¹² Cfr. Wallace, James, **Chemical Analysis of Firearms, Ammunition and Gunshot Residue**, Londres, CRC Press LLC, 2008, p. 66.



Figura N° 3: Obtenida de granos de pólvora negra.



A) CILINDRICO

B) PLANA

C) DISCOIDE

Figura N° 4: Obtenida de diferentes tipos de granos de pólvora sin humo.



Figura N° 5: Distintos diseños de grano de pólvora sin humo.

- El Fulminante.

Es un explosivo de tipo detonante, sensible a la percusión e iniciador del proceso de deflagración de la pólvora, contiene combinaciones de antimonio, plomo y bario, que ofrecen mayor seguridad y eficiencia con respecto al fulminato de mercurio y la azida de plomo anteriormente utilizados.

Este compuesto en las municiones de fuego central, se halla alojado en un receptáculo denominado capilla del fulminante, la cual se halla construida en metal, generalmente se utiliza el mismo latón que compone la vaina, aunque también se construyen de cobre, cobre niquelado, aleación de cobre, cuproníquel y en menor medida de acero con recubrimiento de cinc, dependiendo el grado de dureza de este metal la posibilidad de resistir tanto el golpe del percutor, como así también la explosión del sebo fulminante. La capilla fulminante va alojada en los cartuchos de fuego central dentro de un compartimiento ubicada en el culote de la vaina, llamado bolsillo del fulminante.

Básicamente los compuestos del fulminante se hallan integrados por un detonante, agentes oxidantes, combustibles, sensibilizadores y aglutinantes. Así estos elementos se componen de uno y varios de las siguientes sustancias:

Los explosivos: Son utilizados azidas, fulmina, diazo compuestos, compuestos nitro o nitrosos, por ejemplo el plomo o azida de plata, fulminato de mercurio, estifnato de plomo, TNT, PETN (estos últimos también actúan como estabilizadores).

Oxidantes: son utilizados nitrato de Bario, clorato de potasio, dióxido de plomo y nitrato de plomo.

Los combustibles: Se utiliza el sulfuro de antimonio (que también actúa como un friccionador), goma árabe (también actúa como aglutinante), siliciuro de calcio (que también actúa como friccionador), nitrocelulosa, tiocianato de carbono, plomo y metales en polvo como aluminio, circonio y magnesio.

Friccionadores: Se utiliza el vidrio y polvo de aluminio (también actúa como combustible).

Sensibilizadores: Incluyen el tetracene, TNT, PETN.

Aglutinantes: Incluyen la goma árabe, tragacanto, goma, dextrina, alginato de sodio, cemento de caucho y goma caraya.¹³

Actualmente existen dos tipos básicos de sebo fulminante, los de fuego central, entre los que podemos distinguir fulminante bóxer y berdan y los de fuego anular o periférico utilizado en armas de fuego de menor calibre como por ejemplo en .22LR.

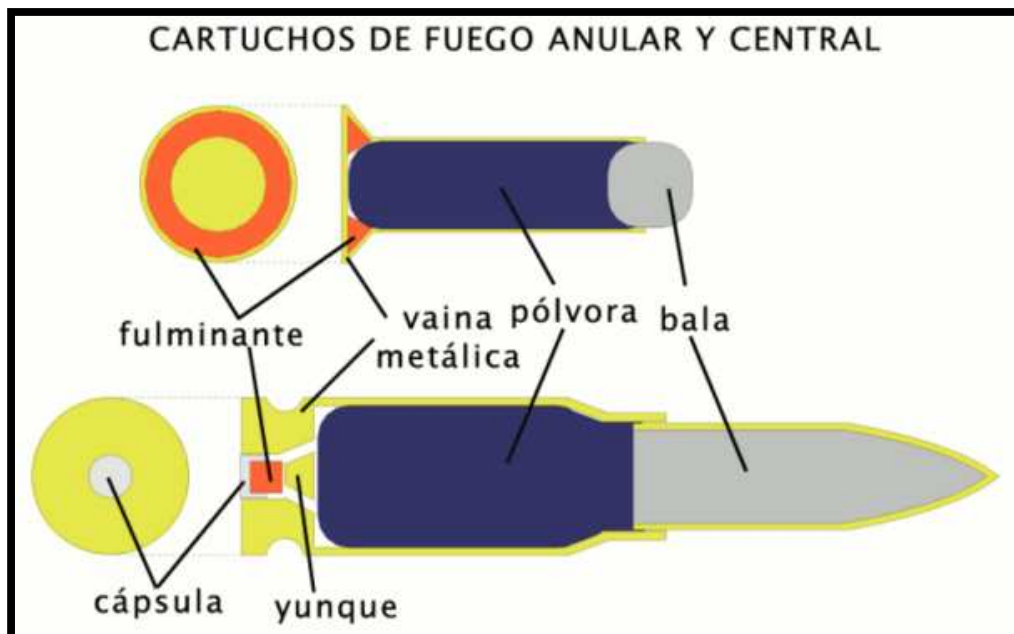


Figura N° 6: Esquema de municiones con fulminantes de fuego anular (arriba) y de fuego central (abajo).

¹³ Cfr. Wallace, James, ob. cit., p. 42.

También es dable mencionar que lo más reciente en la producción de fulminantes ha sido la introducción de numerosos tipos de fulminantes libres de metales pesados y plomo. Estos tipos de fulminantes han sido producidos en respuesta a una serie de preocupaciones relacionadas con la contaminación del medio ambiente y la exposición a altos niveles de metales pesados, como los que se encuentran en las preparaciones convencionales de fulminantes. A continuación se detalla la siguiente tabla donde se muestra la composición y residuos inorgánicos hallados en municiones no tóxicas libres de plomo:

TIPO DE MUNICION	COMP. DEL FULMINANTE	PART. DE RESIDUOS
Sintox (0,357 Mag)	Diazodinitrofenol (DDNP), tetraceno, Peróxido de cinc, polvo metálico de Titanio, nitrocelulosa	Zn - Ti Zn - Pb Ti-Zn-Pb-Ba
CCI Brazer libre de plomo 0,38 SPL + P	Tetraceno, DDNP, pólvora sin humo, nitrato de estroncio	Sr Sr-Ba
Winchester Winclean 9 mm y 0,45 ACP	Cobre y cinc (capsula fulminante), DDNP, nitrato de potasio, boro, ni Trocelulosa (contenido de MSDS o FDS en español)	Cu-Zn K-Al-Si-Na Al-Na, Ca o Mg
Remington/ UMC s/plomo 9mm y 0,45 ACP)	Cobre y Cinc (capsula del fulminante), DDNP, bario, tetraceno (contenido de MSDS)	Cu-Zn Al-Si-K Al-Si-K (Na o Ca)
Federal Ballistic lean 9mm y 0,45 ACP	Cobre y Cinc (capsula fulminante) Tetraceno, nitrato de bario, aluminio Nitrocelulosa, nitroglicerina	Cu-Sn Al-Si-Ba,K, (Na)
Speer lawnman Clear Fire (9mm y 0,45ACP)	Cobre, cinc, níquel, DDNP, bario, tetraceno, nitrato de estroncio, nitro Celulosa, nitroglicerina	Cu Cu-Zn Sr-Al/Si o Cl
CleanRange 1° generación 9 mm Luger	DDNP, tetraceno, nitro celulosa, nitrato de estroncio, goma tragacano	Sr (polvo de pistola) Sr-Na-K-Fe (residuo Mano.-
CleanRange 2° generación (9mmLuger, .40S&W 380 auto y .38 SPL	DDNP, tetraceno, nitro celulosa, nitrato de K, Al en polvo, vidrio esmerilado, goma tragacanto	Al, Si, Ca(polvo de la pistola) Al,K,Si, Ca, Fe (S En .38 SPL (residuo Mano

* Fuente: Dalvy, Oliver, et al., ob.cit., p.937.

Además de los elementos ya enunciados también influyen en la conformación de los residuos de disparos de armas de fuego, el arma misma, la vaina y el proyectil, los que brevemente se pasaran a detallar;

- El arma de Fuego.

Una amplia gama de diferentes tipos de acero se utilizan en la fabricación de las armas de fuego portátiles, aunque el acero- cromo-molibdeno es el material más utilizado en su construcción, debido a que esta mezcla posee buena resistencia a la tracción, resiste el desgaste, y tiene buenas propiedades de mecanizado.

La mayoría de las armas calibre .22 de fuego anular están fabricados con acero al carbono, sin embargo aquellas armas de fuego central para el uso deportivo normalmente se fabrican de cromo-molibdeno-acero-vanadio.

La cantidad de acero utilizado para los componentes que conforman las diversas partes del arma pueden variar de un fabricante a otro, pero la mayoría del acero que las compone, con la finalidad de lograr la consistencia deseada, tienen en su estructura algunos de los siguientes elementos; cromo, cobre, manganeso, molibdeno, níquel, fósforo, silicio, tungsteno y vanadio. También las aleaciones de aluminio se utiliza en la fabricación de armas de fuego (y miras telescópicas) y contienen algunas de las siguientes elementos: cromo, cobre, hierro, magnesio, manganeso, níquel, silicio, y zinc. Algunos de los resortes pueden contener berilio y cobre y en algunos lugares específicos también puede haber soldadura de plata. El acero inoxidable es cada vez más usada para la fabricación de armas de fuego. Los aceros inoxidables pueden poseer entre un 12% a un 24% de cromo, con otros aditivos como el molibdeno y níquel.

Últimamente existe una tendencia cada vez mayor al uso de polímeros (plásticos), en la fabricación de armas de fuego portátiles debido a que estos materiales tiene una considerable ventaja, son livianos, duraderos, de bajo costo, no corrosivos, y fácil de moldear a cualquier forma deseada, eliminando así la necesidad de costosas herramientas para el maquinado del arma de fuego y para que esta adquiera la forma deseada.

Una amplia gama de maderas también se utiliza en la fabricación de las culatas de las armas largas, siendo una de las más populares la madera de nogal. También es utilizado el laminado con madera, el cual consiste en delgadas capas de madera, las cuales son pegadas con resina epoxi y comprimidas, siendo su construcción más económica.

También se utilizan en la fabricación de culatas otros accesorios como el nylon, poliuretano, fibra de vidrio reforzada con Kevlar, con fibra de vidrio o fibra de carbono, o la resina termoplástica reforzada con vidrio y la cerámica. Las superficies de estos materiales también pueden ser tratadas con un recubrimiento de poliuretano.¹⁴

En otro orden, también diversos materiales pueden ser utilizados en la fabricación de armas de fuego de tipo caseras, las que habitualmente utiliza la delincuencia, acotándose que en este sentido los materiales varían notablemente. Algunas de ellas son confeccionadas en forma burda y pueden estar pintadas y recubiertas con cinta adhesiva.

Con respecto a la cinta adhesiva, es posible a través de las mismas obtener huellas digitales de quién pudo haberla colocado o manipulado el arma, al igual que pueden quedar impregnadas en la pintura huellas digitales de quién la pintó. Lo mismo se aplica a las marcas de las herramientas que se utilizaron para su confección.

La mayoría de las armas se hallan empavonadas y la finalidad de esto es evitar las superficies brillantes que pueden deslumbrar al tirador o develar al enemigo su posición, como además la de mejorar la apariencia del arma y también la de evitar la corrosión.

Hay cientos de fórmulas para el empavonado, por lo que no se puede dar un ejemplo típico, aunque algunos de sus composiciones pueden contener; acetona, cloruro de persulfato, arsénico, bismuto, hierro, acetado férrico, ácido gálico, óxido de manganeso, óxido de carbono, mercurio, etc.

El empavonado generalmente varía entre el color azul oscuro, a un negro profundo, en función de las concentraciones de las soluciones químicas, la temperatura y el contenido de la aleación de acero. La gran mayoría de las armas de fuego poseen una solución de empavonado que contiene hidróxido de sodio, potasio, nitrato y nitrato de sodio en una proporción típica de 65:25:10 respectivamente.¹⁵

También algunas armas de fuego, con fines estéticos, se platean con una composición de aluminio anodizado, níquel o cromo, el cuál le brinda buena durabilidad. Algunas armas sin embargo están construidas con acero inoxidable el cuál es mucho menos propenso a la corrosión que el acero convencional.

Para evitar la corrosión de un arma de fuego en general es necesario limpiar convenientemente la misma, existiendo en el mercado una importante gama de productos

¹⁴ Cfr. Wallace, James, ob. cit., p. 97.

¹⁵ Cfr. Ibid. , p. 100.

químicos para estos fines, los cuales también se hallan constituidos por compuestos de tipo orgánicos e inorgánicos.

- **La Vaina.**

Básicamente la vaina conforma la piedra angular del cartucho, debido a que contiene a los restantes componentes básicos del mismo como lo son el proyectil, la pólvora y el fulminante, su creación y desarrollo se debe a la necesidad de aumentar la velocidad de tiro reuniendo tanto a la carga, el propelente y el fulminante en una sola unidad de disparo. Las primeras fueron de cartón, pero se considera su aparición con la utilización de metal para su construcción, lo que mejoró considerablemente las prestaciones de las armas de fuego, en este caso no sólo conteniendo a los restantes componentes del cartucho sino que también realizando un mejor cierre de la recámara del arma y brindando el lugar para el confinamiento adecuado de los gases producidos por la deflagración de la pólvora.

El material que tradicionalmente se emplea para la construcción de las vainas es el latón, que básicamente es una aleación que oscila entre el 68% al 71% de cobre y del 29% al 32% de cinc. Este material ofrece una serie de particularidades que lo hacen adecuado para la fabricación de vainas, entre las que se encuentran resistencia a la corrosión, maleabilidad, elasticidad y dureza.

Otro metal utilizado es el aluminio y sus aleaciones, recubriéndose las vainas interiormente con material plástico (generalmente teflón o plásticos) resistentes al calor para así disminuir la posibilidad de que las partículas o polvo de aluminio entren en combustión en forma espontánea, resultando también este material más económico y liviano que el latón, aunque sin embargo no posee las mismas propiedades de elasticidad y recuperación de la forma de la vaina después del disparo.

También se utiliza en la fabricación de vainas, el acero con bajo contenido de carbono, aclarándose sin embargo que el acero presenta ciertos inconvenientes para su aplicación a la fabricación de cartuchos metálicos. La composición de vainas de acero generalmente es la siguiente: carbono entre 0,08 % a 0,12 %, cobre 0,25 %, manganeso 0,6 %, fósforo 0,035 %, azufre 0,03% y silicio 0,12 %. A través de estas aleaciones de acero se pretende lograr mayor elasticidad en el metal y a la vez disminuir la posibilidad de corrosión.¹⁶

¹⁶ Cfr. Fernandez Gonzalo, ob.cit., Tomo I, p. 284-287.

Otro tipo de vainas están compuestas por cuproníquel (cobre alrededor del 80 % y níquel 20 %), metal dorado (aproximadamente 90 % de cobre y 10 % de cinc).

Las vainas de los cartuchos de escopetas suelen ser de plástico con una base de latón o acero recubierto, también existen de papel con una base de latón, completamente construidas en plástico de alta densidad con refuerzo en el culote del lado interior y también de aluminio.

Como se dijera el latón es hasta el momento el material ideal para la fabricación de vainas, debido a sus propiedades; como la elasticidad, dilatándose durante el disparo, obturando así la recámara y dejando salir el proyectil y luego volviendo a sus dimensiones para facilitar así su extracción; ductilidad, lo que facilita los procesos de manufactura de la vaina; no es afectado por la corrosión, lo que permite mantener la carga intacta posibilitando su almacenamiento durante largos periodos, resistencia a las altas presiones generadas durante el disparo, etc.

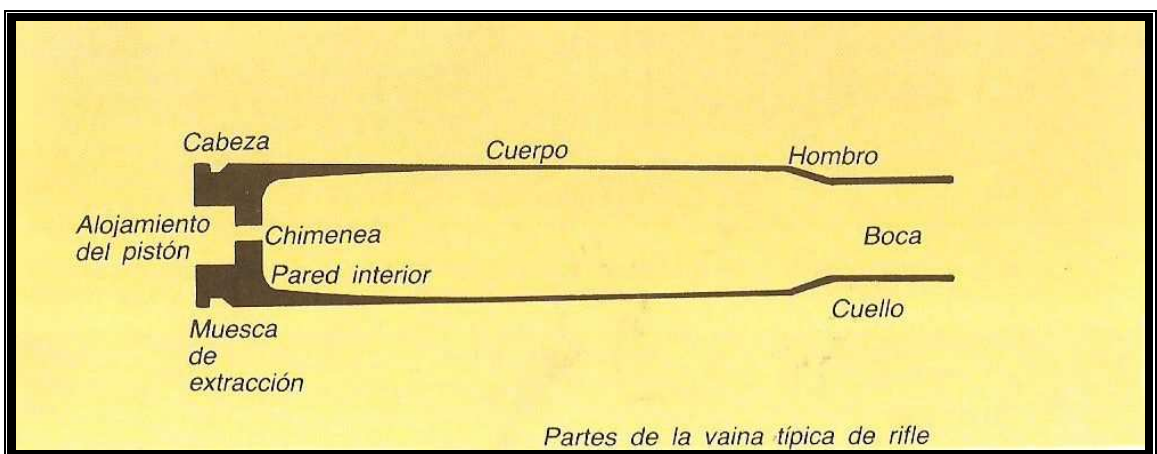


Figura N°7: Esquema de la vaina de un fusil.

- El Proyectil.

Se trata de la carga proyectada por el arma de fuego. En principio su forma era esférica y estaban construidas de plomo macizo, pero posteriormente el proyectil fue tomando diversas formas con la finalidad de lograr un mejor comportamiento balístico en vuelo y también para lograr el efecto deseado.

Actualmente se sigue utilizando en su mayoría el metal de plomo para la construcción de proyectiles, aunque con aleaciones con estaño y también con antimonio, con la finalidad de aumentar su dureza, logrando de esta manera que el proyectil tenga una

dureza ideal para tomar el estriado del cañón sin producir en el mismo un desgaste excesivo como así también lograr un eficiente poder de detención.

Para otras prestaciones tenemos proyectiles construidos completamente en bronce (aleación de cobre y estaño), cobre, aluminio, acero, etc.

También y como es sabido los proyectiles de las armas portátiles con sistema de tiro automático o semiautomáticos posee envolturas de diferentes materiales llamados encamisados, los que en forma completa o por sectores rodean al núcleo de plomo endurecido del proyectil, construyéndose estos encamisados en su mayoría en aleaciones de latón, cobre y de zinc, existiendo también, de aluminio, cobre puro, cuproníquel, etc.

Algunos proyectiles también tienen una cubierta de materiales sintéticos como el nylon o el teflón, cuya función principal es la de disminuir la fricción de proyectil en el tubo cañón.¹⁷

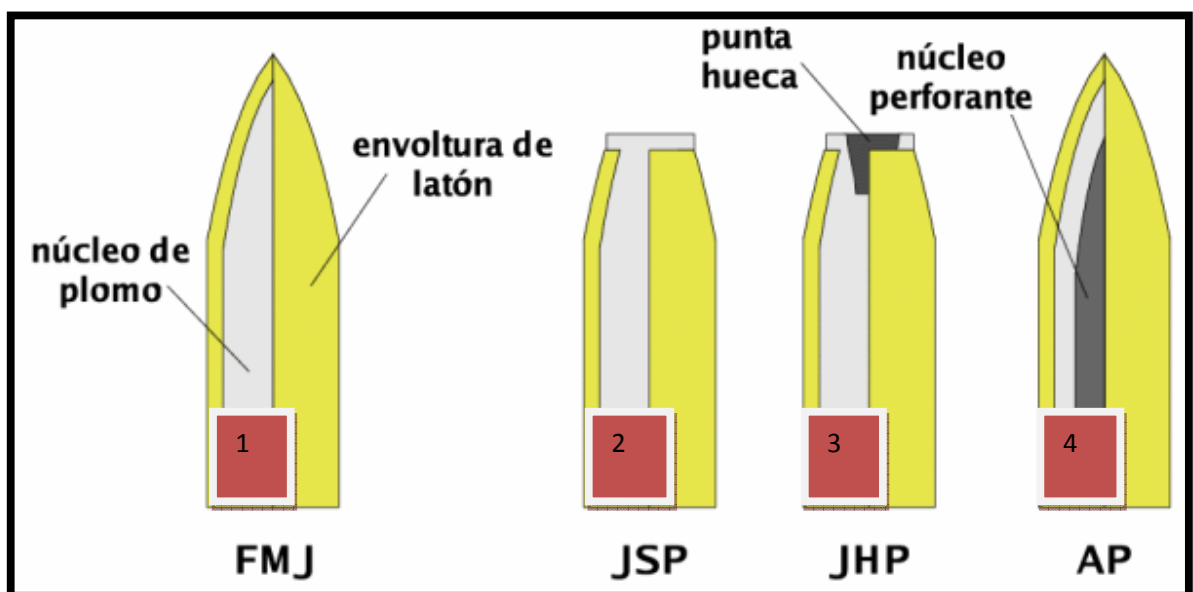


Figura N° 8: Esquema de diferentes tipos de proyectiles encamisados.- 1) FMJ (completamente encamisado), 2) JSP (semi encamisado punta blanda), 3) JHP,(semi encamisado punta ahuecada) y 3) AP (perforante).

¹⁷ Cfr. Fernández Gonzalo, ob. cit., Tomo II, p. 26-29.

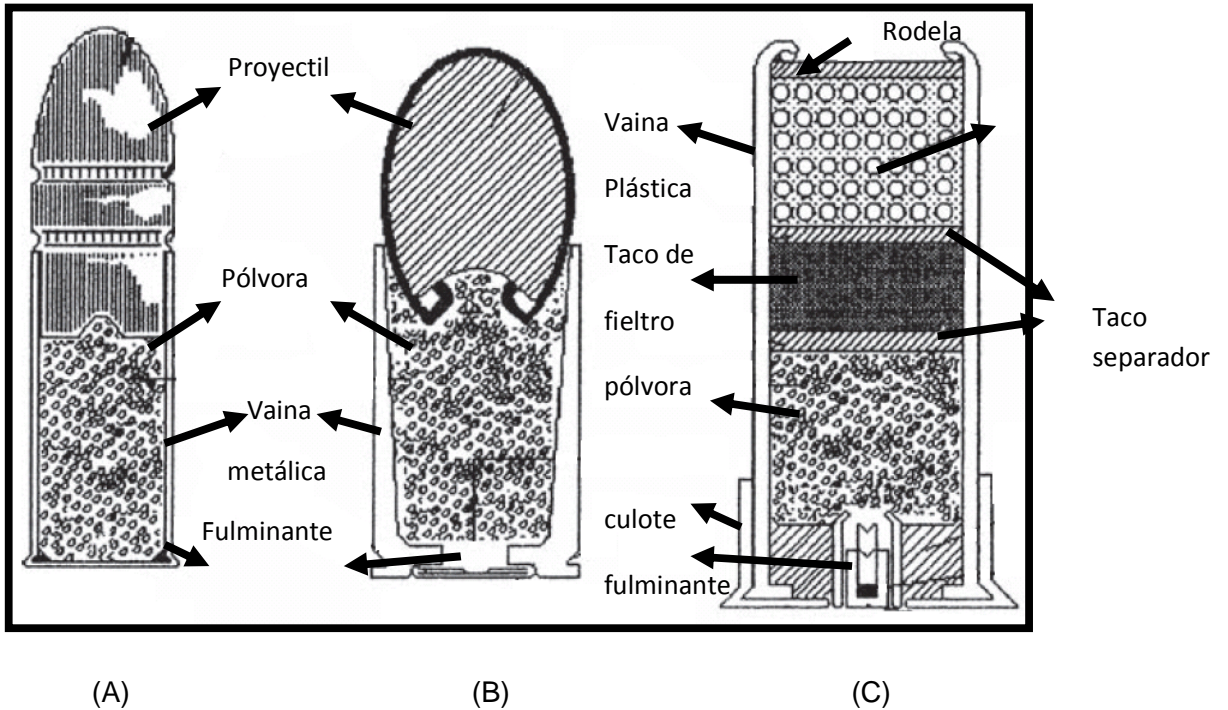


Figura N°9: Se observan en corte los tres tipos básicos de cartuchos existentes

A) De Fuego Anular B) De Fuego central C) De munición múltiple escopeta

Así y de todo lo expresado a continuación se describen las siguientes tablas extraídas de la publicación efectuada por la revista Journal Forensic Sciences, año 2010, dónde se describen la clase de residuos hallados producto de disparos de armas de fuego y el origen de los mismos:

TABLA N° 1: ORIGEN DE LOS COMPUESTOS ORGANICOS HALLADOS EN LOS RESIDUOS DE DISPAROS DE ARMAS DE FUEGO.

COMPUESTO	ORIGEN DEL COMPUESTO
2,4,6 Trinitrotolueno TNT	Pólvora/mezcla fulminante
2,4 – Dinitrodifenilamina (2,4 DPA)	Pólvora
2,3- Dinitrotolueno (2,3 DNT)	Pólvora
2,4 – Dinitrotolueno 2,4 DNT)	Pólvora
2,6 – Dinitrotolueno (2,6 DNT)	Pólvora
2- Nitrodifenilamina (2 –NDPA)	Pólvora
4- Nitridifenilamina (4 –DDPA)	Pólvora

COMPUESTO	ORIGEN DEL COMPUESTO
Akaridte II (AK II)	Pólvora
Butil ftalato	Pólvora
Butil centralita (N,N-Dibutilcarbanilida)	Pólvora
Alcanfor	Pólvora
Carbanilida	Pólvora
Carbazole	Pólvora
Carbón	Pólvora negra
Cresol	Pólvora
Dextrina	Mezcla del fulminante
Diazodinitrofenol	Mezcla del fulminante
Diazonitrofenol	Mezcla del fulminante
Dibutil ftalato	Pólvora
Dietil ftalato	Pólvora
Dimetil ftalato	Pólvora
Dimetilsebacato	Pólvora
Dinitrocresol	Pólvora
Difenilamina (DPA)	Pólvora
Etilcentralita (N,N-Dietilcarbanilida)	Pólvora
Etil ftalato	Pólvora
Etilenglicol dinitrato	Pólvora
Goma arábica	Mezcla del fulminante
Goma tragacanto	Mezcla del fulminante
Goma Karaya	Mezcla del fulminante
Metilcelulosa	Pólvora
Metilcentralita (N,N-Dimetilcarbanilida)	Pólvora
Metil ftalato	Pólvora
Nitrocelulosa (NC)	Pólvora/mezcla fulminante
Nitroglicerina (NG)	Pólvora/mezcla fulminante
Nitroguadinina	Pólvora
Nitrotolueno	Pólvora
N-nitrosodifenilamina (N-NDPA)	Pólvora
Pentaeritritol tetranitrato (PETN)	Pólvora/mezcla fulminante
Acido Pícrico	Pólvora
RDX (ciclonita)	Pólvora
Resorcinol	Pólvora
Cemento de Goma	Mezcla del fulminante
Alginato de Sodio	Mezcla del fulminante
Fécula	Pólvora
Tetraceno	Pólvora/mezcla fulminante
Tetril	Pólvora/mezcla fulminante
Triacetina	Pólvora

* Fuente: Dalvy, Oliver, et. al., ob.cit., p.925.

TABLA N° 2: ORIGEN DE LOS RESIDUOS DE TIPO INORGANICOS HALLADOS EN LOS RESIDUOS DE DISPAROS DE ARMAS DE FUEGO.

COMPUESTO	ORIGEN DEL COMPUESTO
Aluminio	Vaina/fulminante
Sulfuro de Aluminio	Mezcla del fulminante
Antimonio	Vaina/proyectil
Sulfuro de Antimonio	Mezcla del Fulminante
Sulfito de Aluminio	Mezcla del Fulminante
Trisulfuro de Aluminio	Mezcla del Fulminante
Arsénico	Vaina
Nitrato de Bario	Pólvora/mezcla fulminante
Peróxido de Bario	Mezcla del fulminante
Bismuto	Vaina
Boro	Mezcla del fulminante
Latón	Vaina/encamisado
Bronce	Proyectil
Carbonato de Calcio	Pólvora
Siliciuro de Sodio	Mezcla del fulminante
Cromo	Proyectil
Cobre	Encamisado proyectil/vaina
Tiocianato de Cobre	Mezcla del fulminante
Cuproniquel	Encamisado del proyectil
Oro	Mezcla del fulminante
Vidrio Esmerilado	Mezcla del fulminante
Hierro	Oxido en el cañón del arma
Plomo	Proyectil
Azida de Plomo	Mezcla del fulminante
Dioxido de Plomo	Mezcla del fulminante
Nitrato de Plomo	Mezcla del fulminante
Peroxido de Plomo	Mezcla del fulminante
Estifnato de Plomo	Mezcla del fulminante
Tiocianato de Plomo	Mezcla del fulminante
Magnesio	Mezcla del fulminante
Mercurio	Mezcla del fulminante
Fulminato de Mercurio	Mezcla del fulminante
Niquel	Vaina
Nitrato	Pólvora Negra
Fósforo	Vaina
Clorato de Potasio	Mezcla del fulminante
Nitrato de Potasio	Pólvora/mezcla fulminante
Azul de Prusia	Mezcla del fulminante
Latón rojo	Encamisado del proyectil
Silicona	Mezcla del fulminante
Nitrato de Sodio	Fulminante
Sulfato de Sodio	Pólvora
Acero	Núcleo del proyectil/vaina
Nitrato de Estroncio	Mezcla del fulminante
Azufre	Pólvora/mezcla fulminante

Estaño	Mezcla del fulminante
Titanio	Mezcla del fulminante/mezc. Fulminante libre de plomo
Tungsteno	Proyectil
Latón amarillo	Encamisado del proyectil/vaina
Cinc	Capsula fulminante
Zirconio	Mezcla del fulminante.-

=====

* Fuente: Dalvy, Oliver, et.al., ob.cit., p.926.

En este sentido podemos expresar que los residuos producidos por disparos de armas de fuego se pueden dividir entre residuos de tipo orgánico e inorgánico, para lo cual existe una serie de técnicas de análisis las que nos llevaran a realizar diversas determinaciones como la de estimar si un arma fue disparada, establecer residuos de la combustión en la mano del tirador, restos en prendas, etc., en los siguientes capítulos se intentará recrear algunas de las técnicas más conocidas.

CAPITULO III

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESIDUOS INORGÁNICOS

“Me lo contaron y lo olvidé, lo vi y lo entendí, lo hice y lo aprendí”

Confusio (551 a C – 479 a C filósofo chino).

1) ANÁLISIS BASADOS EN LA DETECCIÓN DEL ION NITRATO Y NITRITO

- Determinaciones sobre armas de fuego.

Es muy habitual entre los requerimientos judiciales que se solicite al perito informe sobre si el arma fue disparada recientemente. Al respecto es de hacer constar que hasta el momento no se conoce método por el cual se establezca científicamente cuánto tiempo hace que fue disparada un arma de fuego. Sin embargo existen diferentes apreciaciones que pueden realizarse para con el arma de fuego a los efectos de establecer si el arma fue disparada en una época relativamente reciente.

Como ya se mencionara, al producirse el disparo, los restos de la deflagración de la pólvora permanecen en el interior del cañón del arma como también en las recamaras o alvéolos.

También el paso del proyectil por el interior del cañón genera fricción en las paredes del mismo arrastrando restos de herrumbre (óxido), que este pudiera tener, suciedad o restos de lubricantes, etc. En otro orden también la limpieza del arma produce un aspecto característico. Es sabido además que si el arma es utilizada y no es efectuada una correcta limpieza o lubricación, las partes internas van a ir oxidándose (para el caso de armas que no se hallan construidas en acero inoxidable).

En base al estudio de estos indicios es posible emitir un juicio aproximado acerca de si el arma fue disparada en un lapso de tiempo estimativo, acotándose sin embargo que dichos indicios se van transformando y degradando a medida que va transcurriendo el tiempo.¹⁸

¹⁸ Cfr. Cardini Fernando, ob.cit., p. 74.

- Procedimiento de análisis de armas de fuego.

Una vez recepcionada un arma de fuego en un gabinete pericial, en principio es preciso proceder a una minuciosa observación de la misma, en lo posible con luz natural, con la finalidad de detectar, principalmente sobre su recámara, o alvéolos en caso de revólveres, y en su cañón, el aposentamiento de residuos producto de la deflagración. Si resultara positivo se apreciará tanto en recámara o cañón un color grisáceo, como una mácula que impresiona la vista debido al contraste del mismo con el color del arma, resultando esta coloración, el producto de la deflagración de la pólvora (negro de humo).

En el caso más específico de los revólveres, los que poseen recámaras múltiples, es posible observarse si el arma fue disparada en ambos extremos de dichas recámaras, las que presentan la misma coloración, con una conformación circular en torno al alvéolo. En ambos casos también es posible apreciar pequeñas partículas negruzcas aposentadas en el interior del cañón, recámara y alveolos.

Por otro lado también puede apreciarse en el arma restos de óxido en el cañón o recámara, como también restos de aceite lubricante. En el primero de los casos, el óxido indica que el arma no fue disparada en una época relativamente reciente, mientras que en el segundo de los casos, el arma pudo haber sido disparada, aunque los restos de lubricación y la limpieza del arma pudieron haber borrado los residuos de la combustión en la misma.



Figura N° 10: Fotografía obtenida del cañón de una pistola FM calibre 9 mm dónde se observa el aposentamiento de partículas negruzcas producto de los residuos dejados por la pólvora luego de producirse un disparo.



Figura N° 11: Obtenida de la cara externa del alveolo perteneciente a un revolver calibre .32 largo, dónde se observa una aureola grisácea a su alrededor (entre los alveolos 1 y 2), producida por el aposentamiento carbonoso luego de efectuarse un disparo con la misma.

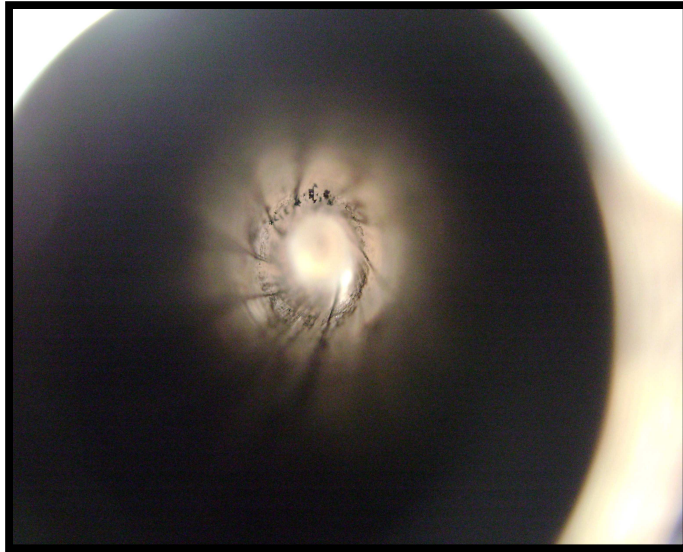


Figura N°12 : Fotografía obtenida del interior del cañón de un revolver calibre .32 largo, observándose el aposentamiento de residuos carbonosos producto de los restos dejados por la deflagración de la pólvora.



Figura N°13: Obtenida de los alvéolos de un revólver con evidentes signos de óxido.

Una vez efectuada la observación correspondiente, teniéndose en cuenta las circunstancias antes señaladas, es preciso a posteriori realizar un hisopado del arma,

mediante el uso de una baqueta con un hisopo de algodón, la cual se debe introducir en el interior del cañón del arma de fuego y en su recámara.

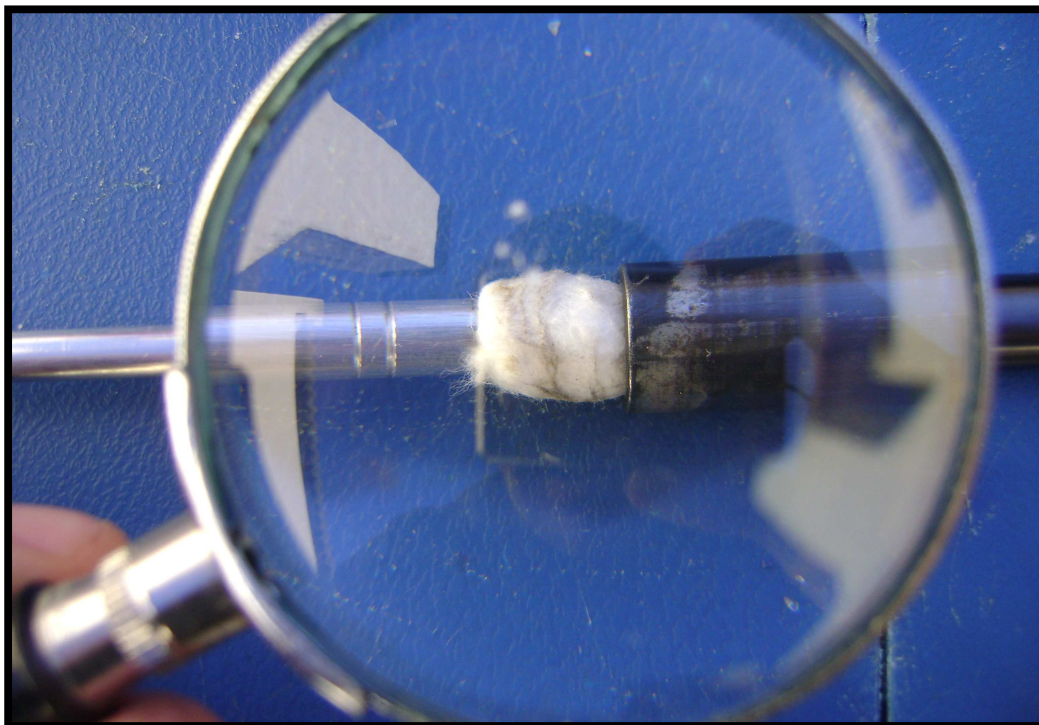


Figura N° 14: Fotografía en la cual se muestra el hisopado mediante el uso de una baqueta cuyo extremo con algodón es introducido en el cañón con la finalidad de extraer los depósitos allí aposentados.

Extraído el hisopo del arma, es preciso realizar una minuciosa observación sobre el mismo y si se observa que este se halla impregnado con aceite lubricante es necesario realizar con la muestra un tratamiento con un solvente (éter, cloroformo, etc.) y una vez eliminado todo resto del mismo, practicar los ensayos cromáticos. De considerarse conveniente, puede examinarse la solución obtenida por agotamiento con el solvente seleccionado, mediante resolución cromatográfica en fase gaseosa, utilizando dicho solvente como referencia.

Para determinar la existencia de óxido de hierro o herrumbre una fracción del hisopo se trata en capsula de porcelana limpia y seca, con solución acuosa de ácido clorhídrico al 5 % en volumen, con lo cual se disuelve todo óxido metálico, en nuestro caso el óxido de hierro.

A continuación se agregan 3 o 4 gotas de solución acuosa reciente de tiocianato de potasio, con lo que aparece en el precipitado un color rojo.



Figura N° 15: Obtenida de una fracción del hisopo, luego de ser extraído del arma con evidentes signos de óxido (Figura N° 13), la cuál fuera tratada con ácido clorhídrico y tiocianato de potasio, pudiéndose apreciar la reacción positiva respecto óxido en la misma.

En otro orden y teniéndose en cuenta lo enunciado respecto a los restos de deflagración en el arma, es necesario señalar que el residuo posee una importante cantidad de iones nitrito (pólvora combustionada) y nitratos (restos de pólvora semi combustionada), con lo cual es posible realizar sobre el algodón utilizado para traer estos restos mediante el hisopado del arma, una investigación de estas sustancias oxidantes (nitritos y nitratos), para lo cual se aplicará a la muestra, previamente colocada en un vidrio reloj, limpio y seco unas gotas del reactivo difenil amina sulfúrica, produciendo en este caso las sustancias oxidantes un color azul.¹⁹

¹⁹ Cfr. Cardini Fernando, et al., p.75.

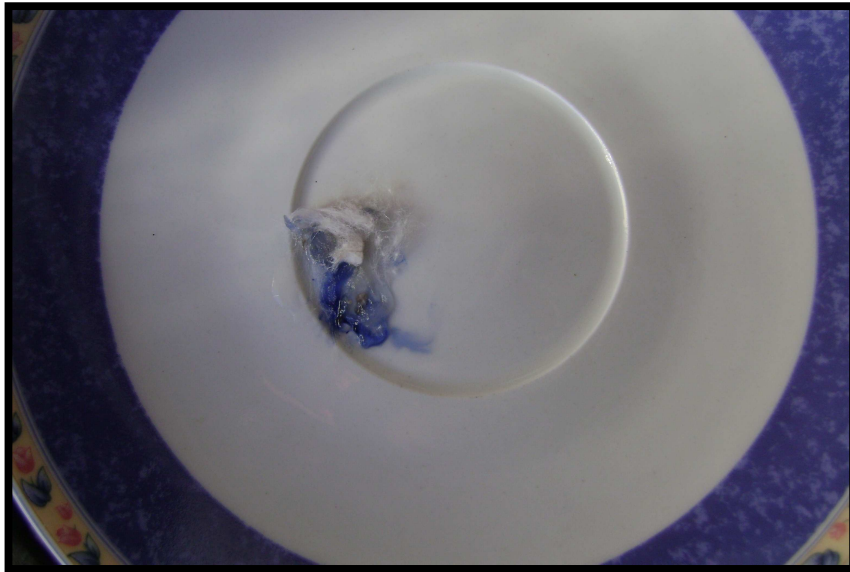


Figura N° 16 : Fotografía obtenida de la reacción positiva de la difenil amina sulfúrica practicada sobre una muestra obtenida del cañón de un arma disparada, apreciándose el color azul característico de la muestra.

Otra prueba que se practica es el denominado test de Peter Griess von Illoswa, la cual identifica el ión nitrito (restos de pólvora combustionada).²⁰

Se utilizan dos reactivos:

- a) Solución acuosa de ácido sulfanílico al 0,8 % .
- b) Solución de alfa-naftilamina al 0,5 % en ácido clorhídrico acuoso al 0,8 % en volumen.

En este sentido una fracción del trozo de algodón es colocado en un vidrio reloj y es tratado con 3 -4 gotas del reactivo sulfanílico y luego se agrega igual número de gotas del reactivo de alfa-naftilamina, con lo cual aparece de inmediato una coloración naranja a rojo en presencia del ion nitrito. El ensayo se basa en la obtención de un colorante diazoico por un mecanismo de diazotación y consecutiva copulación.

²⁰ Cfr. Cardini Fernando, et.al., ob.cit., p.75.



Figura N° 17: Fotografía obtenida de la reacción del ácido sulfanílico y el alfa naftilamina positiva para la presencia del ión nitrito.

Se puede expresar que estos ensayos pueden dar falsos positivos, es decir reaccionar adecuadamente con sustancias que no se corresponden con restos de deflagración de la pólvora en razón de que tanto los nitratos como los nitritos se hallan ampliamente distribuidos en el medio ambiente, aunque si la muestra extraída del cañón o recámara del arma, a la observación, presenta signos de la deflagración de pólvora y las prueba arroja resultados positivos se podría expresar que el arma fue disparada en un periodo de tiempo relativamente reciente.

- Estudios de restos de deflagración sobre las manos del tirador.

La investigación de los residuos en la mano del tirador sirve para establecer si un individuo ha disparado un arma, haciéndose mención que si un estudio de este tipo es correctamente efectuado e interpretado es posible diferenciar un acto suicida de una acción homicida o un hecho culposos, como también identificar al tirador entre un grupo de personas, sospechosas de haber disparado.

Numerosas son las técnicas que se han empleado para esclarecer estas cuestiones, algunas de ellas emplean equipamiento de alta generación, cuyo mantenimiento resulta altamente costoso, otras en cambio poseen mayor o menor efectividad, en este capítulo

nos enfocaremos en las pruebas de la Difenilamina Sulfúrica o comúnmente llamada prueba de la Parafina.

Como se mencionara en los capítulos anteriores diversas investigaciones han permitido establecer que la parte superior de la mano, más precisamente la zona correspondiente a los dedos pulgar e índice, así como el sector comprendido entre ambos dedos aparecen más densamente cubiertos por los residuos proyectados por el disparo, sin embargo la cantidad depositada depende del tipo de arma, el fulminante, la pólvora, número de disparos tiempo transcurrido entre el disparo y la obtención de la muestra, el tipo de arma, ya que las armas largas, en general dejan escaso residuo y su distribución difiere de las producida por las armas cortas.

- Prueba de la parafina o de la Difenilamina Sulfúrica.

Esta prueba está basada en la presencia de iones nitrito NO-2 y iones nitrato NO-3 en las manos del tirador.

Para el levantamiento es utilizada parafina de buena calidad, la cual previamente debe derretirse y extenderse sobre las manos del presunto tirador, utilizando para ello un pincel pequeño con cerdas de nylon, intercalándose entre las capas gasas para darle al entramado una mayor consistencia. La parafina caliente provoca dilatación de los poros y ligera tumefacción, con lo cual las partículas asentadas sobre la piel son transferidas al molde de parafina, reteniéndolo al solidificarse. La persona encargada de realizar el procedimiento debe utilizar guantes de látex para evitar transferencias. La capa de parafina debe ser suficientemente gruesa para evitar que se corte al ser retirada, debiéndose también evitar un excesivo depósito. Los moldes retirados deben ser colocados en bolsas secas y limpias de nylon, debidamente identificadas, y por separado, una muestra de la parafina debe ser también colocada en las bolsas para certificar y analizar la pureza de la sustancia utilizada.

Posteriormente y para preparar el reactivo a utilizar en 2ml de agua destilada se suspenden 50 miligramos de difenilamina y se agregan en pequeños volúmenes 10 ml de ácido sulfúrico puro, uso analítico, agitando con cuidado y refrigerando. La temperatura de la muestra favorece la disolución del reactivo cromogénico (difenilamina), obteniéndose una solución limpia e incolora.

Una vez realizado el preparado este es agregado gota a gota mediante una pipeta o gotero sobre la superficie interna del molde de parafina, tratándose de distribuir el reactivo por toda la superficie expuesta.

En caso de resultar positivo, la presencia de oxidantes, iones nitrato y nitrito, se revelan por la aparición de pequeños puntos de color azul oscuro o muy pequeñas manchas perfectamente delimitadas, descartándose la aparición de manchas extensas y difusas provocadas en ocasiones por compuestos interferentes ya existentes en las manos del sospechoso, independientemente de las partículas provenientes del disparo, como el hipoclorito de sodio (lavandina), también el tabaco de cigarrillos rubios contiene una base de nitrato de potasio que origina ensayos positivos, pero en forma zonal, no en puntuaciones.

Es de hacer constar también que si bien es inmediata la reacción, en ocasiones debe esperarse hasta treinta minutos para la aparición de los puntos azules, debido a que las partículas pueden ser tapadas por la parafina al solidificarse, hasta que el reactivo tenga contacto con ellas.

Esta prueba arroja falsos positivos y carece de especificidad, acotándose que en la mayoría de los países del mundo no es utilizada por esta razón, practicándose de igual manera en algunas provincias argentinas. Cabe señalar que se ha demostrado la gran difusión de los nitritos y nitratos en el medio ambiente, con lo cuál el reactivo puede reaccionar no sólo en presencia de restos de deflagración sino que también con otras sustancias oxidantes.²¹



Figura 18: Fotografía obtenida del “guante” de parafina efectuado sobre la mano de un presunto tirador.

²¹ Cfr. Cardini Fernando, et al., ob.cit., p.p. 63-68.

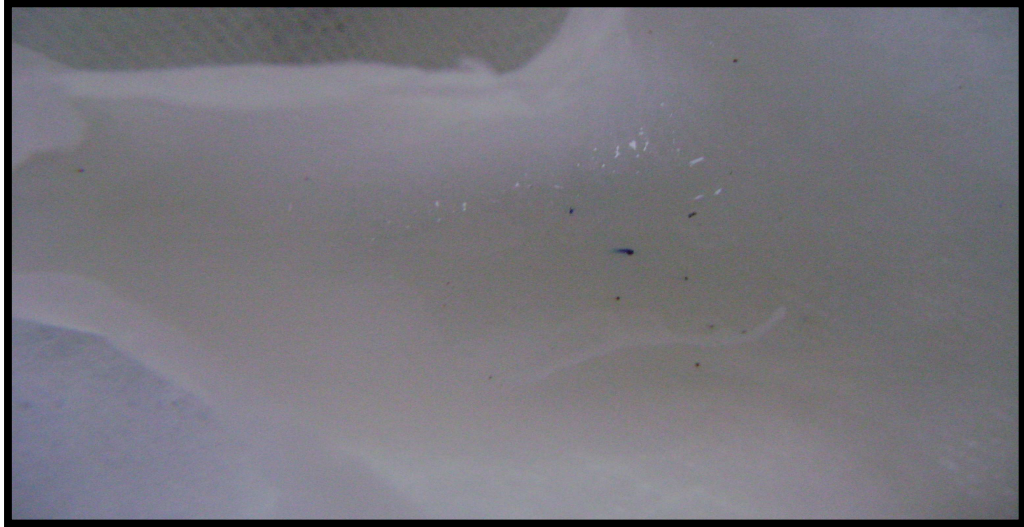


Figura N° 19: Fotografía obtenida de la reacción positiva en el guante de parafina, para la presencia de nitratos y nitritos en las manos de un tirador, apreciándose en su lado interior pequeños puntos azules.



Figura N° 20: Obtenida de la reacción, esta vez de una mano lavada con agua lavandina.

También, es sabido que los residuos pueden ser levantados de la mano del tirador, mediante el uso de cinta adhesiva ancha, aunque este método es menos eficiente toda

vez que la parafina caliente dilata los poros y facilita la transferencia de los residuos al molde.



Figura N° 21: Fotografía dónde se aprecia las bandas de cinta extraídas, luego de ser pegadas en las manos del presunto tirador.

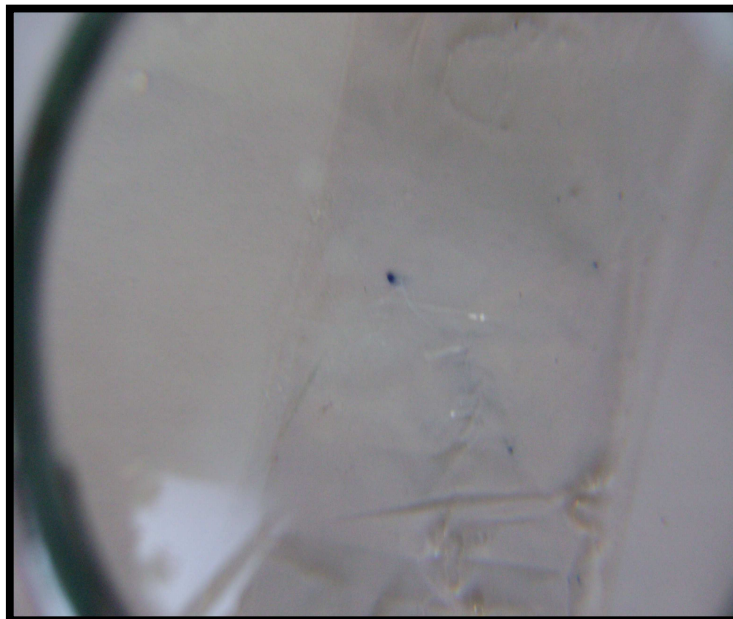


Figura N° 22: Fotografía obtenida de la reacción positiva en la cinta adhesiva.

- **Estudios de restos de deflagraciones en ropas.**

Estas pruebas se efectúan con la finalidad por un lado, de establecer la existencia de restos deflagraciones en prendas, y así vincular dichas prendas con los hechos investigados y las personas involucradas en los mismos y, por el otro, a través de los restos hallados, establecer, si se pudiera, la distancia desde la cual fue efectuado el disparo y lograr la reconstrucción del hecho criminal.

Los restos de deflagraciones hallados en ropas persisten por más tiempo que los que se depositan en la piel. Recientes estudios han demostrado que se han hallado partículas producto de deflagraciones por disparos de armas de fuego en prendas luego de haber transcurrido días después del hecho e incluso semanas. También de pruebas realizadas para determinar la persistencia del residuo en ropas se ha demostrado que si las prendas expuestas son guardadas convenientemente luego de varias semanas residuos orgánicos de deflagraciones han sido detectados sobre las mismas. En otro sentido y realizándose pruebas sobre ropas expuestas a disparos, las cuales fueron utilizadas en forma cotidiana, restos de deflagraciones fueron hallados en un periodo de tiempo comprendido entre las 6 y 12 horas posteriores al hecho, así se comprobó que residuos hallados sobre una sabana de algodón fueron detectados hasta seis meses después si la sábana se mantuvo intacta. También el lavado intenso en lavarropas o el cepillado ha demostrado que hace disminuir considerablemente la cantidad y densidad de los residuos.

Es sabido en nuestro medio que la cantidad de residuos depositados sobre el objetivo, en este caso en ropas, depende de la distancia del disparo. Así, en disparos en contacto con la prenda quedan escasos residuos externos, debido a que los gases que transportan los mismos penetran a través del orificio generado por el proyectil; sin embargo, en distancias cortas los residuos se impregnan en las ropas. La cantidad de residuos depositados también depende del tipo de arma y de la munición utilizada.

Las prendas expuestas a disparos de armas deben ser embaladas convenientemente, en forma individual, para evitar la contaminación, debiéndose evitar ajeos y pliegues innecesarios. Si las mismas están manchadas con sangre u otros fluidos, circunstancias que en la mayor parte de los casos suelen suceder, las prendas, previo a su embalaje deben ser secadas a la sombra, con la finalidad de evitar la putrefacción de las fibras. En este sentido recientes estudios han demostrado que la putrefacción cadavérica no afectaría los residuos inorgánicos de restos de deflagraciones, aunque no olvidemos que

la putrefacción afecta al soporte (tela) y por ende si esta se deteriora los residuos inorgánicos se perderían o la densidad de estos disminuiría considerablemente.

Cuando la prenda se recibe en el laboratorio debe efectuarse en primer término una observación a simple vista y luego mediante la utilización de un aparato de óptica (lupa binocular), con la finalidad de detectar la presencia del orificio de ingreso del proyectil en la prenda y determinar la existencia de los restos en torno al mismo. Cabe aclarar que en ocasiones dificulta esta actividad el color de la ropa o si esta se halla manchada con sangre, acotándose además que en algunas ocasiones el orificio de ingreso del proyectil no es detectado debido a que el mismo, y dependiendo de la trama de la ropa y el calibre del arma, pasa a través de las fibras de la tela sin producir orificio alguno, en otras la prenda presenta más orificios de los que recibiera la víctima, resultando esta circunstancia producto de que la ropa pudo haber sufrido plegamientos o dobleces al producirse el disparo como consecuencia de movimientos bruscos, signos de lucha, caídas, etc.

Las técnicas de recolección de restos de deflagraciones sobre telas son similares a las utilizadas para la Espectrofotometría de Absorción Atómica (hisopado) y Microscopia de Barrido electrónico (kit de recolección de residuos).

Como se expresara anteriormente y a través del estudio de los restos de deflagraciones en ropas, teniéndose en cuenta la distribución y morfología del residuo de deflagración, es posible mediante la comparación establecer de manera estimativa la distancia de disparo.

Cabe señalar que esta determinación se realiza mediante la reproducción del evento en condiciones de laboratorio, para posteriormente comparar, la distribución del residuo, a través del confronte, con el hallado en la prenda objeto de la investigación.

Para este trabajo se utilizará la ya enunciada técnica de Peter Griess en la detección del ion nitrito con las modificaciones correspondientes para su adaptación al tipo especial de estudio a realizarse.

En primer término se debe desensibilizar papel fotográfico para copias, colocándolo en una cubeta con una solución reciente de Tiosulfato de Sodio de entre el 5% al 10% durante 20-30 minutos, con lo cual se disuelve la sal de plata sensible, quedando la capa de gelatina al descubierto. Posteriormente se lava con abundante agua y luego se sumerge el papel fotográfico en una solución acuosa de ácido sulfanílico al 0,5 %, después de la impregnación se retira y se hace secar al aire; una vez seco, se trata con una solución metálica reciente de alfa naftilamina al 0,5 % y después del escurrimiento se deja secar, quedando el papel reactivo así preparado.

El procedimiento continúa extendiendo sobre una mesa, un trozo de tela blanca, limpia y seca, colocándose encima el papel reactivo con la capa gelatinizada hacia arriba y, sobre este, el sector de la prenda de vestir que presenta el orificio producido por el proyectil, cubriéndose a continuación con un trozo de tela, y a continuación con otro trozo de tela blanca limpia y seca, y luego con otra tela blanca impregnada con una solución acuosa de ácido acético al 25 % en vol. Finalmente el conjunto se cubre con un último trozo de tela blanca, limpia y seca para luego desplazar sobre esta superficie, una plancha caliente durante 5 o 6 minutos.

Así y por efecto del contacto y calentamiento en superficie, el ácido acético difunde hacia la prenda y libera ácido nitroso, que reacciona con los componentes del papel reactivo, produciendo una imagen constituida por una serie de puntos o pequeñas máculas de color rojo a rojo naranja. Obteniéndose de esta manera una imagen cromática o réplica en color, que corresponden a las partículas de nitrito, distribuidas alrededor del orificio producido por el proyectil.

Este ensayo es específico del ion nitrito (ampliamente difundido en la naturaleza) y por ende existe la probabilidad de que arroje un falso positivo, aunque si observamos el patrón de distribución en forma circular en torno al orificio del proyectil, esta posibilidad se reduce considerablemente.

Posteriormente y para realizar una comparación es necesario realizar disparos desde distancias variables, sobre una cartulina o papel grueso color blanco, la que se utilizará como testigo, con la finalidad de comparar la misma a través de la medición del diámetro del círculo de deflagración y la distribución de los residuos. Cabe señalar que para obtener la cartulina testigo, es necesario efectuar los disparos con la misma arma utilizada en los hechos y empleándose además una munición similar, toda vez que de lo contrario la imagen testigo obtenida podría variar considerablemente.²²

²² Cfr. Cardini Fernando, et al., ob.cit., p. 77 - 83.



Figura N° 23: Fotografía obtenida de una prenda (remera), a la cual se le efectuó un disparo con un revólver calibre .32 largo desde una distancia de 20 cm, pudiéndose observar los residuos negruzcos, alrededor del orificio de ingreso del proyectil.



Figura N° 24: Fotografía obtenida durante el proceso de lanchado efectuado a la prenda con residuos de disparos observada en la fotografía anterior.



Figura N° 25: Fotografía obtenida de la reacción generada sobre el papel fotográfico desensibilizado, luego del proceso de “planchado”.-

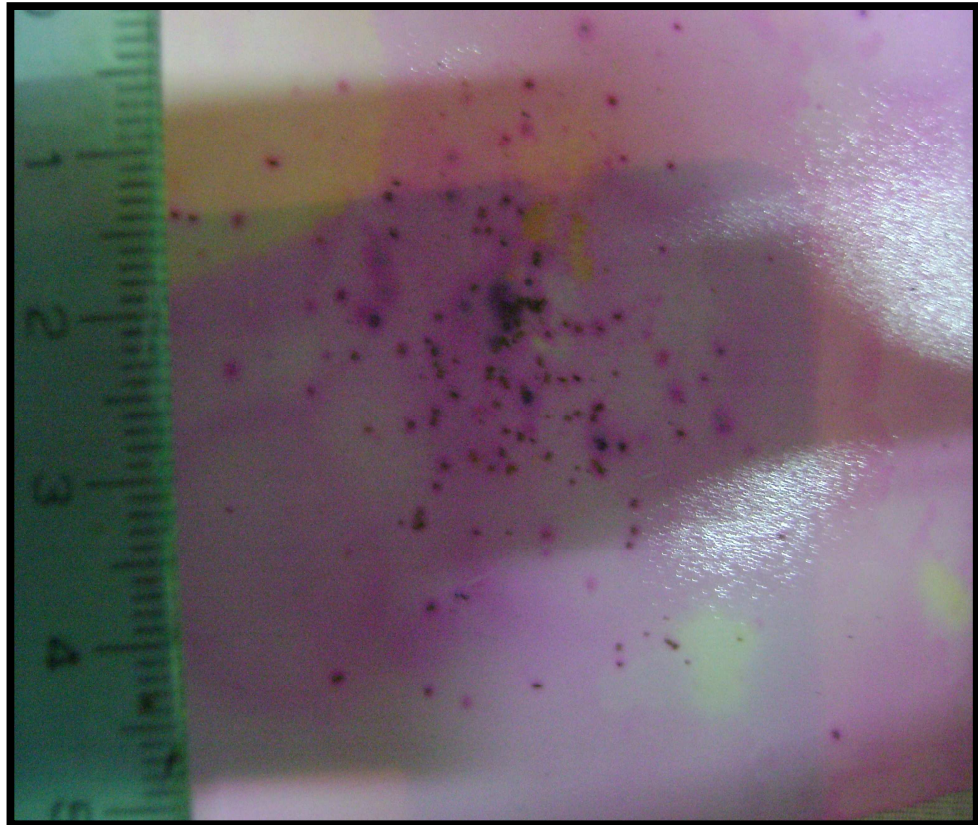


Figura N° 26: Fotografía obtenida del papel fotográfico desensibilizado luego de la reacción, dónde se observa la dispersión de los granos de pólvora revelados. Esta imagen posteriormente debe ser confrontada con restos de residuos producidos por otros disparos efectuados a distancias variables en condiciones de laboratorio, pudiéndose establecer a través del conronte la distancia estimativa desde la cual fue efectuado el disparo.

2).- ANALISIS BASADO EN LA PRUEBA DEL RODIZONADO DE SODIO

El método está basado en la anterior prueba de Harrison y Gilroy enunciada en 1959 y que con algunas modificaciones aún sigue siendo utilizada en varios países del mundo.

En esta ocasión enunciaremos una versión local de la prueba la que en algunos laboratorios de la Policía de la Provincia de Buenos Aires, aún se sigue utilizando.

Esta es una prueba sencilla al alcance de cualquier laboratorio, con escaso costo de reactivos y se funda en la detección de componentes inorgánicos como el plomo (Pb), bario (Ba) y antimonio (Sb), los que y de acuerdo a lo ya enunciado se hallan presentes en los restos de deflagraciones producto no sólo de los residuos del sebo fulminante sino que también del proyectil del arma y del arma misma.

En esta prueba utilizaremos para el levantamiento cinta adhesiva transparente de las del tipo de embalaje (en la prueba original se utilizaban para el levantamiento un hisopo impregnado en solución acuosa diluida de ácido clorhídrico). La cinta es colocada sobre la mano del presunto tirador (en un sector comprendido entre el dedo pulgar e índice extendido) o en otros sitios dónde se presume puedan hallarse depositados restos de deflagraciones de armas de fuego. Posteriormente la cinta es colocada sobre un vidrio portaobjeto, debiéndose dejar sobresalir un trozo de la cinta del vidrio con la finalidad de identificar la muestra colocándose en este sector el rótulo correspondiente. La cinta con el portaobjeto posteriormente debe ser ensobrada convenientemente.



Figura N°27: Fotografía obtenida de la cinta adhesiva ancha colocada sobre la mano del tirador, luego de producirse el disparo.

Para el análisis de la muestra obtenida, las cintas adhesivas previa extracción del vidrio portaobjeto, deben ser sumergidas de una a la vez en una solución de ácido clorhídrico diluido durante un minuto, debiéndose posteriormente retirar la muestra con una pinza, agitándosela levemente para escurrir los restos sobrantes de la solución del ácido clorhídrico. Posteriormente sumergir la muestra en otro recipiente conteniendo una solución Buffer ph 3 compuesta de: Bitartrato de Sodio 1,9 gr, Acido tartárico 1,5 gr y agua destilada c.s.p 100 ml.

Luego se debe colocar el reactivo del rodizonato de sodio con pipeta sobre el portaobjetos que servía de soporte a la cinta, efectuando un depósito lineal a la largo del eje mayor del mismo (cantidad suficiente para impregnar la totalidad de la cinta cuando se deposite sobre el vidrio sin que desborde, porque dificulta la observación microscópica). Retirar la cinta del buffer, escurrir y aplicar sobre el portaobjetos que contiene el reactivo con la parte engomada hacia abajo, facilitando la impregnación de la superficie por suave presionado con una varilla de vidrio.

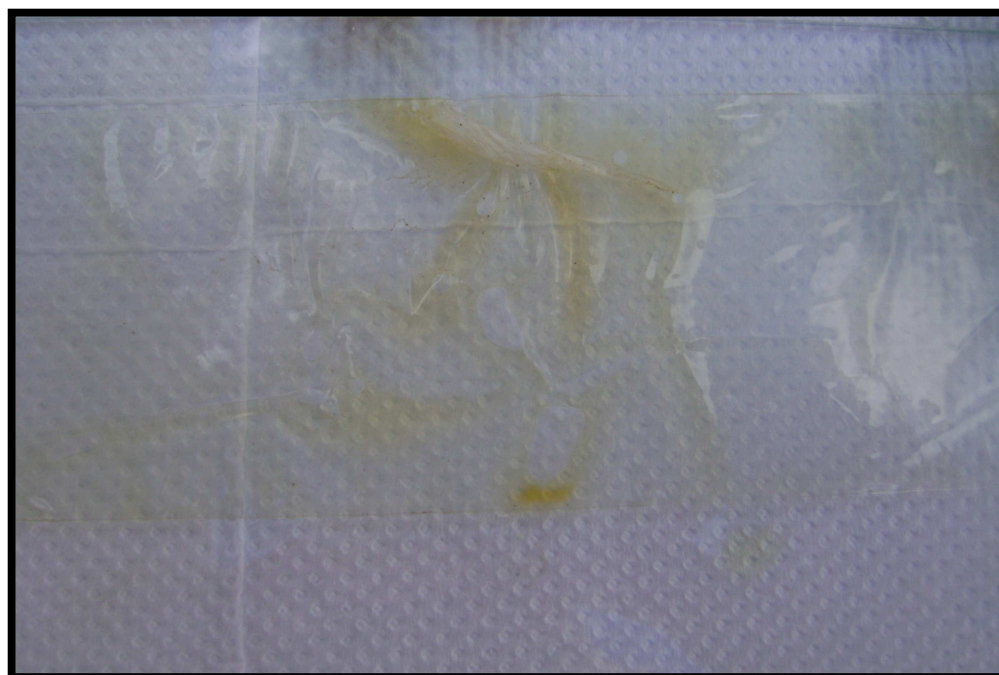


Figura N° 28 : Fotografía obtenida de la cinta, previamente tratada, sobre el portaobjeto al cuál se le agregada rodizonato de sodio.

Observar al microscopio con un objetivo de 10 X.

La aparición de precipitados color violeta-fucsia, revela la presencia de plomo proveniente del proyectil.

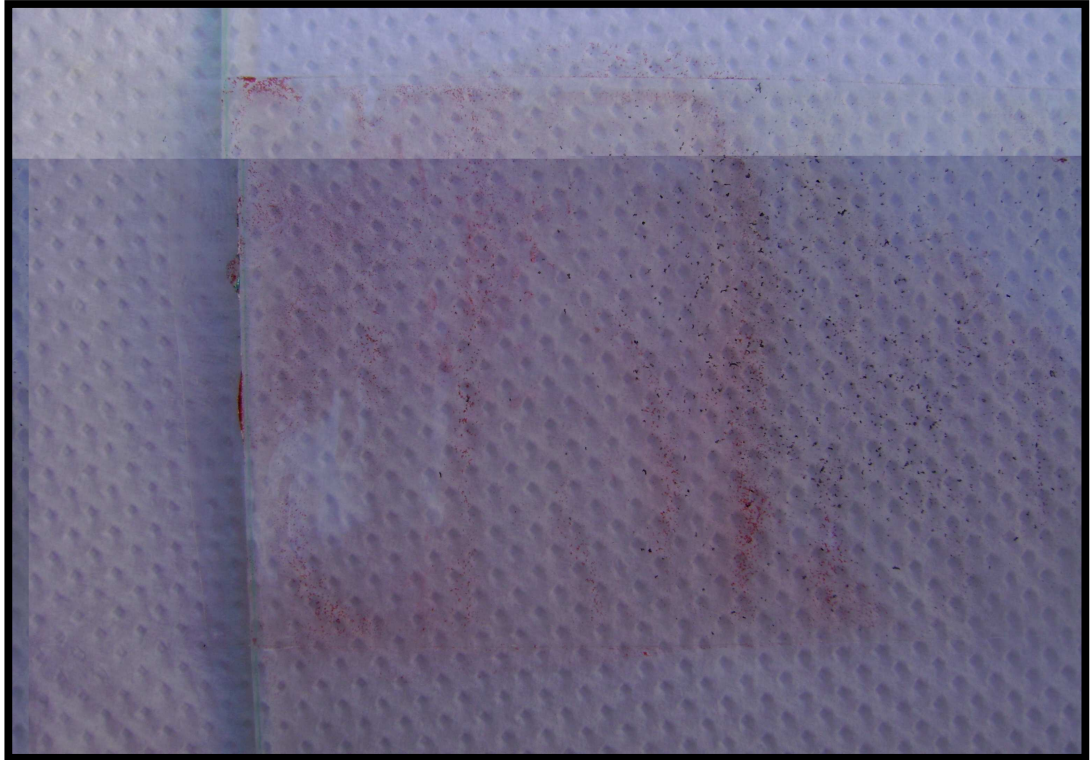


Figura N° 29: Fotografía obtenida de la reacción de Rodizonado de Sodio, indicando la coloración violeta fucsia la presencia de plomo. La aparición de precipitados color pardo rojizo revela la presencia de bario procedente del fulminante.

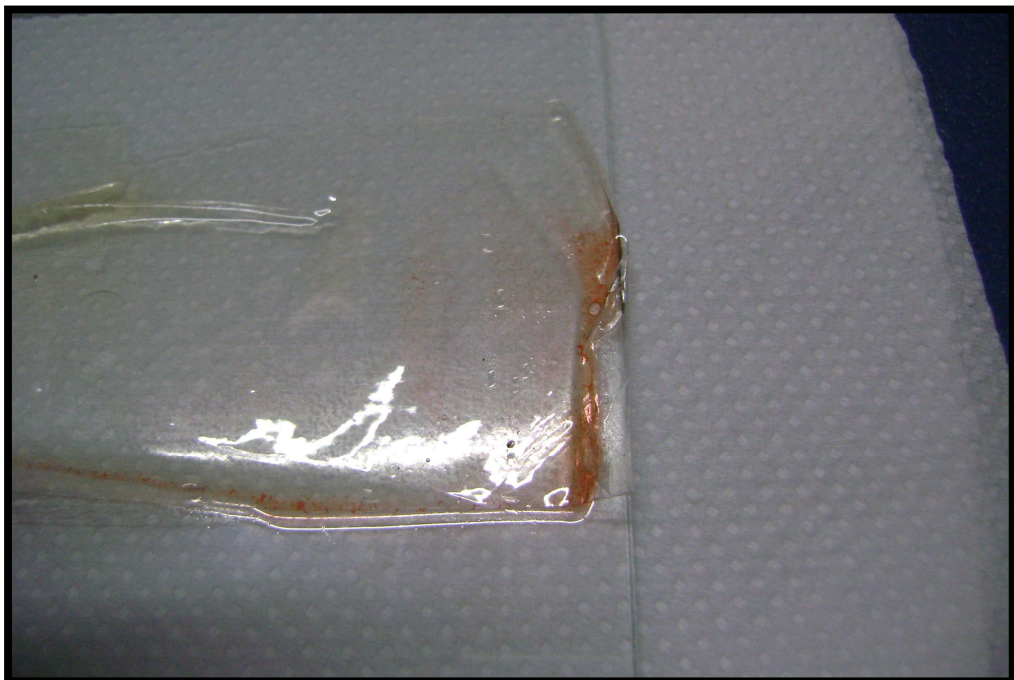


Figura N° 30: Fotografía obtenida de la reacción con bario.

Si las partículas que posibilitan el ensayo son de tamaño considerable, la imagen microscópica se conforma con una zona central carente de reacción (oscura) y un área periférica en forma de anillo o corona tachonada de núcleos de precipitación puniformes con los colores especificados para cada metal.

Para la detección de ANTIMONIO, retirar del portaobjetos la cinta sobre la que se practico la reacción anterior y en otra placa de Petri lavar con solución de ácido clorhídrico 6N durante un minuto.

Depositar sobre un portaobjetos una o dos gotas del reactivo compuesto por solución acuosa de ácido fosfomolibdico al 5 %, en forma lineal siguiendo el eje mayor del portaobjetos y aplicar la cinta sobre el mismo con el lado engomado sobre el vidrio.

Aplanar con ayuda de varilla de vidrio y observar al microscopio con objetivo de 4 X y 10 X.



Figura N°31: Fotografía obtenida de la muestra tratada con ácido fosfomolibdico.

La aparición de máculas puntuales de color azul que rodean a un núcleo oscuro revelan la presencia de antimonio proveniente del fulminante (hay proyectiles que también lo presentan en su composición junto al plomo).

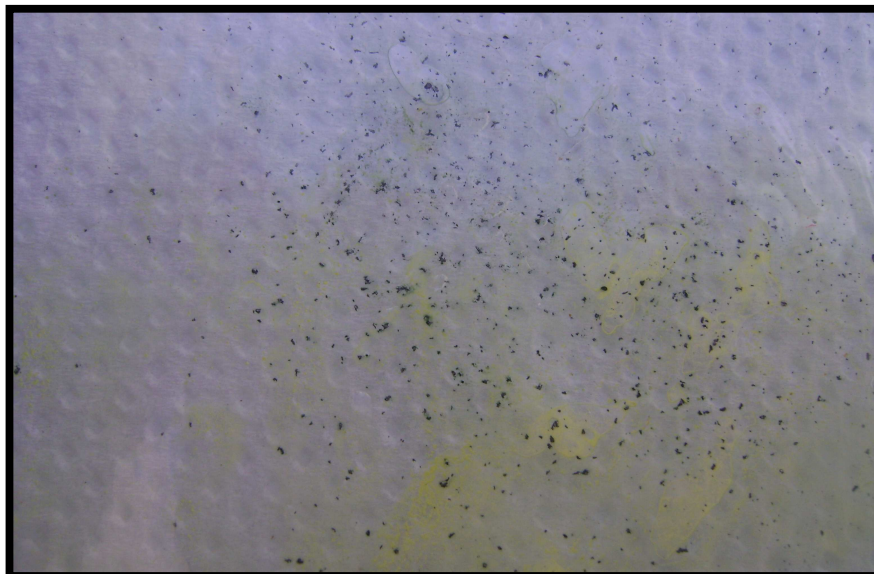


Figura N° 32: Fotografía obtenida de la reacción con antimonio.

La cantidad de reactivo fosfomolibdico debe ser suficiente para impregnar la totalidad de la superficie de la cinta con una fina película pero sin excesos, en razón de que las máculas azules pierden rápidamente el color por disolución en el medio de la reacción.

Numerosas pruebas se efectuaron con estos reactivos, aclarándose que además de los elementos enunciados (Pb, Ba, Sb), la prueba también se realizó con otros metales, en individuos fumadores, con agua lavandina, tierra, etc., con resultados negativos a excepción del zinc, el cuál reacciona con un precipitado del mismo color que para el plomo, pero su interferencia se soluciona si sólo se informan resultados positivos cuando se hallan los tres metales buscados.

La reacción negativa del plomo y bario se observa con un ligero tinte amarillento proveniente del reactivo de Rodizonato.

En la reacción para antimonio, el negativo se presenta con fondo transparente y las probables partículas ajenas al disparo se presentan oscuras.

La técnica principal propone la toma de las muestras pasando por las manos trocitos de gasa embebida en una solución de ácido clorhídrico diluido, practicándose la reacción sobre la tela y observándose a simple vista.

La modificatoria propuesta en esta técnica es la de facilitar la tarea de toma de muestras cuando la realiza personal policial alejado de un laboratorio, ya que todas las dependencias cuentan con cintas adhesivas y vidrios para rastros y no se requiere

personal especialmente preparado y, por otro lado, la observación de la reacción positiva al microscopio, aumenta la sensibilidad 40 – 100 veces, permitiendo ver macropartículas que no se verían a simple vista.²³

3).- ANALISIS POR ESPECTROMETRIA DE ABSORCION ATOMICA (AAS).

Esta técnica está basada en el estudio de los residuos inorgánicos producidos por los disparos de armas de fuego, los cuales y de acuerdo a la manufactura del fulminante, en diferentes proporciones, están compuestos por metales pesados los que se identifican como plomo, bario y antimonio.

- Fundamentos del sistema, absorción y emisión atómica:

La espectrometría atómica, en términos generales, está basada en la absorción, emisión o fluorescencia por átomos o iones elementales. Hay dos regiones del espectro que dan información atómica: la ultravioleta/visible y la de rayos X. En la primera región tienen su fundamento estas técnicas.

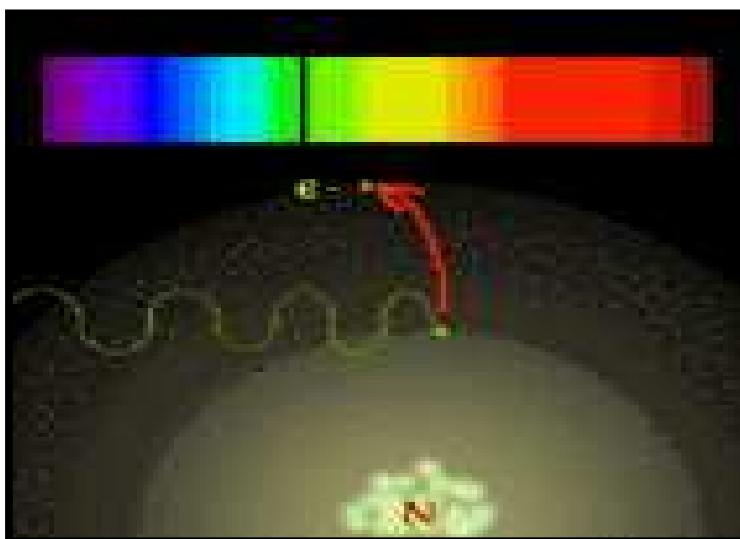


Figura N° 33: Se representa a un electrón excitado el cuál, libera energía la que es captada mediante el espectro electromagnético del mismo.

²³ Cfr. Cardini Fernando, et. al., ob.cit., p.73.

Cuando un átomo es excitado mediante la absorción de radiación de una determinada frecuencia (característica para cada átomo), estamos en el caso de las técnicas de absorción.

En el caso en que los átomos se lleven previamente a un estado excitado y se mide la intensidad de la radiación emitida a la frecuencia característica correspondiente a la transición desde el estado excitado al estado fundamental, hablamos de técnicas espectrofotométricas de emisión.

A continuación se tratara de explicar las técnicas espectrofotométricas de absorción atómica, de fotometría de llama y de emisión por plasma.

Pueden identificarse tres clases diferentes de procesos de emisión que difieren en cómo la sustancia alcanza el estado excitado previo a la emisión.

- a) Emisión a partir de una excitación electromagnética.
- b) Emisión a partir de excitación térmica.
- c) Emisión a partir de excitación eléctrica.

Los tipos más importantes de espectros de emisión se basan en la utilización de energía no electromagnética para llevar a un átomo o a una molécula al estado excitado, a partir del cual se miden las emisiones de radiación.

- Fotometría de llama.

Es una técnica de emisión que utiliza una llama como fuente de excitación y un fotodetector electrónico como dispositivo de medida. Se trata principalmente de un método de análisis cuantitativo y es uno de los métodos más sencillos y precisos para el análisis de metales alcalinos, la mayor parte de los metales alcalinotérreos y algún otro elemento metálico. También es posible realizar un análisis cualitativo examinando todas las longitudes de onda del espectro de emisión (espectrofotometría de llama o fotometría de llama). Su aplicación es limitada si se compara con la espectroscopia de emisión ordinaria, ya que la energía de la llama permite excitar únicamente de 30 a 50 elementos, siendo este número en función del tipo de llama utilizada. La muestra debe estar disuelta.

- **Espectrofotometría de absorción atómica**

Es una técnica muy relacionada con la fotometría de llama ya que se utiliza una llama para atomizar la disolución de la muestra de modo que los elementos a analizar se encuentran en forma de vapor de átomos. Ahora bien, en absorción atómica existe una fuente independiente de luz monocromática, específica para cada elemento a analizar y que se hace pasar a través del vapor de átomos, midiéndose posteriormente la radiación absorbida.

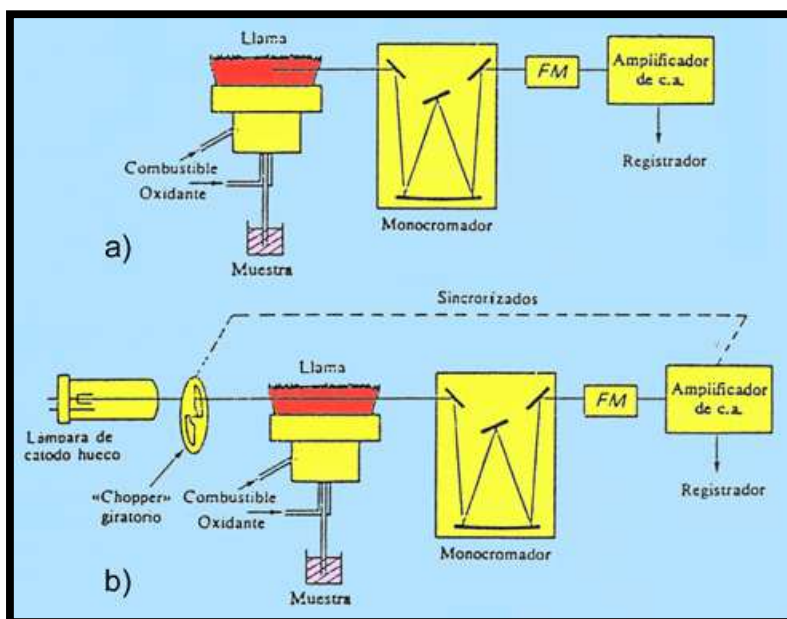


Figura N° 34: En la siguiente figura se compara un esquema espectrofotométrico de emisión de llama a), y el de absorción atómica b).

Dada la estrecha relación existente entre absorción atómica y fotometría de llama es inmediata una comparación entre ellas. En fotometría de llama la sensibilidad es proporcional al número de átomos que se han excitado, mientras que, en absorción atómica, la sensibilidad depende del número de átomos que se encuentran en el estado fundamental. Normalmente, tan sólo un pequeño porcentaje de átomos se encuentran en estado excitado en la llama. Por lo tanto, la absorción atómica da lugar, en general, a una mayor sensibilidad que la fotometría de llama para un gran número de elementos.

Además, la absorción atómica es una técnica que presenta menos interferencias y es más simple que la fotometría de llama, lo que explica el mayor desarrollo de esta técnica.

Hay que señalar que a pesar de ello, la absorción atómica no ha eliminado el uso de la fotometría, sino que ambos métodos deben considerarse complementarios, siendo la sensibilidad de cada uno de ellos superior a la del otro para determinados elementos.

Las ventajas fundamentales de la utilización de la llama como fuente de excitación son que los espectros son muy sencillos y que los resultados cuantitativos tienden a ser más reproducibles. Los espectros son sencillos debido a la baja energía de excitación de la llama que da lugar a pocas líneas de emisión. Este hecho hace disminuir el problema de las interferencias espectrales a partir de líneas y bandas de otros elementos y además no implica la necesidad de un monocromador de elevada resolución. La mayor reproducibilidad de estos métodos se debe al mejor control de las variables en una excitación por llama.

Las dos desventajas más importantes de los métodos de emisión de llama son que la energía de excitación es demasiado baja para la mayoría de los elementos y que la muestra debe estar disuelta. En absorción atómica la baja energía no es una desventaja tan importante ya que la misión de la llama, en ese caso, es únicamente atomizar la muestra y formar un vapor de átomos sin excitar; por esta razón es aplicable a un mayor número de elementos que la fotometría de llama.²⁴

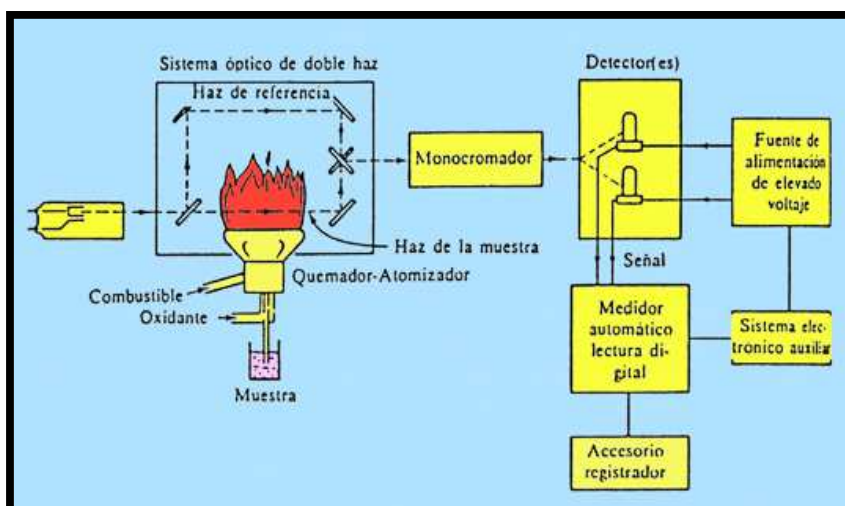
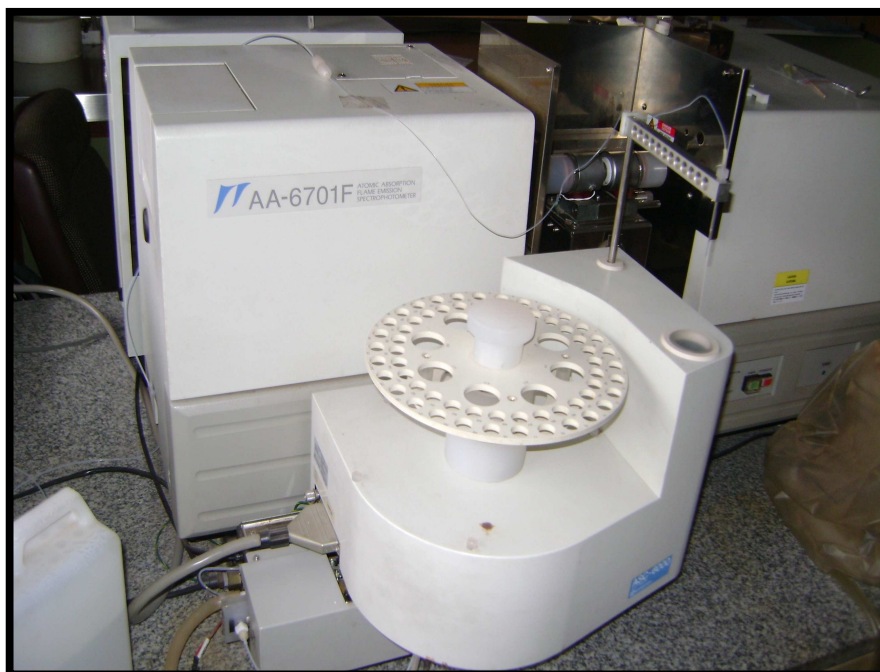


Figura N° 35: Se muestra el esquema de un espectrómetro de absorción atómica.

En nuestro medio la Asesoría Pericial dependiente de la Suprema Corte de Justicia de la Provincia de Buenos Aires, utiliza este método para el análisis de restos de

²⁴ Cfr. Alba Moure Peláez, et. al., **Espectroscopia de Absorción Atómica** en: http://www.xtec.net/~gjimene2/licencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d32817116-3_____AAS_final.html

deflagraciones, utilizándose para ello un espectrómetro de absorción atómica marca Shimadzu AA – 6701F, con el cual se han realizado varios ensayos con buenos resultados aunque sólo en la detección de antimonio, elemento que consideran típico en los residuos de disparos.



Figuras N° 36 y 37 : Fotografías obtenida del espectrómetro de absorción atómico que funciona en la sección Química Pericial en la Asesoría Pericial de la Provincia de Buenos Aires.

A continuación se publica la siguiente tabla extraída de estudio efectuado por los doctores Verónica Nicolau y otros, en colaboración con el Centro Regional de Investigaciones Científicas de Santa Fe (CERIDE) y el Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICEF).

Concentración Elemental (ppm) Partes por millón

MUESTRA	ANTIMONIO	BARIO	PLOMO
Residuos en la mano Luego disparo pistola cal 11,25	2,32	0,12	2,97
Residuos en mano de persona En contacto con pistola calibre 11,25 sin haber disparado	0,05	0,28	0,95
Residuos en mano luego de disparar revolver calibre .38	0,12	0,65	1,81
Residuo en mano de persona en Contacto con revolver calibre .38 sin haber disparado	0,07	0,034	1,3
Residuos en mano de persona con Tarea de expendio de combustible (sin plomo)	0,004	0,27	2,52

*- Fuente: Nicolau Verónica, "Aplicación de técnicas analíticas nucleares en química forense", en: **CERIDE-CONICET**, Sta. Fe, Universidad Nacional del Litoral, 2000, n°1, p. 4.

Levantamiento de Muestras.

Para el levantamiento de las muestras sobre las manos del presunto tirador, se debe proceder de la siguiente forma:

Se utilizan hisopos de algodón embebidos en ácido nítrico al 5 %, deben utilizarse cinco hisopos, los cuales deben tener un mango plástico y no de madera para evitar interferencias. Son utilizados dos hisopos para cada mano, uno para la palma y otro para

el dorso. Una vez obtenida la muestra, el hisopo debe ser conservado en un recipiente plástico, previamente esterilizado, al que se le agrega 1 c.c. de ácido nítrico al 5 %, el quinto hisopo es utilizado como muestra control.

Las muestras, previo tratamiento son introducidas en el espectrofotómetro que hará la lectura correspondiente.

En esta prueba es muy importante el criterio que se utiliza para la lectura de los resultados, toda vez que dichos valores están sujetos a las condiciones en las cuales pudo haber sido obtenida la muestra y también en que los citados elementos se encuentran presentes en diversos tipos de partículas en el medio ambiente; en este sentido una elevada proporción de los componentes o marcada diferencia entre los mismos son elementos puede ser indicativo de una respuesta negativa.²⁵

La técnica puede ser considerada efectiva, con respecto a la anterior absorción atómica tradicional (introducción de atomizadores electrotérmicos) la cuál detectaba sólo antimonio y bario, y no detectaba plomo, resultando también accesible debido a que el costo de utilización es bajo y existe disponibilidad de equipamiento.

La absorción atómica también ha sido utilizada para determinar distancias de disparo, basándose en patrones de concentración de Pb en el orificio producido por el proyectil.

También se han realizado estudios para determinar el tipo de munición usada a partir de la obtención de muestras en orificios producidos por los proyectiles, en razón de que el equipamiento también puede ser utilizado para detectar Cu, Zn, Ni, Fe, K y Sr (de la pintura de la punta del proyectil de las municiones trazadoras y el latón).

Se ha utilizado la técnica para analizar los restos en las manos de 112 casos de suicidas. Con niveles mínimos de 0,2 µg (microgramos) para Sb y 0,3 µg (microgramos) para Ba, hallándose resultados positivos en el 38 % de los casos. En estos casos el factor más importante para la obtención de buenos resultados fue la condición de las manos en las cuales fueron tomadas las muestras. Las manos limpias y secas examinadas en la escena o protegidas con bolsas de papel durante el traslado arrojaron resultados más consistentes. Las demoras en tiempo, las características del arma y la ubicación del cuerpo fue considerada secundaria.

Uno de los inconvenientes con los que cuenta esta técnica es la extracción incompleta de Sb de los hisopos, aún con un método optimizado de extracción se extrajo sólo un 60% a 70 % en comparación con la extracción casi completa de Pb y Ba. Otros

²⁵ Cfr. Di Maio, Vincent, **Heridas por arma de fuego**, Argentina, Ed. La Roca, 1999, p. 429-431.

problemas son, los tiempos variables de absorción en el caso de Sb, el aumento de absorción de Ba, causados por varios compuestos de su matriz y los hisopos húmedos que impiden la recolección efectiva.²⁶

4).- ANALISIS POR ACTIVACION NEUTRONICA.

Esta técnica propone la utilización de un reactor nuclear para la identificación de antimonio (Sb) y bario (Ba), habiéndose determinado que los isótopos de esos elementos resultan los más adecuados para la identificación, siendo estos el ¹³¹ Sb y el ¹²² Ba. Con respecto al plomo la técnica se halla imposibilitada de su identificación.

Según se señalara en algunas situaciones experimentales, que las muestras son obtenidas de las manos de tiradores empleándose para ello un papel de filtro de uso analítico (Whatman N° 541 exento de cenizas), impregnado en una solución acuosa de ácido nítrico al 5 % en volumen, previamente procesado con la finalidad de descartar elementos interferentes. De manera similar también las muestras pueden ser extraídas mediante el uso de hisopos de algodón, impregnados con el mismo ácido. La extracción de los residuos se efectúa en el primero de los casos en dos etapas; la primera, con fragmento del papel humedecido con solución nítrica (lavado de mano), y la segunda, con un papel seco para enjuagarlo. Estimándose que de esta manera se extraería un 60 a 50 % de las existencias reales de bario y antimonio presentes en la mano. Asimismo deben satisfacerse ciertas exigencias para la obtención de las muestras, las que se mencionan:

- 1) Usar papel filtro de una misma marca y de las mismas características.
- 2) Usar trozos de papel filtro de iguales dimensiones en todos los casos en que sea necesario recoger residuos de deflagraciones.
- 3) Raspar en forma intensa la zona o sector a examinar.
- 4) El operador deberá usar guantes que se desecharan previo al lavado de manos.
- 5) Almacenar y conservar el material obtenido en recipiente plástico.
- 6) Conocer las tareas u operaciones realizadas manualmente por el victimario y la víctima.

La muestra es irradiada mediante el bombardeo de electrones, que forma isótopos radioactivos mediante la combinación de neutrones con los elementos contenidos en la

²⁶ Cfr. Dalvy, Oliver, et. al., ob.cit., p. 930.

muestra. El neutrón radioisótopo inducido emite rayos X que son característicos de los elementos individuales, y las trazas se determinan por la intensidad de la radiación máxima.

Esta técnica puede ser utilizada en combinación con FAAS (Espectrometría de absorción atómica sin llamas), debido a que la muestra no es destruida.

La técnica prácticamente no es utilizada debido principalmente a los altos costos y la falta de disponibilidad de un reactor nuclear para llevarla a cabo y el tiempo requerido para completar el análisis.²⁷

5).- ANALISIS MEDIANTE EL USO DE PLASMA ACOPLADO POR INDUCCION.

El método analítico de Inducción de Plasma Acoplado (ICP) es una técnica usada para detectar las trazas de metales en muestras provenientes del medio ambiente. La finalidad del ICP es hacer que los elementos emitan su onda específica de luz la cual puede ser medida. La tecnología para el método ICP fue empleada por primera vez en 1960 y desde ese entonces, el ICP se ha ido perfeccionando y usado en conjunto de otros procedimientos para el análisis cuantitativo.

- Funcionamiento del sistema.

El hardware del ICP está diseñado para generar plasma, el cual es un gas en el que hay átomos presentes en estado ionizado. La alineación básica del ICP consiste en 3 tubos concéntricos, hechos de sílice. Estos tubos, que son el loop externo, el loop intermedio y el loop interno, forman lo que es la antorcha del ICP. La antorcha está situada entre una bobina enfriada a agua con un generador de frecuencias de radio. A medida de que los gases son introducidos en la antorcha, su campo de ondas de radio se activa y el gas en la región del embobinado se hace eléctricamente conductor. La secuencia de dichos eventos forma el Plasma.

Esta formación es dependiente hacia la fuerza de un campo magnético adecuado, y el patrón característico de las corrientes de gas que llevan y forman un patrón rotacional simétrico. El plasma se mantiene gracias al calor inductivo de los gases. La inducción del campo magnético genera una gran frecuencia eléctrica o corriente anular por medio del conductor, el conductor, es a su vez calentado por una resistencia Óhmica.

²⁷ Cardini, Fernando, et al., ob.cit., p. 89-92.

Para prevenir un corto circuito así como el derretimiento del equipo, el plasma debe estar separado del resto del sistema. Esta separación se logra debido al flujo en contra corriente de los gases en el sistema. Son tres los gases que fluyen en este sistema, el exterior, interior y el carrier. El exterior es frecuentemente Argón o Nitrógeno, el cual sirve para varias cosas, pero en especial para dar mantenimiento al plasma, para estabilizar su posición y para separar térmicamente a este, del tubo exterior. El argón se utiliza como el gas intermedio y como el gas carrier.

El sistema incluye:

- 1-. Un nebulizador, que sirve para introducir la muestra a analizar,
- 2-. La antorcha ICP.
- 3-. Generador de Alta frecuencia.
- 4-. Ópticas de transferencia y un espectrómetro.
- 5-. Y una interfase de computadora.

El ICP necesita estrictamente que las muestras a analizar estén en solución. Es preferible que sea una solución acuosa en comparación con una solución orgánica, ya que estas últimas necesitan una preparación especial extra antes de ser inyectadas dentro del ICP. Se puede literalmente tapan la instrumentación si se meten cuerpos sólidos, por eso estos no son aceptados.

El nebulizador transforma la solución acuosa en aerosol, la luz emitida por los átomos de algún elemento en el ICP deben ser convertidos a señales eléctricas las cuales puedan ser medidas cuantitativamente. Esto se logra al resolver la luz en su radiación componente (por difracción). Y luego se mide la intensidad de la luz con un tubo foto multímetro al largo de onda de cada elemento. La luz emitida por los iones o los átomos en el ICP son convertidas a señales eléctricas por el foto multímetro en el espectrómetro. La intensidad de la señal de electrón es luego comparada con intensidades medidas previamente de una concentración conocida del elemento y una concentración es archivada. Cada elemento puede tener muchas ondas en el espectro que es usado para su análisis. Pero claro está que la selección de la mejor línea de la aplicación analítica requiere de experiencia acerca de las ondas del ICP.²⁸

²⁸ Cfr. Mosso Eduardo, Método Analítico de Inducción de Plasma acoplado; en: <http://apuntes.rincondelvago.com/metodo-analitico-de-induccion-de-plasma-acoplada.html>

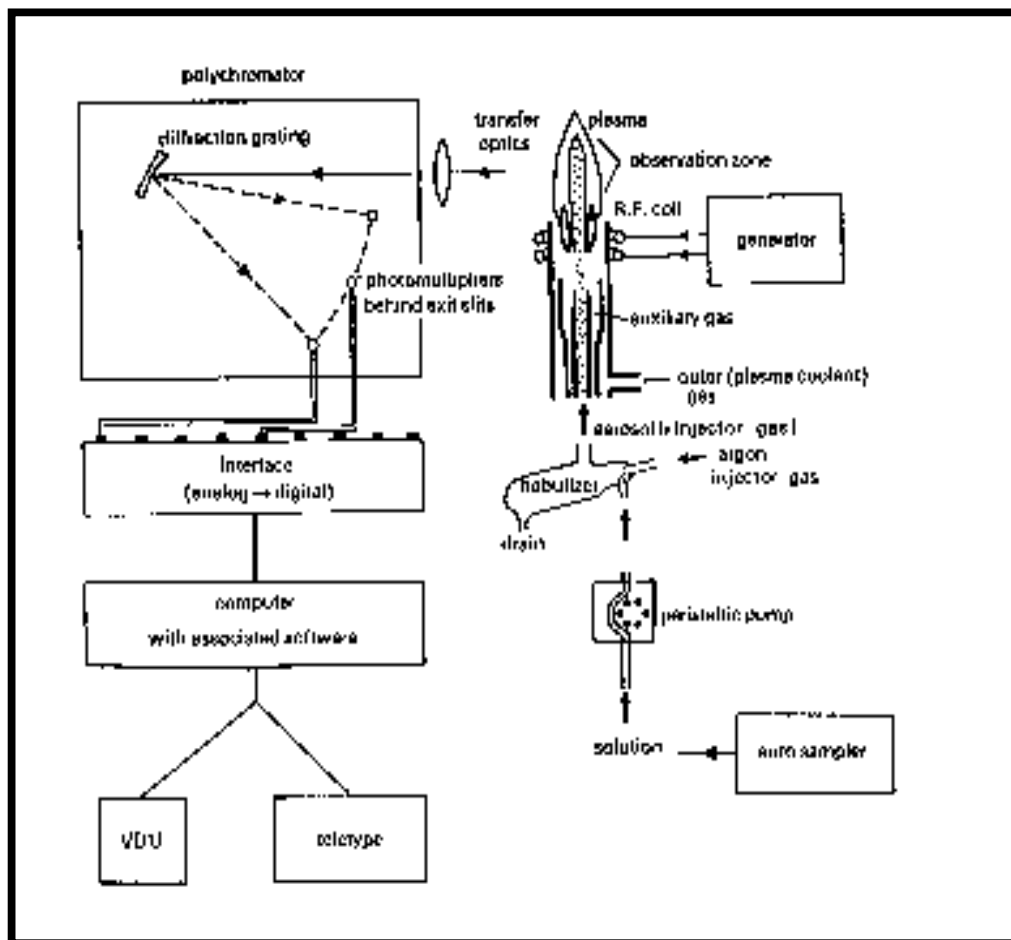


Figura N° 38: Esquema de un sistema de Plasma acoplado por Inducción (IPC).

El plasma acoplado por inducción (ICP), se utiliza para el estudio de las trazas de varios metales, entre los que se encuentran también el Pb, Ba y Sb, que se halla presente en los residuos de los fulminantes de armas de fuego.

Se informó sobre el uso de la espectrometría de emisión atómica (AES) con plasma acoplado inductivamente (ICP) o (ICP/AES) para el análisis de los niveles de Ba en hisopos. El método fue considerado más efectivo que la AAS (Espectrometría de Absorción Atómica), porque no hay interferencias de compuestos como en los hisopos comunes y la precisión es mayor, (los límites de detección de Ba, establecidos tres veces sobre el nivel de referencia fueron de: 0,002 µg/ml para AAS y en 0,0008 µg/ml para ICP-AES. La desviación estándar luego de varias mediciones de la misma solución con una concentración de Ba de 0,05 µg/mL fue de 5% - 10% en el caso de AAS y menor que 1% en el caso de la ICP-AES).-

También se hizo referencia a la espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP/MS), para el análisis de residuos originados en los fulminantes.

Este método fue elegido por su bajo límite de detección en comparación con la IPC-AES y la AA con cámara de grafito (GFAAS) (0,052, 0,020, y 0,14 ng/mL en Sb, Ba y Pb respectivamente) y por su mayor velocidad de análisis en comparación con la GFAAS. El uso de la MS, permitió la detección de varios isótopos para cada uno de los elementos de interés (Pb, Ba, Sb). Se consideró que la ICP-MS es útil en varios sentidos: para determinar niveles de elementos adicionales asociados con la manipulación de un arma de fuego, un compuesto de municiones, o elementos que puedan encontrarse en municiones específicas, tales como el estroncio en algunos fulminantes no tóxicos, el cobalto en proyectiles Nyclud o el cobre, níquel o cinc en proyectiles encamisados. La ICP-MS también permitió determinar la presencia de plomo derivado del fulminante por la distribución de isótopos.

También se ha registrado el uso de la ICP-MS en conjunto con SEM-EDX. Luego del análisis SEM, las partículas de residuos de disparos contenidas en colector adhesivo se disolvieron utilizando un 2% v/v de ácido nítrico y agua destilada. Se determinaron las proporciones isotópicas de Pb en ocho municiones con fulminantes a base de plomo. La comparación de las proporciones fue prometedora y algunos fulminantes a base de plomo pudieron distinguirse unos de otros. Sin embargo el método no es recomendable para el trabajo de todos los días, ya que es destructivo y lleva mucho tiempo.

A través de esta técnica se ha investigado las proporciones isotópicas del plomo en los residuos inorgánicos de disparos de armas de fuego utilizando colectores múltiples ICP-MS (MC-ICP-MS). Los niveles isotópicos del plomo se consideraban útiles en algunos escenarios específicos, por ejemplo en un tiroteo en el cuál se disparaban varias armas de fuego y diferentes municiones. Se descubrió que es posible relacionar un orificio de disparo de arma de fuego con el arma de fuego que la disparó. Sin embargo se registraron inconvenientes con la llamada "memoria del plomo", aún cuando se ha limpiado el arma quedan algunos restos de Pb de disparos anteriores y se confunden con los residuos de disparos subsiguientes. Esta memoria disminuye los niveles de asociación posible entre los residuos obtenidos del cañón del arma de fuego y los residuos de la munición disparada (proyectil y vaina).

Otros analistas han utilizado la ICP-MS de sector magnético de alta resolución (SF-HR-ICP-MS), para determinar los niveles de Pb, Ba y Sb en muestras de residuos, permitiendo la identificación de estos elementos en concentraciones tan bajas como

1ng/mL. Se utilizaron grafitos ternarios (triangulares), para visualizar mejor los resultados y permitir comparaciones directas entre los porcentajes relativos de los tres compuestos de interés y las diferentes muestras. Estos gráficos permitieron obtener evidencias contundentes con respecto al origen de los compuestos en las muestras de las manos (residuos de disparos o ambientales).²⁹

6).- ANÁLISIS MEDIANTE EL USO DE MICROSCOPIA DE BARRIDO ELECTRONICO (SEM) y ESPECTROSCOPIA DISPERSIVA DE ENERGIA (EDX).

- Principio de Funcionamiento.

El Microscopio de Barrido Electrónico (SEM) dotado con un analizador de rayos X, conocido como (EDX), es el instrumento actualmente más idóneo para el estudio de los restos de deflagraciones producidos por disparos de armas de fuego.

Como se sabe los objetos pueden ser conocidos en función a como estos interactúan con una fuente de energía, así por ejemplo los telescopios ópticos, y otros instrumentos como los espectrómetros, miden las longitudes de onda de las bandas de emisión o absorción en determinadas regiones del espectro electromagnético para así poder identificar los elementos o compuestos responsables de los mismos.

Teniendo en cuenta esta premisa, la microscopía de barrido electrónico está basada en la incidencia de un haz de electrones con una energía apropiada que impacta sobre la superficie de la muestra generando una enorme variedad de emisiones energéticas como por ejemplo los electrones secundarios y retrodispersados, que nos brindan información morfológica de la muestra.

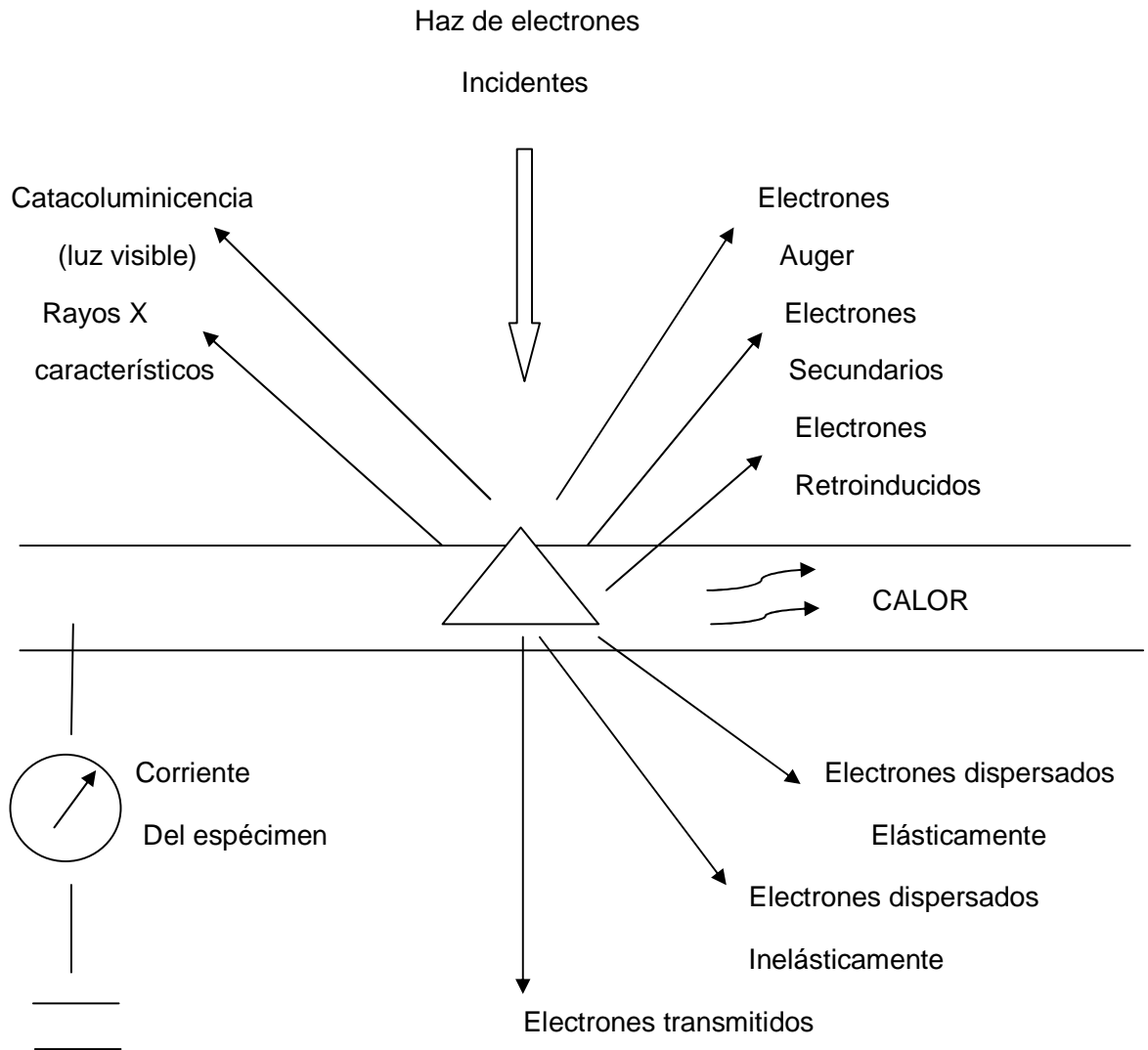
También cuando el haz de electrones interactúa con los átomos de la muestra, estos provocan que los electrones de las órbitas internas adquieran energía suficiente para ser eyectados hacia órbitas exteriores del átomo. La vacante creada por el proceso de eyección será ocupada por un electrón de las órbitas más externa, dando lugar a la emisión de una cierta cantidad de energía en forma de rayos X, siendo esta energía propia y característica de cada átomo de cada elemento, esto permite al sistema EDX (Espectroscopia Dispersiva de Energía), comúnmente llamada Microanálisis de Rayos X, identificar cada una de las partículas presentes en los residuos de disparos de armas de fuego.³⁰

²⁹ Cfr. Dalvy, Oliver, et.al., ob.cit., p.930.

³⁰ Cfr. Schwoeble, A.J. y Exline, D.L., ob.cit., p.171.

En definitiva el Microscopio de Barrido Electrónico, imita lo que nuestro ojo ve y como nuestro cerebro interpreta la imagen.

Figura N° 39: Esquema de un SEM.



- **Como son las partículas de residuos de disparos de tipo inorgánicos.**

Cómo se dijera anteriormente, a través de este equipamiento, fue posible la observación de las partículas inorgánicas de residuos de disparos de arma, las cuales en general tienen un tamaño estimado de entre 1 a 10 micrones aunque pueden variar de entre más de 1 micrón a menos de 100 micrones, pudiendo ser observadas y escaneadas la mayoría de ellas mediante el uso de EDS a 100 aumentos.

La mayoría de los estudios efectuados con las partículas orgánicas consideradas como “únicas” coinciden en que estas y de acuerdo a su morfología pueden clasificarse en tres clases;

- 1) **ESFEROIDES REGULARES**; Es el tipo de partícula que más comúnmente se encuentra en las manos de quién ha efectuado un disparo de arma de fuego. Son partículas esféricas, pequeñas que pueden tener pequeños bultos sobre su superficie. Los bultos generalmente son compuestos por un elemento único que puede originarse en el fulminante o en el proyectil y puede ser no específico (ni Pb, ni Ba, ni Sb). Estos bultos o nódulos son capturados por la masa de la partícula principal cuando ya ha ocurrido cierto grado de enfriamiento y la partícula se está solidificando. El cuerpo principal de las partículas contiene una mezcla uniforme de Pb, Ba y Sb.- Los tamaños varían desde 2 a 10 micrones de diámetro. Generalmente son sólidas con hueco en el núcleo. Son partículas aparentemente homogéneas por la agitación térmica y el movimiento Browniano. Las partículas se forman antes de que la mezcla del fulminante entre en ignición y, por su pequeño tamaño, durante la ignición del fulminante viajan hacia el frente de detonación con mayor velocidad que las partículas más grandes que quedan intactas. Este grupo y de acuerdo a estudios realizados representa un 68 % del total de los residuos hallados en las manos de un tirador.
- 2) **IRREGULARES**; conforman estimativamente un 25 % de todas las partículas encontradas. No son homogéneas y tienen una distribución discontinua de Pb, Ba y Sb. La heterogeneidad se debe a una distribución irregular de plomo bario y antimonio que refleja la manera en que se forman. Las partículas generalmente poseen cavidades centrales huecas, lo que sugiere que han sido expuestas a algún tipo de alteración durante su formación y explica la distribución de los elementos.
- 3) **ATÍPICAS**; son las menos encontradas. Formadas por una capa de Pb que rodea a un núcleo homogéneo de Ba y Sb. Aparentemente el núcleo de Ba y Sb está en proceso de solidificación cuando captura los vapores del Pb, de los residuos quemados y del proyectil disparado (a causa de las estrías del cañón durante el trayecto del proyectil a través del mismo). La capa de Pb, puede tener la apariencia de cáscara naranja en algunas circunstancias.³¹

³¹ Cfr. Dalvy, Oliver, et al., ob.cit., p.927.

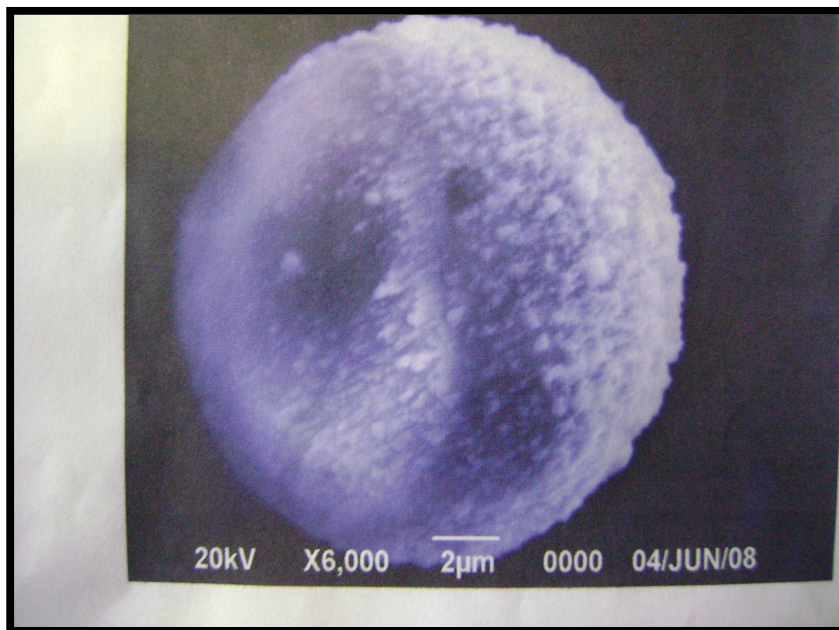


Figura N° 40: La presente imagen corresponde a una partícula “esferoide” típica de residuo de deflagración, la cual tiene una longitud de 2 micrones y fue obtenida por el Microscopio de Barrido Electrónico, ocasionalmente se observan partículas

de mayor tamaño con algunas esferas adheridas. Esta imagen fue obtenido con el SEM/EDX pertenecientes a la Policía de la Pcia. de Buenos Aires.

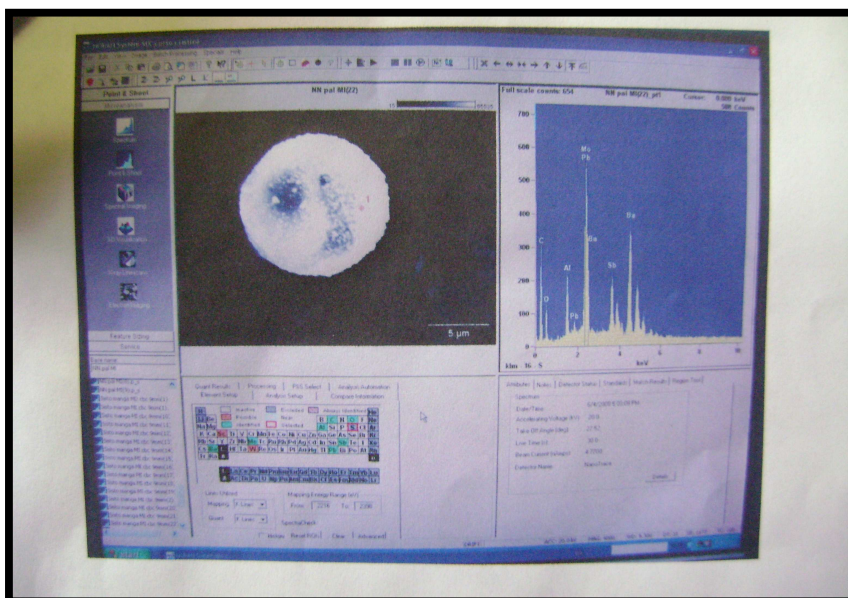


Figura N° 41: En la presente imagen se observa el análisis mediante la sonda EDS de la misma partícula de residuos de disparo de arma de fuego, y el espectro realizado sobre esta a los efectos de establecer su composición química

elemental, en la cual se determina la presencia de los elementos Plomo, Antimonio y Bario, presentes en dicha partícula.

- **Diferentes métodos para la toma de muestras.**

Como se mencionara anteriormente numerosas son las áreas de dónde se pueden obtener muestras de residuos de deflagraciones de armas de fuego, de la piel, de los vehículos (asientos, respaldos, puertas, ventanillas, tablero, techo interior y exterior), los alrededores del incidente, las puertas, ventanas, las partes del cuerpo, la ropa y cualquier otra superficie en la zona de un disparo de arma. Numerosas técnicas pueden ser utilizadas para la remoción de muestras, siendo necesario sin embargo elegir la más apropiada para asegurar la máxima eficiencia.

- Levantamiento con cintas.

Se trata de un método bastante eficaz a la vez que económico, debido a que a través de numerosos estudios y pruebas realizadas se comprobó que las cintas adhesivas comunes 3M poseen gran capacidad de adherencia de los residuos producidos por disparos de armas, debido a que de comparaciones efectuadas con otras técnicas se determinó que la más efectiva era la remoción con cintas adhesivas.

Las cintas debido a su gran poder de cobertura de la superficie, resultan ser idóneas para el levamiento de muestras en prendas, tapizados, piel y también cabello.

Este método sin embargo presenta algún inconveniente en nuestro medio, debido a que no todos los microscopios de barrido electrónico se hallan dotados de sistema de escaneo automático resultando así la detección de partículas típicas de residuos más difícil demandando una mayor cantidad de tiempo, toda vez que la cinta, y dependiendo de su ancho, posee una gran superficie a cubrir, asimismo también resulta necesario previamente preparar la muestra para ser colocada en el SEM, debiéndose cubrir la misma con una capa de carbón antes de ser analizadas, existiendo sin embargo actualmente en el mercado estadounidense cintas adhesivas con carbón.

Asimismo también el método remueve otros desechos ya sea de la piel o prendas que pueden ocultar la presencia de compuestos inorgánicos característicos en los residuos de disparos de armas de fuego.³²

- Levantamiento con adhesivos.

Este método se ha aplicado en la remoción de residuos de disparos en manos, resultando esta una técnica muy útil y actualmente utilizada en nuestro medio. Tiene como beneficios la simplicidad del kit específicamente utilizado, siendo la metodología

³² Cfr. Dalvy, Oliver, et. al., ob.cit., p. 926.

simple y sin necesidad de tratar la muestra para su análisis, reduciéndose también la manipulación y de este modo la contaminación de la misma.

En este caso la toma de muestras se realiza mediante discos de carbón adhesivos llamados “Kit Gunshot Residue”, los cuales permiten que los residuos queden adheridos a un material conductor.

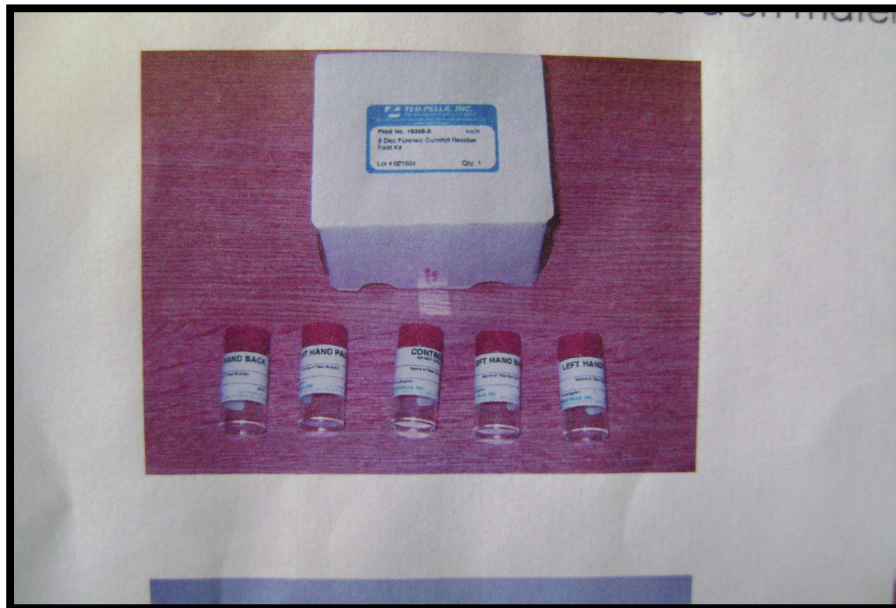


Figura Nro 42: Kit completo para toma de muestras.



Figura N° 43: Fotografía obtenida de recipientes contenedores de la muestra, aclarándose que son utilizados dos por cada mano, uno para la palma y el otro para el dorso de la mano y el quinto integrante del kit es utilizado como muestra control.

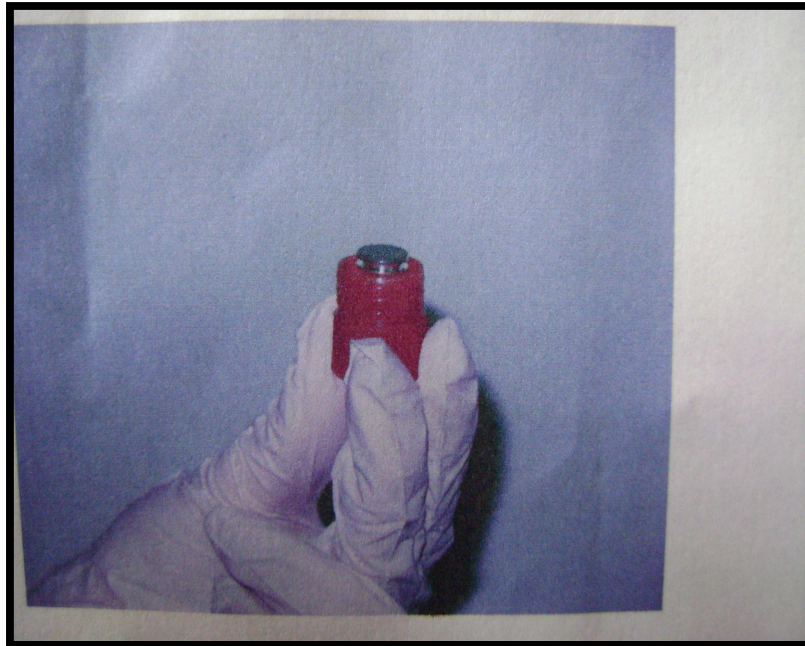


Figura N° 44: Fotografía obtenida de uno de los implementos utilizados para la toma de muestras.



Figura N° 45: Forma de obtención de la muestra sobre el dorso de la mano del presunto tirador.

-Recolecciones nasales.

También se ha desarrollado una técnica para extraer los residuos de la mucosa nasal humana, los cuales son transportados por el aire al momento de producirse el disparo.

En estudios realizados se recolectaron muestras en una pieza de sustrato de 5 x 5 cm. con un sonado de nariz normal. La muestra analizada con SEN EDX, registro la existencia de partículas inorgánicas con un tiempo menor a las 48 horas después de efectuarse el disparo. Este método sirve para determinar si una persona ha estado próxima al disparo de arma de fuego, no resultando de utilidad sin embargo para detectar si una persona ha disparado dicha arma, ya que se demostró que las partículas de residuos de disparos trasladadas en el aire tardan un tiempo relativamente largo en asentarse.³³

- Recolecciones de residuos en el cabello.

Cuando se produce el disparo las estelas de residuos exceden el espacio del arma y retroceden hacia el rostro y la cabeza, depositándose alguno de ellos en el cabello. Se han registrado diversos métodos para la recolección de restos en cabello, incluyéndose un método de peinado e hisopado y la remoción con cintas.

Se utiliza un peine de dientes finos para recolectar las muestras de residuos en cabellos, habiendo sin embargo surgido algunas dificultades en personas con cabello ondulado.³⁴

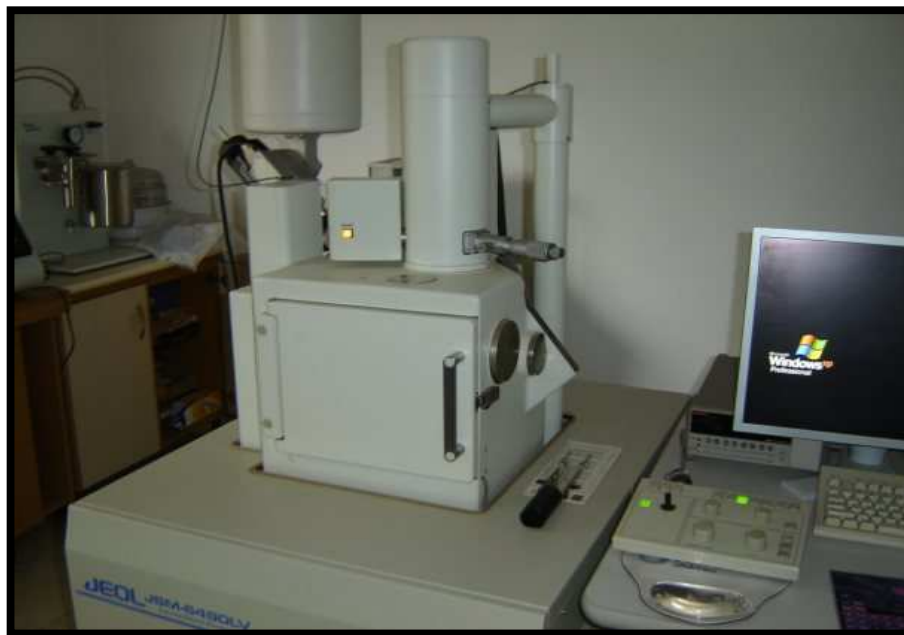
Las partículas extraídas posteriormente son analizadas en el SEM/EDX.

³³ Cfr. Dalvy, Oliver, et.al., ob.cit., p.928.

³⁴ Ibid.



Figura N° 46 y 47 : Fotografías obtenidas del Microscopio de Barrido Electrónico (SEM), con sonda de rayos X (EDX), existente en la Laboratorio Pericial de la ciudad de La Plata, perteneciente al Ministerio de Justicia y Seguridad de la Provincia de Bs As.



Figuras N° 48 y 49: Fotografías obtenidas del Microscopio de Barrido Electrónico (SEM), con sonda de rayos X (EDX), existente en la Laboratorio Pericial de la ciudad de La Plata, perteneciente al Ministerio de Justicia y Seguridad de la Provincia de Bs As.

MODELO DE ACTA DE LEVANTAMIENTO DE RESIDUOS DE DISPAROS PARA ANALISIS SEM-EDX.

En la ciudad de....., partido de.....Provincia de Buenos Aires, República Argentina, a los.....días del mes de....., del año.....y siendo las.....horas, con.....minutos, quien suscribe, Perito en.....perteneceiente a la....., constituido en.....de esta ciudad, a los efectos de realizar el levantamiento de residuos de disparos de arma de fuego, en actuaciones caratuladas....., dónde resulta víctima.....e imputados....., con la intervención de.....; en conocimiento de las penas con que la Ley castiga al falso perito y ante la presencia de testigos hábiles requeridos con la finalidad de certificar la diligencia, quién manifiesta ser y llamarse..... ser de nacionalidad.....de.....años de edad, instruido, de estado civil.....de ocupación....., domiciliado en.....y titular del Nro....., que en este acto.....exhibe, a quién seguidamente se le entera de las generales de la Ley , manifestando el mismohallarse comprendido en las mismas. A continuación , SE PROCEDE: haciendo constar que PRESTA CONFORMIDAD PARA REALIZAR LA TOMA DE MUESTRA/ SE NIEGA A LA REALIZACION DE LA DILIGENCIA, a realizar colección de muestra por transferencia con grafito con los kit de tubos estériles provistos por la Superintendencia de Policía Científica – Laboratorio Químico Legal, para ser sometidos a análisis de microscopía electrónica de barrido, utilizando para la manipulación del soporte un par de guantes estériles y sin polvo, según procedimiento de: A) Palma de la mano DERECHA de la víctima / imputado de autos, de nacionalidad....., de.....años de edad, si/no sabe leer y escribir, de estado civil....., de ocupación.....y titular del.....Nro.....que en este acto si/no exhibe , y quién en el presente acto SI/NO no se encuentra con vida, B) cara externa de la mano DERECHA procediendo

posteriormente de similar forma con C) Palma de mano IZQUIERDA, D) Cara externa de mano IZQUIERDA y E) en otros sectores.....

.....Finalizada esta labor se procede a introducir y/o ensobrar y a su cierre con formalidades legales, todo ello se rotula bajo número de rótulo.....A continuación se hacen constar las siguientes OBSERVACIONES:.....

.....
.....

No siendo para más el acto, finalizan las operaciones descriptas y previa e íntegra lectura que se da del presente, es ratificado por los intervinientes, firmando los mismos al pié para constancia.-

VICTIMA/ IMPUTADO

PERITO

TESTIGO

*- Fuente: Ministerio de Seguridad de la Pcia. De Bs.As.; **Protocolo de levantamiento de muestras de residuo de disparo para SEM/EDX**, Policía Científica Pcia. de Bs.As., año 2009.

-Posibles fuentes ambientales de contaminación en las muestras obtenidas para SEM/ EDX.

Resulta crucial la posibilidad de que existan otras fuentes de partículas similares a las de los residuos producidos por disparos de armas de fuego. En efecto si se descubriera que existen otros procesos o actividades que puede producir partículas de forma o características composicionales idénticas a las de los residuos producidos por disparos de armas de fuego, la importancia que se les daría a estas partículas como evidencia forense sería muy reducida.

Al respecto se han publicado numerosos estudios que investigan si las partículas inorgánicas que conforman los residuos producidos por disparos de arma son únicamente propias de estos disparos o no.

La aplicación del SEM y los detectores de rayos X (EDX), nos permite determinar la morfología y la composición de los elementos de las partículas individuales.

Se han realizado numerosos análisis con el equipamiento antes indicado de muestras obtenidas de las manos de gente que trabaja en lugares considerados como fuentes posibles de partículas similares a las observadas en los residuos de disparos. Las

actividades más propensas a producir partículas como las de los residuos de disparos fueron llamados por los especialistas oficios críticos. Estos estaban relacionados con operaciones comerciales e industriales que involucraban metales o compuestos de Pb, Ba y Sb. Los sectores relacionados con la fundición y/o vaporización de dichos elementos eran de interés particular. A continuación se describe en la siguiente tabla, la cual resulta producto de la investigación de fuentes ambientales y oficios que podrían interferir y confundir al analista en la detección de residuos de disparos;

OCUPACION/ACTIVIDAD	HALLAZGOS
PISTOLA INDUSTRIALES	Se encontraron dos partículas en muestras de una marca de municiones de pistola (Remington) que se correspondían con una partícula de residuo de disparo, eran pequeñas partículas esféricas que contenían Pb, Ba, Zn y Cu .- Sólo por la gran cantidad de partículas grandes pudo determinarse que las muestras no se correspondían con las partículas de residuos de disparo. Se encontraron trece partículas en muestras de municiones marca -- Omark que se correspondían con las de los residuos de disparos. Una composición típica de estas partículas eran Cu y Zn (3:1) con Pb, Fe y Ba (mayor concentración) y Si, K, Cu, Ca y Zn (menor concentración). Nuevamente por la gran cantidad de partículas grandes pudo determinarse que la muestra no se correspondía con residuos de disparos.
PISTOLA DE FULMINANTES: (juguete)	No se hallaron partículas similares a las de los residuos de disparos en estas muestras. Se detectó Sb, pero no hubo Pb ni Ba. Se detectaron morfologías cristalinas (Sb, S mayor concentración, Cl y P menor concentración) y esféricas (Cl, Ca y P; Ca, P, Zn y K mayor concentración, Sb, Cl y S menor concentración).
CARTUCHOS DE FOGUEO	No se encontraron partículas de residuos de disparos en dos tipos de municiones de fogueo, Winchester .22, con pólvora negra y Winchester ----- Western .38 con pólvora sin humo.
FUNDICION DE PLOMO:	Se encontraron partículas de Pb y Sb en las muestras, 50 % eran esféricas y 50 % irregulares (no se correspondían con la morfología de los residuos de disparos), ninguna de las muestras fue considerada residuo de -- disparo.
MECANICA DE FRENOS DE AUTOMOVILES	Dos partículas se correspondían con residuos de disparos (Pb y Ba con --- otro elemento asociado a los residuos de disparos). La primera contenía-- Fe, Cu, S, Si, Ba y Pb. La segunda Pb, Fe, Cu, Si, Ba y Cl., sin embargo las las proporciones de los elementos no coincidían con las de los residuos de disparos y las partículas quedaron fuera de consideración.-

OCUPACION/ACTIVIDAD	HALLAZGOS
ENSAMBLADORES DE BATERIAS DE Pb-ácido	Se encontraron partículas que coinciden con las de residuos de disparos Entre ellas: 1.- Pb y Sb, 2.- Pb, Sb, Fe, Si, Zn, 3.- Pb, Ca, Be, Fe y Zn -- 4.- Pb, Fe y Ba. 5.- Pb, Cu, Si y Zn, 6.- Pb, Ca, Ba, Fe y Zn.- Sin embargo Al tener en cuenta todas las partículas presentes, las muestras quedaron Descartadas como residuos de disparos.- La distribución del tamaño de Las partículas tampoco coincidirían con residuos de disparos.
MECANICA DE AUTOS, COLOCADORES DE ESCAPES Y PLOMO DEL AMBIENTE	No se encontró nada relacionado con residuos de disparos.

*- Fuente: Dalvy, Oliver, et.al., ob.cit., p. 935.

CAPITULO IV

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESIDUOS ORGÁNICOS

“Lo que sabemos es una gota, lo que ignoramos es un océano”

Isaac Newton (1643-1727 físico y matemático inglés) .

1).- CROMATOGRAFÍA DE GASES (CG).

La cromatografía de gases es una técnica de cromatografía en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interactúa con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.

Existen dos tipos de cromatografía de gases (GC): la cromatografía gas-sólido (GSC) y la cromatografía gas-líquido (GLC), siendo esta última la que se utiliza más ampliamente, y que se puede llamar simplemente cromatografía de gases (GC). En la GSC la fase estacionaria es sólida y la retención de los analitos en ella se produce mediante el proceso de adsorción. Precisamente este proceso de adsorción, que no es lineal, es el que ha provocado que este tipo de cromatografía tenga aplicación limitada, ya que la retención del analito sobre la superficie es semipermanente y se obtienen picos de elución con colas. Su única aplicación es la separación de especies gaseosas de bajo peso molecular. La GLC utiliza como fase estacionaria moléculas de líquido inmovilizadas sobre la superficie de un sólido inerte.

La GC se lleva a cabo en un cromatógrafo de gases. Éste consta de diversos componentes como el gas portador, el sistema de inyección de muestra, la columna (generalmente dentro de un horno), y el detector.

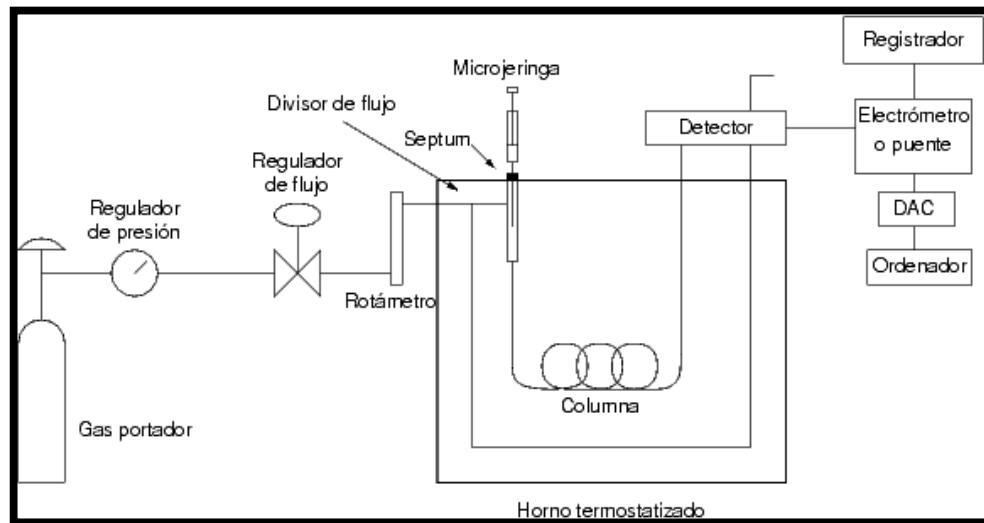


Figura N°50: Diagrama de un cromatógrafo de gases.

El gas portador que representa a la fase móvil cumple básicamente dos propósitos: transportar los componentes de la muestra, y crear una matriz adecuada para el detector. Un gas portador debe reunir ciertas condiciones:

El gas portador debe ser un gas inerte, para prevenir su reacción con el analito o la columna. Generalmente se emplean gases como el helio, argón, nitrógeno, hidrógeno o dióxido de carbono, y la elección de este gas en ocasiones depende del tipo de detector empleado. El almacenaje del gas puede ser en tubos normales o empleando un generador, especialmente en el caso del nitrógeno y del hidrógeno. Luego tenemos un sistema de manómetros y reguladores de flujo para garantizar un flujo estable y un sistema de deshidratación del gas, como puede ser un tamiz molecular.

Generalmente la regulación de la presión se hace a dos niveles: un primer manómetro se sitúa a la salida del tubo o generador del gas y el otro a la entrada del cromatógrafo, donde se regula el flujo. Las presiones de entrada varían entre 10 y 25 psi, lo que da lugar a caudales de 25 a 150 mL/min. en columnas de relleno y de 1 a 25 mL/min. en columnas capilares.

La pureza de los gases es sumamente importante, se requiere un 99.995 % de pureza. Sin embargo, debido al cuidado que se debe tener con la fase activa de la columna, se hace completamente necesario la instalación de trampas a la entrada del Gas carrier, (gas de transporte) estas trampas obviamente tienen una capacidad limitada, pero son importantísimas al momento de usar el Cromatógrafo. Estas trampas evitan el ingreso de Hidrocarburos, agua, CO entre otros.

La inyección de muestra es muy importante, ya que se debe inyectar una cantidad adecuada, y debe introducirse de tal forma (como un "tapón de vapor") que sea rápida para evitar el ensanchamiento de las bandas de salida; este efecto se da con cantidades elevadas de analito. El método más utilizado emplea una micro jeringa (de capacidades de varios microlitros) para introducir el analito en una cámara de vaporización instantánea. Esta cámara está a 50 °C por encima del punto de ebullición del componente menos volátil, y está sellada por una junta de goma de silicona septa o septum.

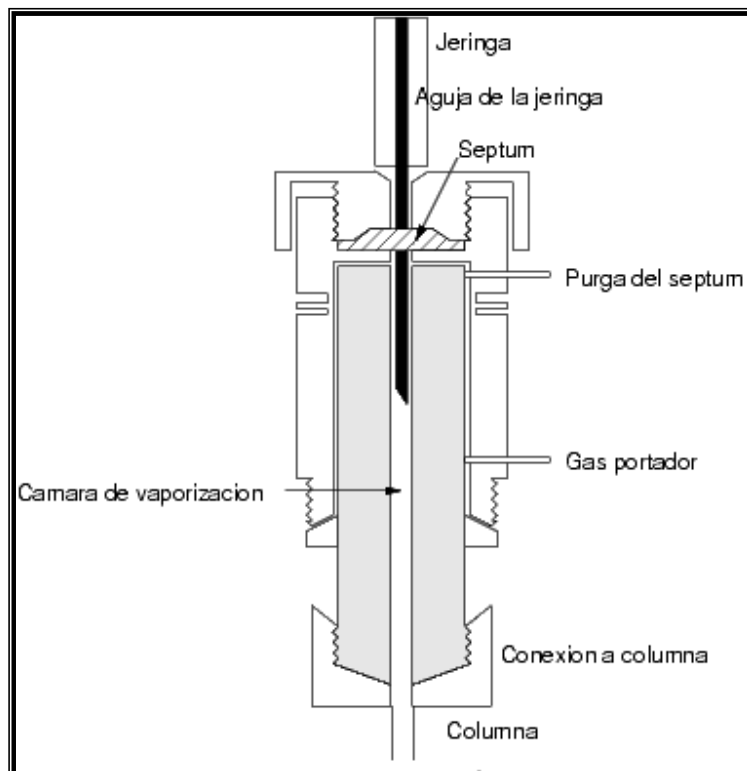


Figura N°51: Inyector de muestra para un GC.

- **Columnas y sistemas de control de temperatura.**

En GC se emplean dos tipos de columnas: las empaquetadas o de relleno y las tubulares abiertas o capilares. Estas últimas son más comunes en la actualidad, debido a su mayor rapidez y eficiencia. La longitud de estas columnas es variable, de 2 a 60 metros, y están construidas en acero inoxidable, vidrio, sílice fundido o teflón. Debido a su longitud y a la necesidad de ser introducidas en un horno, las columnas suelen enrollarse en una forma helicoidal con longitudes de 10 a 30 cm, dependiendo del tamaño del horno.

La temperatura es una variable importante, ya que de ella va a depender el grado de separación de los diferentes analitos. Para ello, debe ajustarse con una precisión de décimas de grado. Dicha temperatura depende del punto de ebullición del analito o

analitos, como también la máxima temperatura de funcionamiento de la columna (fase estacionaria), y por lo general se ajusta a un valor igual o ligeramente superior a él. Para estos valores, el tiempo de elución va a oscilar entre 2 y 30-40 minutos. Si tenemos varios componentes con diferentes puntos de ebullición, se ajusta la llamada rampa de temperatura con lo cual ésta va aumentando ya sea de forma continua o por etapas. En muchas ocasiones, el ajustar correctamente la rampa puede significar separar bien o no los diferentes analitos. Es recomendable utilizar temperaturas bajas para la elución ya que aunque a mayor temperatura la elución es más rápida, se corre el riesgo de descomponer el analito.

Si la columna empleada es rellena, el volumen a inyectar será de unos 20 μL , y en el caso de las columnas capilares dicha cantidad es menor, de 1 μL , y dependiendo del tipo de columna capilar (ya que existen columnas con distinto diámetro interno) es que si se utiliza todo el volumen de muestra inyectado. Para obtener menor cantidad de volumen, se utiliza un divisor de flujo (la inyección se conoce como modo "Split") a la entrada de la columna que desecha parte del analito introducido. Si se utiliza todo el volumen de muestra la inyección es de tipo "Splitless". El modo Splitless, se empleó más para determinar pequeñas cantidades o trazas (determinaciones ambientales).

Si se inyecta 1 microlitro de solvente, por ejemplo agua al pasar a la fase vapor su volumen se multiplicará por mil. Es decir, un microlitro de agua pasaría a ser 1 mL de agua en gas, como el volumen del puerto de inyección es limitado, se emplean split pulsado u otras configuraciones para garantizar el ingreso adecuado de las muestras.

En caso de muestras sólidas, simplemente se introducen en forma de disolución, ya que en la cámara de vaporización instantánea el disolvente se pierde en la corriente de purga y no interfiere en la elución.

El mejor gas a usar en la columna cromatográfica como portador de los analitos es el hidrogeno, sin embargo dada su peligrosidad se recomienda el nitrógeno, primero por su bajo precio respecto a los otros gases y por la resolución de los picos que se muestran en los cromatógrafos.

Detectores

El detector es la parte del cromatógrafo que se encarga de determinar cuándo ha salido el analito por el final de la columna. Las características de un detector ideal son:

Sensibilidad: Es necesario que pueda determinar con precisión cuándo sale analito y cuando sale sólo el gas portador. Tienen sensibilidades entre 10^{-8} y 10^{-15} g/s de analito.

Respuesta lineal al analito: con un rango de varios órdenes de magnitud.

Tiempo de respuesta corto: independiente del caudal de salida.

Intervalo de temperatura de trabajo amplio: por ejemplo desde temperatura ambiente hasta unos 350-400 °C, temperaturas típicas trabajo .

Estabilidad y reproducibilidad: es decir, a cantidades iguales de analito debe dar salidas de señal iguales.

Alta fiabilidad y manejo sencillo: o a prueba de operadores inexpertos.

Respuesta semejante para todos los analitos, o Respuesta selectiva y altamente predecible para un reducido número de analitos.

Algunos tipos de detectores:

- **Detector de ionización de llama** (FID, Flame Ionization Detector).
- Detector de conductividad térmica (TCD, Thermal Conductivity Detector).
- Detector Termoiónico (TID, Thermionic Detector).
- **Detector de Captura de electrones** (ECD, Electrón-Capture Detector).
- Detector de Emisión Atómica (AED, Atomic Emission Detector).
- **Detección Térmica** (TEA Thermo Energía Analysen).

- **Columnas de relleno.**

Las columnas de relleno consisten en unos tubos de vidrio, metal (inerte de ser posible como el acero inoxidable, Níquel, Cobre o Aluminio) o teflón, de longitud de 2 a 3 metros y un diámetro interno de unos pocos milímetros, típicamente de 2 a 4. El interior se rellena con un material sólido, finamente dividido para tener una máxima superficie de interacción y recubierto con una capa de espesores entre 50 µm y 1 µm. Para que puedan introducirse en el horno, se enrollan convenientemente.

El material de relleno ideal consiste en pequeñas partículas, esféricas y uniformes, con una buena resistencia mecánica, para tener una máxima superficie donde interaccionar la fase estacionaria y el analito. La superficie específica mínima ha de ser de 1 m²/g. Como todos los componentes de columnas para GC, debe ser inerte a altas temperaturas (~400 °C) y humectarse uniformemente con la fase líquida estacionaria durante el proceso de fabricación. El material preferido actualmente es la tierra de diatomeas natural, debido a su tamaño de poro natural. Estas especies, utilizaban un sistema de difusión molecular para tomar nutrientes del medio y expulsar sus residuos. Por tanto, debido a que el sistema de absorción superficial del analito y la fase estacionaria es parecido, son materiales especialmente útiles.

El tamaño es crítico a la hora de darse el proceso de interacción del analito, y a menores tamaños la eficacia de la columna es mejor. Pero existe el problema de la

presión necesaria para hacer circular un caudal estable de gas portador por la columna, ya que dicha presión es inversamente proporcional al cuadrado del diámetro de dichas partículas. Así, el tamaño mínimo para usar presiones máximas de 50 psi es de 250 a 149 μm .

- **Columnas capilares**

Las columnas capilares son de dos tipos básicos: las de pared recubierta (WCOT) y las de soporte recubierto (SCOT). Las WCOT son simplemente tubos capilares donde la pared interna se ha recubierto con una finísima capa de fase estacionaria. Las columnas SCOT tienen en su parte interna una fina capa de material absorbente como el empleado en las columnas de relleno (tierra de diatomeas) donde se ha adherido la fase estacionaria.

- **La fase estacionaria**

Las propiedades necesarias para una fase estacionaria líquida inmovilizada son:

- . Características de reparto (factor de capacidad κ' y factor de selectividad α) adecuados al analito.
- . Baja volatilidad, el punto de ebullición de la fase estacionaria debe ser al menos 100 °C mayor que la máxima temperatura alcanzada en el horno.
- . Baja reactividad.
- . Estabilidad térmica, para evitar su descomposición durante la elución.

Existen como mucho una docena de disolventes con estas características. Para elegir uno, debe tenerse en cuenta la polaridad del analito, ya que a mayor polaridad del analito, mayor polaridad deberá tener la fase estacionaria. Algunas fases estacionarias utilizadas actualmente son:

- **Polidimetilsiloxano**, fase no polar de uso general para hidrocarburos aromáticos, polinucleares, drogas, esteroides, etc.
- **Poli(fenilmetildifenil)siloxano** (10% fenilo), para ésteres metílicos de ácidos grasos, alcaloides, drogas y compuestos halogenados.
- **Poli(fenilmetil)siloxano** (50% fenilo), para drogas, esteroides, pesticidas y glicoles.
- **Poli(trifluoropropildimetil)siloxano**, para aromáticos clorados, nitroaromáticos, bencenos alquilsustituidos.
- **Polietilenglicol**, sirve para compuestos polares, también para compuestos como glicoles, alcoholes, éteres, aceites esenciales.

- **Poli(dicianoalildimetil)siloxano**, para ácidos grasos poliinsaturados, ácidos libres y alcoholes.³⁵

Se han utilizado numerosos detectores para el estudio de restos orgánicos de deflagraciones producidas por disparos de armas de fuego, incluyendo FID (ionización de flama), TEA (detección térmica), ECD (captura de electrones) y MS (espectrometría de masas). El detector TEA (Thermo Energía Analysen) ha sido el más utilizado para los análisis de residuos orgánicos de deflagraciones.

Se han realizado estudios utilizando la GC-TEA y GC-MS, para detectar varios compuestos y productos de degradación de las pólvoras sin humo en los cañones de las armas de fuego después de ser disparadas. La GC-TEA se utilizó para analizar las muestras y la GC-MS se utilizó para detectar compuestos de interés.

La GC con el detector TEA, demostró tener un alto grado de sensibilidad para los compuestos de interés. Los límites de detección fueron: 0,2 ng para la NG (Nitroglicerina), 0,05 ng para el 2,4-DNT (dinitrotolueno) y 0.05 ng para el 2,6-DNT (dinitrotolueno). La baja sensibilidad del GC-TEA para la NG (nitroglicerina), en comparación con el DNT (dinitrotolueno) puede explicarse por la descomposición térmica de la NG (nitroglicerina) en la columna del cromatógrafo de gases que produce una no linealidad en la altura pico de la nitroglicerina por la concentración, sobre todo cuando se acerca al límite de la detección. Un aumento en la longitud de la columna (15-30m) dio picos para la Nitroglicerina, un segundo pico menor determinado en 1,2 GDN, como producto de descomposición termal de Nitroglicerina. Esta descomposición fue considerada una desventaja de la sensibilidad. Aún así, la presencia de dos picos aumentó la probabilidad de identificar la nitroglicerina utilizando la GC-TEA. Se utilizaron dos sistemas de GC-MS para analizar mezclas estándar. Ninguno de estos sistemas fue optimizado para el análisis de explosivos, sin embargo se registraron los límites de detección para los compuestos de interés en varios nanogramos. Ninguno de los casos que dio nitroglicerina positivo mediante el uso de de la GC-TEA, pudo ser confirmado con la GC-MS. Por lo tanto se concluyó que la GC-MS no es suficientemente sensible para la mayoría de los casos de la vida real. La IMS (espectrometría de movilidad iónica) fue considerada como una buena técnica complementaria para la GC-TEA en la detección de residuos orgánicos.

³⁵ Cfr. Wikipedia, La Enciclopedia libre, Cromatografía de Gases, en: http://es.wikipedia.org/wiki/cromatograf%C3%ADa_de_gases

Se han utilizado estos métodos para detectar compuestos explosivos, muchos de los cuales pueden encontrarse en las municiones de armas de fuego. Según estudios los límites de detección para muchos de los compuestos eran varios nanogramos (NG 10 ng, TNT 10ng, RDX 10 ng, tetra-nitrato de pentaeritrol PETN 0,5 ng).

Se ha registrado un método muy útil para el análisis combinado de restos de deflagraciones orgánico e inorgánico con el SEM-EDX (microcopia de barrido electrónico-sonda de rayos X). Las muestras se extrajeron del colector con una mezcla de agua /etanol (80/20) a 80° C, seguido de la extracción con cloruro de metileno y concentrado por evaporización para el análisis de los residuos de deflagraciones, con la GC-TEA y la IMS.

Las técnicas de cromatografía de gases no puede analizar la Nitroglicerina, ya que no es lo suficientemente volátil. Su introducción como compuesto principal a una columna de GC puede también acelerar el mal funcionamiento de la columna. Los ésteres de nitrato que frecuentemente se encuentran en los restos de deflagraciones son también incompatibles con la condición natural de los sistemas de Cromatografía de gases por su inestabilidad termal, esos compuestos se descompondrán en columnas mal preparadas. El TETN (trietilamina) sufre particularmente esta situación. También se ha descubierto que la Cromatografía de gases no es apropiada para el análisis de estabilizantes tales como la N-Nitrosodifenilamina porque la temperatura involucrada en estos sistemas puede causar la denitrosación de la difenilamina (DPA).³⁶

2).- LA CROMATOGRAFIA LIQUIDA DE ALTA RESOLUCION (HPLC).

La cromatografía de líquidos es un método de separación física basado en la distribución de los componentes de una mezcla entre una fase estacionaria y una fase móvil que en este caso es un líquido. La cromatografía líquida "clásica" se lleva a cabo en una columna generalmente de vidrio, la cual esta rellena con la fase estacionaria. Luego de sembrar la muestra en la parte superior, se hace fluir la fase móvil a través de la columna por efecto de la gravedad. Con el objeto de aumentar la eficiencia en las separaciones el tamaño de las partículas de fase fija se fue disminuyendo hasta el tamaño de los micrones lo cual genero la necesidad de utilizar altas presiones para lograr que la fase móvil fluya a velocidades razonables. De esta manera, nació la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), que requiere de instrumental especial que permita trabajar con las altas presiones requeridas. Dependiendo del tipo de fase

³⁶ Cfr. Dalvy, Oliver, et al., ob.cit., p.932.

estacionaria y del tipo de fenómeno físico que provoca la separación, la cromatografía líquida de alta resolución puede clasificarse en:

1. Cromatografía de adsorción: La fase estacionaria es un sólido y se utiliza casi exclusivamente sílice (silica) y en casos discretos alúmina.
2. Cromatografía de reparto o partición.

Actualmente se utiliza como fase estacionaria compuestos ligados químicamente a un soporte sólido de sílice. Se puede subdividir en cromatografía en fase normal y en fase inversa (usualmente mal llamada reversa por traducción de “reversed”).

En la cromatografía en fase normal la fase estacionaria es polar (como por ejemplo sílice) y la fase móvil es poco polar (hexano, diclorometano, cloroformo). En esta modalidad los compuestos más polares quedan más retenidos mientras que los menos polares fluyen primero. En la cromatografía en fase inversa, el compuesto unido químicamente es no polar, frecuentemente hidrocarburo alifático, y se emplean en las fases móviles solventes polares (agua, metanol, acetonitrilo). En este caso, las sustancias más polares fluyen primero y las hidrofóbicas quedan más retenidas.

3. Cromatografía de iones.: Se utilizan columnas rellenas con fases estacionarias con una determinada carga que retienen iones de carga opuesta. Las fases estacionarias para la modalidad clásica de esta cromatografía son las resinas de intercambio iónico.

4. Cromatografía de exclusión por tamaño: La fase estacionaria está formada por partículas de porosidad definida y uniforme. Las moléculas de mayor tamaño tienen menor capacidad para acceder a los poros y por mantenerse “excluidas” fluyen más rápido, mientras que las de menor tamaño que pueden penetrar en los poros y permanecer allí más tiempo fluyen en último lugar.³⁷

³⁷ Cfr. QuimicaNet.com. ¿Qué es la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC)?, en: http://www.quiminet.com/ar1/ar_zgtadddsavcd-que-es-cromatografia-liquida-de-alta-eficiencia-hplc.htm

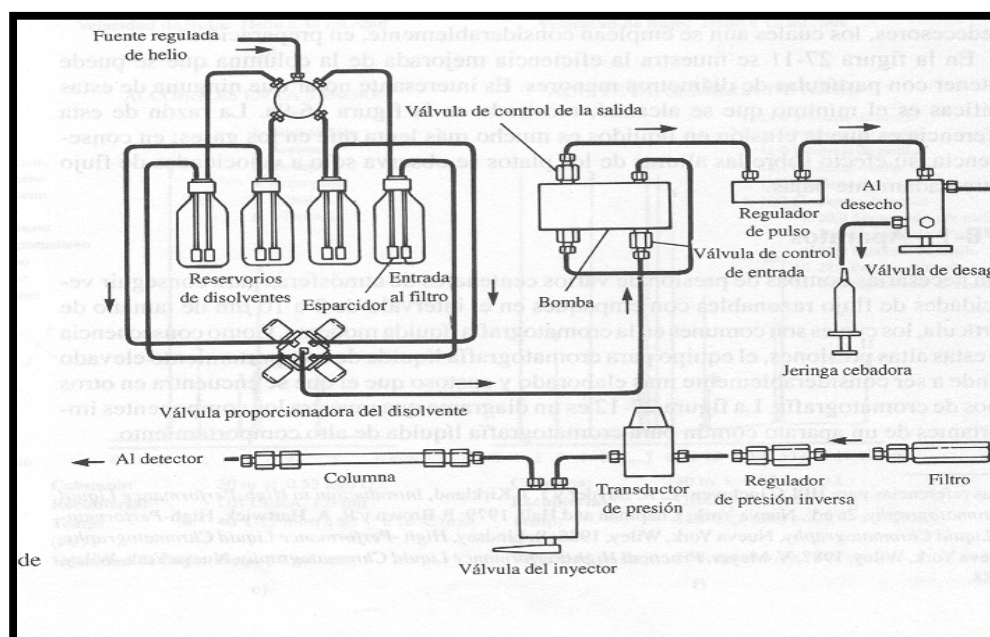


Figura N° 52: Esquema de un cromatógrafo en fase líquida de alta resolución.

La HPLC ha sido aplicada en el análisis de restos orgánicos de residuos de disparos con varios tipos de detectores. Ng, 2,4-DNT, y DPA han sido analizados con detección electroquímica. También se ha utilizado la detección amperométrica con un electrodo de gota de mercurio (PMDE) y la detección coulométrica con electrodos de carbono para analizar NG y DPA y cromatografía de exclusión por tamaño/PMDE para NC.

También se ha utilizado la HPLC-PMDE y la GC-MS para analizar residuos orgánicos de pólvora en combinación con SEN-EDX para el análisis de residuos inorgánicos. Se utilizó HPLC-PMMD, para detectar NG y 2,4-DNT (GC-MS para DPA, EC, MC). Los análisis de compuestos orgánicos de residuos arrojaron resultados más positivos que los análisis inorgánicos. El análisis combinado de ambos tipos de residuos produjo resultados más útiles y precisos.

En otro orden también se ha utilizado la LC-MS/MS para el análisis cuantitativo de estabilizantes comunes de pólvora en residuos orgánicos de disparos de armas de fuego.

Los residuos se recolectaron de las manos de tiradores de armas de fuego con hisopos de algodón (etanol, agua 75/25% v/v. se utilizó una técnica de SPE para la concentración y purificación de las muestras. DPA, N-nitrosodifenilamina (n-NDPA), 4-nitrodifenilamina (4-NDPA), 2-nitrodifenilamina (2-NDPA), Akardite II (AKII), metil centralita (MC, y EC fueron identificadas en las mezclas estándar, utilizando monitoreo de reacción múltiple y permitiendo determinar la presencia de iones precursores en las muestras y posteriormente identificar los compuestos correspondientes. Los límites de detección fueron 0,29, 0,27, 0,34 y 0,21 nmol/L para DPA, N-NODPA, 4-NO₂-DPA, 2NO₂-DPA,

respectivamente. La EC y la MC tuvieron un límite de detección de 0,07 nmol/L y para la AKII se determinó un límite de detección de 1,3 nmol/L. Convertidos en el equivalente de los compuestos inyectados en la columna, los límites de detección fueron de 5, 6, 20, 27, 32, 34, y 115 ug, inyectados en la columna de EC, MC, 2-NDPA, N-NDPA, 4-NDPA, DPA, y Ak II, respectivamente. El método fue muy sensible con las centralitas (EC y MC) y los resultados de AK II deficientes se asociaron a algunos problemas con los niveles de recuperación durante SPE. Los análisis de las muestras tomadas en las manos de tiradores confirmaron que el método es adecuado para el análisis de rutina de residuos orgánicos de disparos. Sin embargo se concluyó que es necesario seguir investigando la duración de los compuestos de residuos orgánicos de disparo en las manos antes de determinar definitivamente el valor real de esta técnica. También se desarrolló una combinación de tres sistemas HPLC-ionización de presión atmosférica (API)-MS para el análisis de 21 nitratos aromáticos, nitraminas y esteres nítricos, algunos de los cuales pueden hallarse en las municiones de armas de fuego. Los límites de las detecciones para la mayoría de los compuestos se determinaron entre 0,012 y 1,2 ng. El método también demostró ser mejor que la HPLC-ionización termo-spray-MC desarrollada antes, lo que permite una evaluación y selección 10 veces mejor. El método HPLC-API-MS es específico, estable y reproducible. También se ha comparado la HPLC y la cromatografía capilar electrocinética micelar (MEKC) por su utilidad para analizar los residuos orgánicos de disparos. Los estudios demostraron que ambas cromatografías en fase inversa con detectores UV (ultravioleta) podrían resolver mezclas estándar de componentes orgánicos en pólvoras sin humo. Un análisis estadístico mediante la prueba de correlación de rangos demostró que los patrones de los dos sistemas están altamente correlacionados. La MEKC con detector UV de yodos demostró ser particularmente interesante como técnica de análisis por su capacidad para detectar una gran cantidad de analitos, su conveniencia para la detección de yodos en red y su bajo costo de operación.³⁸

3).- ELECTROFORESIS CAPILAR.

La electroforesis capilar es una técnica de separación utilizada en distintas áreas (química, bioquímica, etc.) para separar las diferentes moléculas presentes en una disolución de acuerdo a la relación masa/carga de las mismas. La separación se lleva a cabo en un tubo hueco de diámetro muy pequeño, de ahí que reciba el nombre de capilar.

³⁸ Cfr. Dalvy, Oliver, et. al., ob.cit., p.932.

Dentro de este capilar se encuentran la disolución que contiene los analitos o las moléculas a separar y el tampón o medio electrolítico que es el encargado de conducir la corriente. Como se ha dicho la separación se lleva a cabo según la relación masa/carga de las distintas moléculas. Para que esto sea posible es necesario aplicar una diferencia de potencial entre los dos extremos del capilar que hará que las moléculas se muevan hacia un extremo u otro del capilar (movilidad electroforética, las moléculas catiónicas hacia el polo negativo y las aniónicas hacia el polo positivo) y que se vayan separando entre sí. Además existe dentro del capilar otro fenómeno denominado flujo electroosmótico que se da debido a que la superficie interna del capilar está cargada. El flujo electroosmótico es el mismo dentro de todo el capilar y afecta de igual forma a todas las moléculas arrastrándolas hacia uno de los extremos. Así, la separación se verá afectada por el flujo electroosmótico y por la movilidad electroforética de cada una de las moléculas.

La eficacia y la velocidad de la separación se pueden mejorar mediante la optimización de diferentes factores como son la temperatura, el voltaje aplicado, el medio de separación, el disolvente en el que se encuentra disuelta la muestra, etc. Generalmente se obtienen tiempos de análisis bastante bajos si se compara con otras técnicas separativas como la cromatografía de gases o la de líquidos. Además el consumo de muestra y reactivos es muchísimo menor por lo que se la puede considerar una técnica más limpia. Es muy versátil ya que se puede emplear para separar cualquier tipo de compuesto eligiendo bien el detector.³⁹

Se puede acoplar a un detector UV, de fluorescencia, un espectrómetro de masas, etc.

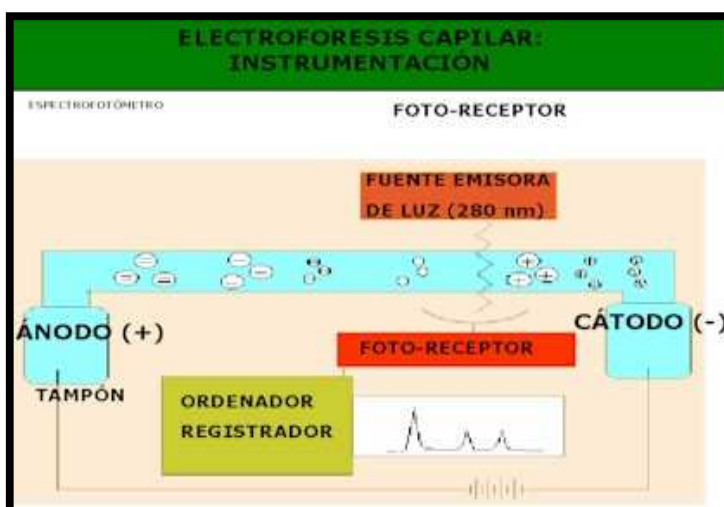


Figura N° 53: Esquema de un equipamiento de electroforesis capilar.

³⁹ Cfr. Wikipedia, La enciclopedia libre, electroforesis capilar, en: http://es.wikipedia.org/wiki/Electroforesis_capilar

La electroforesis capilar es una técnica de análisis importante que puede separar mezclas complejas de una manera rápida y con alta resolución. Aunque los compuestos eléctricamente neutros como los que se encuentran en los residuos de tipo orgánico de disparos de armas no pueden separarse por CE convencional, la electroforesis capilar electrocinética micelar (MECE) permite la separación de dichas sustancias.

Se utilizó la electroforesis capilar para el análisis de NG, DPA, y N-NDPA y EC en siete pólvoras de recarga (una de base simple y seis de base doble). Se analizaron tanto las muestras en general como las partículas por separado. En algunos casos, la diversidad composicional entre partículas fue significativa debido a la mezcla posible en la versión acabada de la pólvora, las partículas individualmente pueden no ser prueba suficiente para representar a toda la muestra. La proporción propelente-cantidad total de estabilizante (p/s) fue la mejor manera de relacionar los residuos con las pólvoras. En cinco de las seis pólvoras de base doble analizadas, una p/s de diez partículas coincidió con la p/s de la muestra. Cuarenta y nueve partículas (de 60 analizadas) arrojaron resultados confiables en comparación con las muestras en general. También se descubrió que la combinación de información cualitativa y cuantitativa con detalles de tamaño, forma y color de la partícula fue de utilidad para relacionar los residuos orgánicos de disparos o pólvoras desconocidas con muestras conocidas.

También se utilizaron la proporción propelente-estabilizador para asociar residuos orgánicos de armas disparadas con pólvoras no disparadas. De siete pólvoras analizadas, cuatro pudieron ser fácilmente identificadas. Igualmente, cuando se realizaron exámenes oculares de la morfología de las partículas, en combinación con los resultados de la proporción p/s, las siete pólvoras pudieron ser confiablemente diferenciadas. Sin embargo para poder considerar estas observaciones como aceptables, debe examinarse mucho mayor número de municiones.

Se evaluó el uso de MECE en trabajos de caso. El SEM y la MECE se utilizaron juntos para brindar información de sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en las muestras de pólvora y residuos. Las muestras se extrajeron en colectores adhesivos y se analizaron con SEM antes de ser extraídas con metanol para el análisis con la MECE. Los límites de detección para 13 compuestos de pólvora orgánicos característicos (2,3-DNT, 2,4-DNT, 2,6-DNT, 3,4-DNT, 2-NDPA, 4-NDPA, dibutil ftalato, dietil ftalato, DPA, EC, MC, NG, N-NDPA) oscilaron entre 0,9-3,8 pg. para soluciones estándar. Se analizaron cien pólvoras comerciales para crear una biblioteca de referencia. Se llegó a la conclusión de que la detección de compuestos de pólvora orgánicos característicos es un fuerte indicador de

residuos orgánicos de disparos de armas de fuego, con poca probabilidad o ninguna de provenir de la exposición ambiental.

La MECE encontró residuos detectables en todos los tipos de municiones examinados, excepto los de calibre .22. También se encontraron diferencias en los niveles de residuos orgánicos entre disparos efectuados bajo las mismas condiciones, llegando a la conclusión de que los mecanismos de deposición y recolección afectan significativamente los resultados de los análisis de residuos orgánicos. En trabajos de caso se identificaron compuestos orgánicos e inorgánicos en muestras extraídas de manos de supuestos tiradores y la ropa de la víctima.

Se ha demostrado el valor de la CE para la detección de iones nitrato y nitrito en los residuos de disparos. El método utilizado resultó ser más simple, económico y más rápido que los métodos tradicionales de análisis de residuos de disparos basados en la AAS, AES, ICP-MS o SEM. También se analizó con éxito la presencia de nitrito y nitrato en muestras de cabello y piel de una víctima con un disparo en la cabeza. Este estudio preliminar demostró que la CE ofrece una probabilidad segura para la investigación de residuos de disparos como una técnica de análisis alternativa previa a otros métodos de análisis más caros y más lentos. También se descubrió que la CE puede ser de utilidad para detectar residuos producidos por municiones libre de plomo, cuando los resultados analíticos producidos por el SEM pueden ser insuficientes.

Se ha desarrollado un método para la detección simultánea de sustancias orgánicas e inorgánicas de residuos de disparos, mediante el análisis de 11 compuestos inorgánicos. Este método obtuvo límites de detección insuficientes en algunos compuestos como Ba y Sb. Sin embargo un método pre-concentración permitió detectar residuos orgánicos de disparos. Se llegó a la conclusión de que la mejor opción para residuos orgánicos e inorgánicos es por vías diferentes o, como alternativa, mediante el análisis de compuestos inorgánicos con CE y de compuestos orgánicos con otra técnica como la GC.⁴⁰

4).- OTRAS TECNICAS APLICADAS AL ANALISIS DE LOS RESIDUOS DE DISPAROS

Se ha utilizado un método combinado de MS/SM para el análisis cuantitativo de la DPA y sus derivados de nitratos de pólvora sin humo.- Los límites de detección fueron de 1,0; 0,5; y 2,5 ng/mL respectivamente. El método fue altamente selectivo y sensible.

⁴⁰ Cfr. Dalvy, Oliver, et. al., ob.cit., p. 933.

También se utilizó un método de fluorescencia para detectar EC en los restos de deflagraciones. El límite de detección para EC en isótopos modificados y soluciones estándar fue de 5ng y 1ng respectivamente. Tres de las seis pruebas de disparos contenían EC. Una de las muestras de los hisopos fue obtenida luego de 180 minutos después del disparo del arma.

La espectrometría de masas de iones secundarios por tiempo de vuelo (TOF-SIMS) también ha sido utilizada para análisis de residuos orgánicos e inorgánicos. La técnica ofrece una cantidad de ventajas sobre el SEM-EDX incluyendo límites de detección más bajos, eliminación de solapamientos de los indicadores, capacidad para analizar compuestos orgánicos e inorgánicos, selección de formas cerca de la superficie, que permite que la distribución de los elementos sea monitoreada como consecuencia de la asignación de compuestos, elementos y profundidad de la muestra bruta. Sin embargo debido a la falta de alta resolución de las imágenes, como las que ofrece la detección de electrones retro-dispersados SEM, todavía debe tenerse en cuenta el método SEM-EDX para la detección y el cálculo de posibles partículas producidas por los residuos de disparos.

Se ha aplicado la TOF-SIMS para analizar sustancias orgánicas (como EC, dibutil ftalato, y NC) e inorgánicas (como nitrato de potasio, perclorato de potasio y azufre), la pólvora sin humo y la pólvora negra (y substitutos de la pólvora negra). Sin embargo debido al vacío dentro del instrumento, esta técnica ha sido considerada inapropiada para compuestos más volátiles como la NG.

La micro fluorescencia de rayos X es un método que puede aplicarse al análisis de los residuos de disparos inorgánicos. Sin embargo a pesar de varias ventajas sobre el SEM-EDX (como la amplitud del área de barrido y la visualización directa de los materiales ej. telas), la incapacidad para analizar partículas menores a los 10 μm hicieron de que se llegara a la conclusión de que la micro fluorescencia de rayos X no puede remplazar al SEM-EDX para el análisis de residuos inorgánicos. También se sugirió que aunque la micro fluorescencia de rayos X no puede reemplazar a las otras técnicas comúnmente utilizadas, esta si ofrece un buen suplemento especialmente en el caso de residuos de fulminantes no tóxicos.

Se han utilizado sistemas de haces de iones focalizados para la investigación de residuos de disparos. La microscopía iónica de barrido permitió atravesar partículas, revelando su morfología interna. Esto puede utilizarse para identificar la fabricación de municiones. Algunas partículas resultaron ser sólidas por dentro y el corte transversal no

fue de utilidad. Pero cuando sí se encontraron detalles morfológicos, se pudieron identificar características morfológicas de diversas municiones que permitió diferenciarlas. Sin embargo, el estudio sólo se realizó en cuatro tipos de municiones; si bien cada munición mostró morfologías internas únicas, es necesario realizar un estudio de muchos otros tipos de municiones para confirmar el valor real de este tipo de análisis.

También en otro método resaltó el valor de las observaciones macroscópicas de las características morfológicas de las pólvoras, mediante la investigación de 181 cartuchos de diferente calibre. El color y la forma de los granos de pólvora demostraron ser un medio eficaz para relacionar pólvoras de cartuchos parcialmente quemadas con muestras no quemadas. Sólo en estas observaciones pudieron determinarse una cantidad de coincidencias posibles entre municiones y muestras de residuos. La munición de origen estaba siempre entre aquellas seleccionadas como posibles para una determinada muestra. Sin embargo, se necesitaba una cantidad de partículas para el análisis preciso de color y forma. En situaciones reales, existen factores como el tipo de arma, la distribución espacial de los residuos de disparo y los problemas de contaminación que provienen de cartuchos disparados anteriormente, que se consideran obstáculos para estas observaciones.⁴¹

⁴¹ Cfr. Dalvy, Oliver, et.al., ob.cit., p. 933-934.

CAPITULO V
ASPECTOS LEGALES

“In dubio pro reo”
Locución latina (en caso de duda a favor del reo)

Las técnicas relacionadas a la detección y estudios de los restos de deflagraciones producto de disparos de armas de fuego presentan diferente grado de complejidad, y la interpretación de sus resultados es motivo de un variado número de opiniones y puntos de vista por parte de los organismos de justicia encargados de valorar las mismas.

Desde el punto de vista legal podemos distinguir dos tipo de problemáticas, una de forma y otra de fondo, en la primera podemos incluir el hecho de que las muestras hayan sido obtenida con todas las garantías de ley, y hayan llegado al laboratorio para su análisis, debidamente acompañada de la cadena de custodia. Para dar cumplimiento a las Garantías de Ley, es importante la confección de una correcta acta de levantamiento de la muestra, dónde conste la hora, lugar, circunstancias del hecho, testigos del levantamiento, sitio exacto del cuál fue levantada la muestra, metodología utilizada, técnico que efectuó el levantamiento etc. Con relación a la cadena de custodia esta circunstancia le brinda a la prueba la certeza de que la muestra no fue alterada y llegó correctamente al laboratorio para su análisis.

En cuanto a las cuestiones de fondo podemos indicar el hecho de si fue utilizada la técnica apropiada para el levantamiento de la muestra y la interpretación del resultado de los análisis en el laboratorio, así por ejemplo en el primero de los casos y según se pudo ver, para cada tipo de examen existe una manera diferente de obtener la muestra, por ejemplo para los casos de análisis mediante el SEM/EDX, es conveniente utilizar el kit específico y apropiado para este tipo de equipamiento o en su defecto la cinta adhesiva, y por el contrario para el método de análisis que utiliza la espectroscopia de absorción atómica son utilizados los hisopos embebidos en ácido nítrico al 5 %. En cuanto a la interpretación de los resultados se debe tener en cuenta, por ejemplo en el caso de la técnica de espectroscopia de absorción atómica la cantidad de metales pesados hallados (plomo bario y antimonio) y en el caso de SEM/EDX la calidad y cantidad de partículas halladas y si fue encontrada una partícula clasificada como “única” de residuos de disparos.

En todos los casos sin embargo el resultado obtenido debe ser tomado con cierto cuidado debido a que un resultado negativo no es indicativo categórico de que la persona sospechosa no utilizó un arma de fuego, y un resultado positivo tampoco es categórico, debido a que en estos casos es necesario tener en cuenta un sin número de variables debiéndose valorar todas las circunstancias que rodean al caso, en efecto, y como se dijera en los capítulos anteriores el tiempo transcurrido entre la concreción del hecho y la toma de la muestra juega un papel importante a la hora de la interpretación, esto se debe a la naturaleza física de las partículas, las cuales pueden perderse con facilidad, por ejemplo en manos, frotación, manos en los bolsillos, lavado, etc., siendo sin embargo su deposición más difícil de perderse en ropas y soportes de índole similar, pudiendo en este sentido haber efectuado los disparos la persona objeto de estudio, aunque sin embargo las partículas pudieron haberse perdido y resultar la prueba en consecuencia negativa.

También un resultado positivo puede ser causado por una contaminación del medio ambiente, o por la cercanía del agente a un arma de fuego al momento de haber sido disparada esta, aclarándose que las partículas se esparcen con relativa facilidad en el medio ambiente. Estas y otras circunstancias también deben ser valoradas por el perito a la hora de efectuar una reconstrucción del hecho criminal, tratando de coleccionar la mayor cantidad de información posible y de esta manera no remitirse solamente al resultado final y conclusión del informe, influyendo esta interpretación a la postre en la opinión de los órganos encargados de administrar justicia.

Respecto a las técnicas descriptas en este trabajo, en el presente capítulo nos remitiremos solamente a las actualmente más utilizadas en nuestro medio, como lo son la microscopía de barrido electrónico (SEM/EDX) utilizada en la Policía de la Provincia de Buenos Aires, Laboratorio Criminalístico de Gendarmería Nacional Argentina y la espectroscopía de absorción atómica (Asesoría Pericial Poder Judicial de la Provincia de Buenos Aires), destacándose sin embargo que las pruebas de la difenilamina (guantelete de parafina) la cual fue considerada a nivel científico internacional como no fiable, por la gran cantidad de falsos positivos que genera, aún hoy en algunas provincias de la Argentina sigue siendo utilizada y las restantes técnicas del Rodizonato de Sodio y Pieter Griess resultan sólo orientativas.

- **Validez de la Prueba de Espectroscopia de Absorción Atómica.**

En cuanto a la espectroscopia de absorción atómica, esta prueba está basada en el hallazgo de determinadas concentraciones de los elementos de plomo, bario y antimonio, elementos estos que, como se explicara, en diferentes compuestos se encuentran presentes en el fulminante y al momento del disparo se esparcen sobre la mano y los sectores próximos al tirador. Con relación a los diferentes niveles de concentración de estos metales, esta circunstancia también depende del tipo de arma utilizada, así si se trata de un arma de un calibre importante la cantidad de estos compuestos debería ser mayor, acotándose además que de acuerdo al tipo y clase de arma de fuego la deposición de los restos es diferente, teniendo en cuenta por ejemplo el estado del arma, si se trata de un arma larga o corta, etc. También si se halla una concentración excesiva se podría deducir que pudo haber existido una contaminación externa, esto no deja de ser una desventaja para esta técnica que sólo puede valorar la cantidad de compuestos hallados de manera cuantitativa, a diferencia de la microscopía de barrido electrónico que la valora también morfológicamente los compuestos hallados.

Un factor favorable de esta técnica analítica radica en que es posible valorar la concentración de residuos hallados y de esta manera ayudar a brindar una hipótesis de la mecánica de los hechos, así si es hallada una mayor concentración en la palma de las manos que en el dorso de las mismas, es posible deducir por ejemplo un gesto de defensa por parte de la víctima o por el contrario que esta persona estuvo en contacto con el arma, aunque pudo no haber disparo la misma. Así y en este sentido la técnica promueve la utilización de cinco hisopos de algodón, cuyo mango tendría que ser de plástico y no de madera, para así evitar interferencias, dos hisopos de algodón se utilizaran para cada mano, uno para la palma y otro para el dorso y el quinto hisopo se utilizará como control.

De acuerdo a lo recabado por el reconocido autor Vicent Di Maio en su libro "Heridas por Arma de Fuego" Ed. La Rocca, año 1999, se considera como positiva la prueba de análisis de residuos de disparo cuando los niveles de metales detectados se hallan por encima de los 35 ng (nanogramos) para el Antimonio, 150 ng para el Bario y 800 ng para el Plomo. El mismo autor también plantea, y teniendo en cuenta el sector de la mano dónde es hallada una mayor concentración de estos metales característicos, diferentes hipótesis, las cuales se publicaran en la misma bibliografía, las que procederemos a transcribir en las siguientes tablas:⁴²

⁴² Cfr. Di Maio, Vincent, ob.cit., p. 431 - 435.

- 1) Este caso se practicó sobre el cadáver de una persona, la cuál falleciera por causas naturales a la que se le efectuó un “lavado de manos”, arrojando la prueba resultados negativos respecto a la cantidad de residuos hallada, siendo los porcentajes hallados inferiores al umbral mínimo.

Área de la mano	Antimonio (ng)	Bario (ng)	Plomo (ng)
Dorso Mano Derecha	2,0	86	8
Dorso Mano Izquierda	1,2	4	25
Palma derecha	0,4	0	16
Palma izquierda	1,6	33	50

*- Fuente: Di Maio Vicent, ob.cit., p.432.

- 2) En este caso se observa un elevado porcentaje de Bario, el cual se puede corresponder a interferencias externa producto del medio ambiente (contenido de bario en tierra), aunque se puede considerar la prueba como negativa para residuos de disparos debido a que los restantes compuestos se encuentran dentro de los parámetros indicados.

Área de la mano	Antimonio (ng)	Bario (ng)	Plomo (ng)
Dorso Mano Derecha	2,4	390	58
Dorso Mano Izquierda	0,8	1387	159
Palma derecha	0	826	168
Palma izquierda	0	1409	478

*- Fuente: Ídem.

- 3) En la siguiente tabla son analizadas muestras obtenidas de la mano de un suicida, el cual se efectuara un disparo con su mano derecha utilizando un revolver calibre .38, apreciándose mayores porcentajes de residuos de metales sobre el dorso de dicha mano.

Área de la mano	Antimonio (ng)	Bario (ng)	Plomo (ng)
Dorso Mano Derecha	78	212	1537
Dorso Mano Izquierda	12	75	345
Palma derecha	5	90	210

Palma izquierda	21	79	320
-----------------	----	----	-----

=====

*- Fuente: Di Maio Vicent, ob.cit., p.433.

- 4) Esta prueba fue considerada como positiva, hallándose restos considerables de residuos de disparos sobre el dorso y palma de la mano izquierda del occiso quién se disparara un proyectil de arma de fuego calibre .38 Especial en la boca, habiendo accionado el arma con su mano derecha, colocando sin embargo su mano izquierda sobre el cañón del arma para facilitar el disparo.

Área de la mano	Antimonio (ng)	Bario (ng)	Plomo (ng)
Dorso Mano Derecha	81	232	975
Dorso Mano Izquierda	250	635	67,29
Palma derecha	5	21	190
Palma izquierda	193	804	45,36

=====

*- Fuente: Ídem.

- 5) En este caso una persona en actitud suicida se efectuó un disparo con escopeta calibre .410, utilizando la mano izquierda para sostener la boca de fuego del arma, detectándose residuos sobre dorso y palma de dicha mano.

Área de la mano	Antimonio (ng)	Bario (ng)	Plomo (ng)
Dorso Mano Derecha	1,6	202	210
Dorso Mano Izquierda	98,8	233	3738
Palma derecha	6,8	112	840
Palma izquierda	12,0	152	344

=====

*- Fuente: Ídem.

- 6) En la siguiente tabla se muestra el resultado de los análisis efectuados sobre las manos de una persona que intentó repeler a un atacante con un arma de fuego, pudiéndose apreciar resultados positivos sobre la palma de la mano derecha.

Área de la mano	Antimonio (ng)	Bario (ng)	Plomo (ng)
Dorso Mano Derecha	10,4	102	344
Dorso Mano Izquierda	22,8	92	705

Palma derecha	54,8	301	1999
Palma izquierda	12,4	58	722

=====

*- Fuente: Di Maio Vicent, ob.cit., p.434.

- 7) En este caso fueron halladas cantidades significativas de residuos de disparos sobre las palmas de las manos, por lo que se interpretaría una señal de defensa con las manos extendidas de quién efectuara el disparo.

Área de la mano	Antimonio (ng)	Bario (ng)	Plomo (ng)
Dorso Mano Derecha	81,2	30	3,166
Dorso Mano Izquierda	18,2	5	1,646
Palma derecha	262,8	416	9,273
Palma izquierda	148	342	2,931

=====

*- Fuente: Ídem.

Otro de los puntos discutidos de esta técnica es la extracción incompleta del antimonio, por parte de los hisopos.

Estudios efectuados han demostrado que sólo es posible extraer entre un 60 % a un 70% de antimonio, en comparación con la extracción casi completa de Bario y Plomo.- También algunos especialistas han criticado la técnica basándose en la gran cantidad de falsos negativos que esta arroja, alrededor de un 40 %.

- **Validez de la Prueba de Microscopía de Barrido Electrónico.**

Mediante esta prueba es posible no sólo identificar químicamente los residuos de disparo sino que también permite observar y clasificar morfológicamente a las partículas halladas, siendo posible de esta forma establecer mas certeramente si los compuestos hallados se tratan de residuos de disparos o por el contrario se tratan de otro tipo de partículas producto de la contaminación externa. También se ha comprobado que mediante esta técnica es posible detectar residuos de disparos sobre la mano de tiradores a pesar de haber pasado un lapso de tiempo más prolongado que con las otras técnicas, como por ejemplo la espectroscopia de absorción atómica.

Sin embargo la mayor desventaja de la técnica reside en que no es posible cuantificar la cantidad de residuos de disparos por área determinada y de esta manera no es posible determinar variabilidad en las concentraciones de residuos hallados y así establecer de manera consistente por ejemplo, en el caso de residuos en manos, si se trató de un gesto de defensa o que en definitiva la persona accionó un arma de fuego.

Esta técnica recomienda para el levantamiento de residuos de disparos el uso del kit específico de SEM/EDX, aunque también es posible el levantamiento de residuos mediante el uso de cinta adhesiva ancha. La mayor ventaja que genera el uso del Kit es que los discos que conforman al mismo, poseen en el sector que debe ponerse en contacto con la piel u otra superficie, donde presuntamente se hallan los residuos de disparos; una fina capa de carbono, la cual no genera interferencias al equipamiento, acotándose también que el kit se conforma de cinco unidades, una para cada área de cada mano (dorso y palma) el último para control, mientras que con la cinta no es posible esta individualización. Por otro lado también el sistema, mediante el uso del kit, reduce significativamente el área de búsqueda, lo que demanda menos tiempo la detección de los residuos, acotándose que la cinta, al abarcar mayor superficie, demanda mayor cantidad de tiempo su análisis completo, aclarándose que mediante el uso de este equipamiento un resultado negativo, acarrea una observación más pormenorizada y de la totalidad de la muestra. Actualmente un software del equipo permite el escaneo de la muestra, detectando las partículas las que posteriormente son observadas y clasificadas con la sonda de rayos X (EDX), permitiendo la detección automática reducir considerablemente el tiempo de trabajo en la detección de los restos.

Como se viera en el capítulo III punto 6 pagina N° 68, las partículas producto de disparos de armas de fuego de acuerdo a su morfología pueden clasificarse como esferoides regulares, irregulares y atípicas, aunque a los fines periciales este universo de partículas de residuos de disparo exige una segunda clasificación, siendo consideradas como partículas “únicas” las compuestas por los tres elementos, es decir, plomo, bario y antimonio y “características” a las compuestas por alguno de estos tres elementos o por dos de los mismos unidos, es decir por Pb, Pb y Ba, Sb y Pb, etc.

Estas clasificaciones exigen por parte de quién las efectuó una amplia experiencia sobre el tema, debido a que es necesario analizar partícula por partícula y clasificarlas debidamente. Durante los juicios, es posible que quién haya efectuado la detección y clasificación pueda ser llamado al estrado a los efectos de exponer su labor desarrollada, es por esta razón quién realice la tarea por su condición debe ser considerado un

especialista en el tema.- Las preguntas que un abogado puede hacer al “experto”, pueden ser sobre su capacitación, antecedentes y su lugar como especialista en el área Criminalística, pudiendo continuar sobre el tipo de tarea desarrollada, como funciona el equipamiento y si es posible que las partículas halladas puedan provenir de otra fuente que no sea la de residuos de disparos, es por esta razón que el perito llamado a dar testimonio de su labor debe mostrarse convincente al tribunal y contestar las preguntas formuladas de manera segura, concisa y profesionalmente. Una circunstancia importante son las conclusiones del examen realizado por parte del perito, las que teniendo en cuenta la clasificación de partículas y de acuerdo a algunas bibliografías consultadas pueden expresarse de la siguiente manera:

1.las partículas confirmadas como “únicas” de residuos de disparos podrían ser el resultado de la descarga de un arma de fuego, que la persona haya estado en las proximidades de un arma de fuego cuando esta fue descargada o haya manipulado el arma de fuego contaminada con residuos de disparos o componentes de la misma y municiones (esta conclusión se utiliza cuando las partículas halladas en la muestra se clasifican como únicas, es decir compuestas por Pb, Ba y Sb).
2.las partículas confirmadas como “características” de residuos de disparos podrían ser el resultado de la descarga de un arma de fuego, que la persona haya estado en las proximidades de un arma de fuego cuando esta fue descargada o haya manipulado el arma de fuego contaminada con residuos de disparos o componentes de las mismas o sus municiones o provenir de alguna otra fuente (esta conclusión se utiliza cuando las partículas detectadas se clasifican como “características” de residuos de disparo y se hallan compuestas por Pb y Sb, Pb y Ba, Ba y Sb, Ba, Sb, Ca y Si, Ca/Si/Ba/S, etc.).

Y/O

3.no fue detectada ninguna partícula clasificada como única o característica de residuo de disparo en las muestras examinadas.- En consecuencia los resultados de este examen se denominan concluyentes (esta conclusión se utiliza cuando no hay partículas de disparo único ni características).⁴³

⁴³ Cfr. Schwoeble, A.J., Exline, D.L., ob.cit., p.136.

Esta última hipótesis sin embargo no significa que una persona pueda haber o no disparado un arma de fuego, acotándose que la no presencia de restos pudo haber sido el resultado de que las partículas pudieron haberse perdido por el paso del tiempo, lavado de manos, las manos también pudieron haber sido cubiertas con guantes, y otras tantas circunstancias, resultando en este sentido la actividad del sujeto a examen desconocida.

Breve exposición de casos judiciales relacionados con el tema.

A continuación y a los efectos de interpretar la valoración que efectúan los diferentes órganos de justicia de nuestro país de las técnicas de detección de residuos producidas por disparos de armas de fuego, se procederá al analizar algunas sentencias judiciales que tratan el tema, realizándose un breve comentario de las mismas:

1) “Causa N° 2666 “LUQUE, ERNESTO DANIEL y ACUÑA DE BORA GISELLE S/ HOMICIDIO CRIMINIS CAUSAE”.⁴⁴

Este fallo se efectuó con fecha 10 de Junio del año 2009 por el Tribunal en lo Criminal Nro 5 del Departamento Judicial de San Isidro y en el mismo fue juzgada la eventual culpabilidad en un hecho de HOMICIDIO por parte de ERNESTO DANIEL LUQUE y de DEBORA GISELLE ACUÑA, a quienes se los acusaba de haber irrumpido, utilizando un arma de fuego el día fecha 17 de Febrero del año 2009 alrededor de las 10,00 hs en el interior de un local de venta ropa denominado “Kevingston” ubicado en calle Chacabuco 361 de la localidad de San Isidro, reduciendo a las empleadas con intenciones de sustraer el dinero de la recaudación del comercio y prendas de vestir, siendo sin embargo esta actividad detectada por el Teniente 1ero ALDO ROBERTO GARRIDO, quién uniformado cumplía funciones de seguridad en la zona, el que al sospechar la concreción de un hecho delictivo en el local ingresa al mismo, siendo sin embargo en principio confundido por DEBORA ACUÑA, quién se identificara como dependiente del local y posteriormente sorprendido por su cómplice ERNESTO DANIEL LUQUE, quién en forma sorpresiva sale de la trastienda dónde se ocultaba y golpea al efectivo policial en la cabeza hasta reducirlo efectuándole varios disparos con el arma de fuego que este portaba, un revólver calibre .32 marca Pasper (impactándole dos de los mismos) y posteriormente con el arma de fuego reglamentaria del efectivo una pistola calibre 9 mm, la cuál le fuera extraída siendo también impactado por dos disparos efectuados por esta arma, ocasionándole a

⁴⁴ Tribunal Criminal N°5 Dpto. Judicial San Isidro, Poder Judicial Pcia. de Bs.As.; en: http://federacionlex.blogspot.com/2009_06_18_archive.html

GARRIDO, como consecuencia de las lesiones recibidas por los disparos la muerte de forma casi inmediata.

El hecho que, por lo aberrante del mismo, la condición de la víctima y el ejemplar concepto de la misma, causó gran indignación entre los vecinos y comerciantes de la zona y tomó estado público en diversos medios de prensa nacionales, motivando diversas marchas y testimonios de repudio.

Sus autores y luego de diversas tareas investigativas fueron detenidos con fecha 18 de Febrero de 2009 a las 01,15 hs en su domicilio de calle Benito Pérez Galdós Nro 8794 de la localidad de Pablo Podestá partido de Tres de Febrero y se secuestró en poder de los mismos la pistola reglamentaria del efectivo policial, un revólver marca Pasper cal .32 largo y ropas de vestir sustraídas en el comercio.

Durante la audiencia fue ofrecida la prueba recolectada en la etapa investigativa, al igual que diversas pericias entre las que se destaca la pericia de “Microscopía de Barrido Electrónico” efectuada por la Dirección de Policía Científica de la Policía de la Provincia de Buenos Aires para con los residuos de disparo recogidos, no sólo de las manos del occiso, sino que también de las prendas de los sospechosos. En la oportunidad el perito en principio no sólo fue interrogado sobre su cargo e idoneidad sino que también se le pidió una breve reseña de la técnica, pudiéndose rescatar del mismo el siguiente testimonio “**...respecto de la técnica de microscopia de barrido electrónico (MEB), la misma consiste en tomar muestras de las manos de un tirador o de una prenda.- Se lo analiza con el microscopio de barrido electrónico y se analiza las moléculas de plomo, bario y antimonio.- Cuando hay una molécula, se dice que hay accionamiento del arma de fuego.- Es categórica al respecto, siendo la técnica más moderna que existe, siendo empleada desde hace dos meses en la Repartición en la que se desempeña y también la utiliza Gendarmería Nacional. En la autopsia se tomaron muestras de las manos al damnificado GARRIDO y catorce horas después se hizo sobre los aprehendidos.- Los resultados fueron que para GARRIDO se encontraron los tres elementos como elemento y no como molécula: por ende estuvo en contacto con el arma de fuego o con la herida, más no disparó arma de fuego alguna.- En el caso del detenido del sexo masculino, se encontró plomo y bario en sus manos y en la de la fémina bario.- El plomo es de fácil contaminación, no así el bario, que es indicador del fulminante utilizado en la cartuchería de las armas de fuego...**”⁴⁵

⁴⁵ Tribunal en lo Criminal N° 5 Dpto. Judicial San Isidro, Poder Judicial Pcia. de Bs.As.; en: pag. web. cit.

Los resultados de la técnica fueron tomados como validos por el tribunal, acotando que estos resultados fueron enriquecidos por otras pruebas, testimonios, autopsia, etc., ayudando a la reconstrucción del hecho. En este caso la prueba de microscopia de barrido electrónico ayudó a la reconstrucción del hecho, debido a que se comprobó que la víctima se defendió de su atacante, habiendo existido un forcejeo previo, cuando fue atacada por el causante masculino, resultando esta circunstancia indicativa de los restos hallados en sus manos (Pb, Ba y Sb) como elementos y no como moléculas, lo que indica que GARRIDO no efectuó disparo alguno, aunque sí intentó al parecer sacarle el arma a su atacante, siendo esta hipótesis también abonado por testigos de los hechos.

Respecto a los resultados de la prueba en las manos de los imputados, en el masculino se detectó bario y plomo y en la femenina bario, aclarándose que esta circunstancia pudo deberse a que los imputados manipularon armas de fuego, tanto el revólver como la pistola sustraída a GARRIDO, pudiendo esta hipótesis ser corroborada con los testimonios y confesión de los mismos autores quienes indicaran que no sólo el masculino efectuó disparos con el revólver que portaba, sino que también la femenina usando el arma del mismo GARRIDO también efectuó disparos sobre este. En este caso también se puede expresar que el no hallazgo de una molécula característica de disparo en las muestras extraídas a los imputados puede deberse al prolongado lapso de tiempo transcurrido entre la concreción del hecho y la toma de la muestra (unas 14 horas después, según pudo leerse).

En conclusión la prueba fue considerada como un elemento importante durante el debate, debido a que brindó información a la reconstrucción del hecho criminal, debido a que durante el juicio se cuestionó cual de los dos autores (la femenina o la masculina), había sido quién accionara el arma de fuego contra la humanidad de GARRIDO. Cabe señalar que en esta oportunidad el tribunal condenó a los responsables del hecho a la pena de PRISION PREPETUA.

2) “Causa 4532-0238, caratulada “TORTORA, Agustín y CARRIZO Diego Felipe S/ HOMICIDIO DOBLEMENTE AGRAVADO POR LA CALIDAD DE FUNCIONARIO POLICIAL Y POR EL USO DE ARMA DE FUEGO”.⁴⁶

Este fallo se efectuó con fecha 10 de Julio del año 2010 y en el mismo se investigo la participación de tres efectivos policiales identificados como AGUSTIN TORTORA, DIEGO

⁴⁶ Tribunal Criminal N° 1, Dpto. Judicial Necochea, Poder Judicial Pcia. Bs.As., en: <http://www.pensamientopenal.com.ar/01082010/fallos43.pdf>

FELIPE CARRIZO y CRISTIAN BINKIEWICZ en la muerte del joven GUSTAVO MARTIN MOREIRA. De acuerdo a la lectura del fallo, los hechos se sucedieron alrededor de las 01,00 hs del día 10 de Octubre del año 2008 cuando los tres efectivos policiales concurren al domicilio de calle 57 Nro 4871 de la ciudad de Necochea, dónde sus moradores solicitaban la presencia policial, debido a que habían oído ruidos en el techo, presumiendo que se trataría de personas desconocidos, con intenciones de perpetrar un hecho ilícito en su perjuicio. Al llegar los efectivos al lugar y mientras transitaban por calle 57 y antes de llegar a calle 106 ven a una persona del sexo masculino que se da a la fuga corriendo, por lo cual lo siguen en los móviles patrulleros, cabe aclarar que TORTORA y CARRIZO iban juntos en un móvil policial mientras que BINKIEWICZ iba sólo en otro patrullero. Siguen al individuo hasta que la persona ingresa a un baldío existente en calle 106 entre las calles 57 y 55. Los efectivos descienden de los móviles policiales y dan la voz de alto al individuo, quién lejos de acatar las órdenes continúa corriendo, y en ese momento BINKIEWICZ quién iba primero, efectúa un disparo al aire con munición antitumulto, con una escopeta reglamentaria calibre 12/70 que portaba con intenciones de intimidar al individuo para que detenga su marcha y posteriormente los dos efectivos que venían detrás efectúan un disparo de arma de fuego cada uno con sus pistolas reglamentarias. El individuo continúa corriendo unos 20 m. más, aunque al llegar a un paredón detiene su marcha y levanta sus manos, manifestando haber sido herido. Esta persona es identificada como de apellido MOREIRA y es trasladada al Hospital dónde luego de unas horas muere a consecuencia de un disparo de arma de fuego recibida, el cuál le perfora el pulmón, arterias, etc. Pasadas unas horas, de acuerdo a directivas de la Fiscalía interviniente, se dispuso el secuestro de las armas que los efectivos policiales utilizaran en los hechos, como así también una inspección en el terreno, con la finalidad de detectar vainas, accidentes balísticos, rastros u otros elementos de interés probatorio, hallándose en el predio, entre los pastizales, un revolver calibre .38 Largo marca COLT, el cuál presumiblemente era portado por MOREIRA.

En este hecho numerosas pruebas fueron colectadas durante la etapa probatoria, entre las que se destaca la prueba de Espectroscopia de Absorción Atómica efectuada por Asesoría Pericial del Poder Judicial de la Provincia de Buenos Aires, al respecto en el fallo puede leerse: **“...dentro del camión de la escena del crimen, se realiza dermatotest a los tres efectivos involucrados, esto es Carrizo, Tortora y Binkiewicz....”**⁴⁷.-

⁴⁷ Tribunal Criminal N° 1, Dpto. Judicial Necochea ..., en: pag. Web cit.

*También se puede transcribir: "...A Fs. 307 obra pericia química efectuada por el Perito Químico oficial del Departamento Judicial de La Plata, Sergio Alejandro Giorgieri, quién refiere que los estudios realizados para el análisis de restos de deflagración de pólvora arrojaron resultados que se interpretan como negativos, tanto en la mano izquierda como en mano derecha de las muestras identificadas como TORTORA AGUSTIN, BINKIEWICZ CRISTIAN, CARRIZO DIEGO FELIPE Y MOREIRA GUSTAVO MARTIN...."*⁴⁸.

Ahora bien, como podría haber sucedido que las pruebas relacionadas a la búsqueda de restos de deflagraciones pudieron haber resultado negativas, siendo que al menos uno de las personas efectuó un disparo de arma de fuego en contra de la víctima ?.

En el caso de la *víctima*, sabemos que este no efectuó disparo alguno. Con respecto a Binkiewicz, sabemos que este accionó sólo la escopeta calibre 12/70, agregándose a esta altura que en caso de armas largas, los residuos de disparos se depositan en sitios diferentes a los que se depositan cuando se acciona un arma de fuego de puño, por lo que el levantamiento de muestras sobre las manos de Binkiewicz, pudo haber resultado infructuoso, debido a que el aposentamiento de restos de disparos, en caso de las armas largas, pueden depositarse en el pliegue del brazo derecho o izquierdo, en su rostro, cabello, etc. y no precisamente en sus manos de las que se obtuvieron las muestras. Sólo nos queda las personas de TORTORA y CARRIZO, en ambos casos las pruebas resultaron negativas, aunque del peritaje en las armas se estableció que el arma reglamentaria del efectivo policial TORTORA, se hallaba completamente limpia, no así la de CARRIZO, en la cual se observaron algunos depósitos carbonosos indicativos de que dicha arma fue accionada al menos una vez.

De la prueba recogida durante el juicio se estableció que CARRIZO, si bien había efectuado un disparo, este había sido dirigido en dirección al suelo, con la intención de intimidar a la víctima, para que detenga su marcha, habiéndose establecido que sin embargo TORTORA, cuando efectuó el disparo había dirigido su arma apuntando en dirección a la víctima MOREIRA. En este caso llamó poderosamente la atención que la prueba de absorción atómica efectuada para con TORTORA había resultado negativa, tanto para su mano como para el arma en la que efectuara el disparo, aclarándose que fue corroborado que esta última se hallaba correctamente limpia.

⁴⁸ Tribunal Criminal N° 1, Dpto. Judicial Necochea ..., en: pag. Web cit.

Posteriormente y habiendo avanzado en la investigación se estableció que TORTORA, al parecer con la complicidad de otros efectivos policiales de mayor rango, con la finalidad de eludir la acción de la justicia, luego del hecho, y antes de efectuarse la prueba, había concurrido a su domicilio particular, el cual se ubica a pocas cuadras del lugar, dónde al parecer se habría lavado las manos y también limpiado su arma reglamentaria, al respecto el perito balístico de Asesoría Pericial al examinar la pistola de TORTORA opina lo siguiente: **“...En la Browning se puede hacer la limpieza en 5 minutos, teniendo todo preparado, desde la baqueta y líquidos especializados hasta lapicera y trapito y nada más, algo que pase dentro del cañón, no es necesario un líquido.- Hay elementos líquidos, microsolventes para sacar metal que queda dentro del cañón...”**.⁴⁹ también lo siguiente **“...no es normal que lleguen armas limpias, vienen con pelusa, lubricantes, con signos de disparos, con carbón, etc....”**.⁵⁰ También de otros testigos policías se rescata lo siguiente: **“...las armas de los policías estaban en la caja de la camioneta y había un arma que estaba abierta y era la de TORTORA, la corredera por un lado y el cargador por el otro...”**.⁵¹

También durante el juicio se pudo establecer que el arma calibre .38 marca COLT, hallada en los pajonales del terreno y que presuntamente portaba el occiso, fue plantada por el mismo TORTORA, rescatándose en las declaraciones de testigos lo siguiente: **“... Que habiendo transcurrido unos 30 minutos y cuando la ambulancia ya había retirado a la víctima, llega Tortora, quién traía algo envuelto en un pañuelo en sus manos, que cree que era un arma.- Que después de hablar con Cabello, Tortora ingresa a un descampado y arroja lo que tenía adentro del pañuelo.- Que el capitán Cabello les pidió que entregaran sus armas....”**.⁵²

La misma prueba de absorción atómica también fue practicada en las prendas del occiso, arrojando resultados negativos, al respecto en el fallo se lee: **“ ...Exhibida la pericia de Fs 375 del perito Giorgieri confirma que realizó un hisopado para certificar las distancias de disparo, si hay restos de pólvora circundantes al orificio de entrada, el perito químico hisopa la zona y luego hace un trabajo de absorción atómica y ve si se encuentran elementos vinculantes al disparo, con posterioridad al estudio macroscópico. Si hay granos de pólvora circundante al orificio, se habla de distancias próximas, si no y sin que haya telón de interposición es de más de 50**

⁴⁹ Tribunal Criminal N°1, Dpto. Judicial Necochea ..., en: pag. Web cit.

⁵⁰ Ibid.

⁵¹ Ibid.

⁵² Ibid.

centímetros...”⁵³. En otra parte se lee: “...A Fs 375 obra informe pericial químico realizado por Sergio Alejandro Giorgieri, quién concluye en la inexistencia de restos de pólvora en las prendas de la víctima...”⁵⁴.

En conclusión la prueba de espectrometría de absorción atómica efectuada tanto para las manos de los presuntos imputados como para las armas protagonistas en los hechos, a pesar de haber resultado negativa en todos los casos, abonó los restantes elementos probatorios presentados en el juicio, toda vez que en este caso, el resultado negativo, respecto a la persona del imputados TORTORA, resulta veraz en razón de que el mismo había intentado desligarse de la responsabilidad lavándose las manos antes de efectuársele la prueba y además habría limpiado su arma reglamentaria, comprobándose estas circunstancias por el resultado negativo obtenida por la mencionada prueba de detección de restos de disparos efectuada.

En relación a las prendas, el resultado negativo de la prueba, resulta coincidente en que los disparos fueron efectuados, como realmente sucedió desde una distancia superior a los 50 cm.

En estos casos los resultados negativos de esta prueba científica llevaron a los jueces a confirmar y valorar con mayor peso las presunciones que había sobre la persona del imputado, respecto a que, éste en todo momento, y presuntamente con la complicidad de otros efectivos policiales, trató de ocultar las pruebas en su contra y “plantó”, el arma secuestrada en el terreno de quién se dijera era portada por la víctima.

Cabe señalar que por este caso el acusado TORTORA, fue condenado a la pena de PRISION PERPETUA en virtud de haberse comprobado, por parte del mismo la autoría en el hecho de HOMICIDIO CALIFICADO por haberse cometido abusando de su función policial, resultando tanto CARRIZO como BINKIEWICZ absueltos.

3) FALLO N° 8942 –A_ Exp. Principal 16.946/09, caratulado “WIRTZ, Marcos Ariel; AZIN, Julio Jorge; LÓPEZ Miguel Ángel; GONZÁLEZ, Julio Daniel; FORMIGO, Aldo Javier- S/ROBO CON RESULTADO MUERTE COMETIDO CON ARMA DE FUEGO EN DESPOBLADO Y EN BANDA EN CONCURSO IDEAL CON PRIVACIÓN ILEGAL DE LA LIBERTAD Y LESIONES LEVES”.⁵⁵

⁵³ Tribunal Criminal N° 1, Dpto. Judicial Necochea ..., en: pag. Web cit.

⁵⁴ Ibid.

⁵⁵ Excelentísima Cámara en lo Criminal 2° Circ. Crimi nal, Prov. La Pampa, Fallo N° 8942, Expte. Ppal. 16946/09, en: <http://www.pensamientopenal.com.ar/03112010/fallos01.pdf>

Este caso fue llevado a juicio con fecha 15 de Octubre del año 2010, en la “Excelentísima Cámara en lo Criminal de la Segunda Circunscripción Judicial de la Provincia de La Pampa” y en la misma se juzgó la conducta de Marcos Ariel WIRTZ, Julio Jorge AZIN, Miguel Ángel LOPEZ, Julio Daniel GONZALEZ y de Aldo Javier FORMIGO, a quienes se los acusara de haber asaltado y dado muerte con fecha 02 de Marzo de 2009, alrededor de las 21,30 hs al productor agropecuario ARMANDO GIRAUDO apodado “chiquito”, a quién previamente aguardaron ocultos en el interior de su establecimiento rural llamado “San José”, ubicado a unos tres kilómetros de la localidad de Caleufú, Provincia de La Pampa y al arribar este a la hora señalada a bordo de un automóvil marca Chevrolet Astra, fue abordado por FORMIGO, LOPEZ y GONZALEZ, ocupándose los dos primeros de GIRAUDO mientras que GONZALES lo hacía con la esposa de este llamada MARTA ELENA TORRE y de su hija MARIA JOSE GIRAUDO, quienes acompañaban a la víctima en el vehículo del mismo. GONZALEZ, con el rostro cubierto, trasladó a las mujeres –madre e hija- hasta el patio de la vivienda, dónde las maniató con un alambre de cobre a un tubo de gas, produciéndole lesiones en sus muñecas y FORMIGO y LOPEZ con el rostro descubierto, trasladaron a GIRAUDO hasta una oficina de la casa, dónde previo sustraerle unos 3300 pesos en dinero en efectivo, uno de ellos le efectuó un disparo con el arma de fuego que portaban, cuyo proyectil impactó debajo del ojo derecho, ocasionándole la muerte de forma casi instantánea. Luego emprendieron la fuga a bordo de una coupé Renault fuego color roja, cedida por WIRTZ a AZIN quién los aguardaba a las afueras del campo, aportando el primero el conocimiento sobre el lugar y la rutina seguida por la familia, utilizando también para escapar el automóvil marca Chevrolet Astra de la víctima, el cuál dejaron abandonado en cercanías a Ruta N° 4 y Ruta Provincial N° 35, previo dejar en el pueblo a FORMIGO, pasando antes las cosas sustraídas desde el automóvil a la coupé Renault Fuego (una sábana de la cama matrimonial sustraída de la casa, gorros y guantes utilizados en el ataque), continuando la fuga en la coupé Fuego hasta ser demorados por la policía de Winifreda, alrededor de las 23,30 hs del mismo día brindando los causantes datos falsos respecto de su identidad, siendo trasladados GONZALES como LOPEZ en un móvil patrullero Ford Ranger a la dependencia policial, ocultando estos, en el asiento trasero del móvil policial una pistola marca T.A.L.A. calibre .22LR con su cargador y proyectiles, mientras que AZIN, fue trasladado en la coupé fuego acompañado por otro efectivo policial.- Posteriormente se tomó conocimiento del hecho cometido en perjuicio de GIRAUDO, habiendo sido hallados en el interior de la coupé Fuego elementos probatorios que indicaban la participación de

los mismos en el hecho investigado.- Días después fue hallada en el móvil policial la pistola TALA, la cuál involucró directamente a los causantes en el ilícito. También se detuvo a posteriori a FORMIGO en su domicilio particular, a quién se lo sindicara como el presunto autor de la muerte de GIRAUDO.

En el debate se expusieron las pruebas al igual que el resultado de la pericia de microscopia de barrido electrónico practicada para con las muestras extraídas a los nombrados AZIN, GONZALES Y LOPEZ habiendo sido levantadas las muestras unas tres horas después de haberse producido el ilícito, pudiéndose rescatar del fallo la declaración del perito Licenciado en Criminalística Darío Alejandro Martín MORAN interviniente en los hechos, lo siguiente **“....Que el dermatest positivo de tres elementos mencionados en la pericia (bario, antimonio y plomo), no es significativo que una persona haya disparado el arma, si que estuvo en contacto con la misma, ya sea manipulando el arma o en el ambiente en que se hizo el disparo...”**⁵⁶ también lo siguiente **“...no tiene conocimiento sobre el tiempo de deflagración de pólvora, se aconseja tomar la muestra dentro de las dos o tres horas después de ocurrido el hecho, es complicado porque se trabaja a nivel molecular los fulminantes son partículas ...”**⁵⁷. También el perito expuso lo siguiente **“...que la vaina peritada se condice con la pistola T.A.L.A. secuestrada, que fue escondida por GONZALEZ – al que le da positivo la prueba – mientras iban siendo trasladados a la comisaría de Winifreda...”**⁵⁸. También en los alegatos, el fiscal expuso lo siguiente: **“...que el arma era llevada consigo por GONZALEZ en la Fuego al momento de ser demorado y que se desprendió de ella en el trayecto de la ruta a la comisaría que hizo en el legajo doble cabina de la prevención. Tal como lo adelanté al desechar la tacha de la defensa de GONZALEZ, estimo que el arma de fuego de puño calibre 22 marca T.A.L.A. no fue colocado adrede por la policía, desde el más elemental ejercicio de lógica, pues de fraguar una prueba la hubiesen ubicado en la Renault Fuego. Cabe colegir que, al momento del hecho actuaron con los guantes que llevaban en el auto, y por ello no existen “dermatest” positivo en LOPEZ, pero que quitada tal protección, a los fines de esconder tal elemento incriminante GONZÁLEZ –quien iba en el asiento de atrás de la Fuego, al decir del policía Alfredo Raúl López-, con más tiempo de maniobra, la tomó sin tal precaución y la escondió en su**

⁵⁶ Excelentísima Cámara en lo Criminal 2º Circ. Crimin al, Prov. La Pampa...., en:pag. Web cit.

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ Ibid.

cuerpo. De ahí que diera positivo la muestra de su mano derecha de antimonio, bario y plomo (fs.495)...”⁵⁹.

En este caso se puso de manifiesto la validez de la prueba llamada de “dermotest”, por el tribunal, respecto a la Microscopia de Barrido Electrónica, debido a que gracias a la misma se comprobó que GONZALEZ – quién no efectuara el disparo mortal en contra de GIRAUDO -, si bien tenía en sus manos los elementos de plomo, bario y antimonio, estos eran producto de haber manipulado el arma de fuego utilizada en el hecho al momento de su ocultamiento y no de haber disparado el arma, lo que a la postre y a través del juicio se comprobó que el autor del disparo mortal pudo haber sido de parte de LOPEZ o de FORMIGO, quienes eran los que redujeron a GIRAUDO, inclinándose sin embargo la balanza sobre FORMIGO, a quién se lo conocía como de mal temperamento y pendenciero, acotándose que era conocido por GIRAUDO, por haber trabajado con él.

En este caso al parecer la prueba positiva en GONZALEZ fue el hallazgo de los metales de plomo, bario y antimonio, en forma individual y no así como partícula, habiendo interpretado el tribunal y a instancias del perito que el mismo estuvo en contacto con el arma, aunque no accionó la misma en perjuicio de GIRAUDO.

Cabe señalar que los acusados fueron condenados a penas de entre 18 años para (WIRTZ, GONZALEZ Y AZIN) y 22 años de prisión (FORMIGO y LOPEZ).

4) Caso MARILAND VS TYRONE JONES EE.UU.⁶⁰

Es un caso sucedido en el estado de Maryland EEUU, más precisamente en la ciudad de Baltimore, el cuál desató gran controversia, no sólo en ambientes judiciales, sino también científico forenses debido al cuestionamiento de la prueba de microscopia de barrido electrónica en la detección de residuos de disparos y la posibilidad de transferencia secundaria de los residuos lo cuál pone en tela de juicio la validez e interpretación de dicha prueba.

En dicho caso se planteo la participación criminal por parte del nombrado TYRONE JONES, por entonces de 21 años de edad, a quién se lo sospechaba de haber resultado cómplice (conspiración) en la muerte de un joven llamado TYREE WRIGHT.

Este hecho sucedió el día 24 de Junio del año 1998, alrededor de las 22,30 hs cuando el joven TYREE WRIGTH de 15 años de edad, se encontraba en las escalinatas de su

⁵⁹ Excelentísima Cámara en lo Criminal 2º Circ. Crimi nal, Prov. La Pampa, ...; en: pag web cit.

⁶⁰ Hanes Stephanie, “Evidence under suspicion”, Baltimore Suns, 23/01/05, en: <http://truthinjustice.org/gunshot-residue.htm>

edificio ubicado en la calle E. Federal 1701 de la ciudad de Baltimore, junto a su hermano menor MANUEL JOHNSON de 13 años y su tío DAVID MICHAEL BROWN, cuando en un momento dado su tío ve entre las sombras de un callejón oscuro, ubicado frente a su casa a dos individuos, apreciando que uno de ellos tenía un arma, un revolver plateado, según dijera, efectuando esta persona varios disparos en dirección a dónde se hallaban, impactando uno de ellos en el cuerpo del joven el cuál perdió su vida como consecuencia de dichos disparos fatales.

Minutos después llegó al lugar la policía, quienes interrogaron tanto al hermano de la víctima como a su tío, refiriendo estos que no habían logrado ver el rostro de los atacantes, pero quién acompañaba al que efectuara los disparos tenía colocada una remera manga corta de color gris. Luego de unos minutos, y a una media milla del lugar de los hechos es detenido en la vía pública TYRONE JONES, quién tenía colocada una remera de color gris.- El sospechoso posteriormente fue llevado a la estación de policía de Baltimore, dónde se le practicó la recolección de residuos de disparos de sus manos, habiendo sido hallada en las muestra correspondiente a la mano izquierda, una partícula calificada como “única” de residuo de disparo, es decir, que contenía los tres elementos y otra partícula clasificada como “característica” que contenía sólo antimonio y bario y otras quince partículas sólo de plomo las que no pueden ser consideradas como exclusivas de residuo de disparo. El caso fue llevado a juicio y los magistrados, a instancias de esta pericia de residuos de disparos y la declaración del especialista Daniel Van Gelder quién manifestara que la partícula determinada como única, podría interpretarse como que TYRONE JONES, había estado en contacto con un arma de fuego, aunque no había efectuado el disparo, declarando el jurado a JONES culpable de conspiración para cometer asesinato, siendo condenado a la pena de prisión perpetua.

Posteriormente se comprobó que las partículas halladas en la mano de JONES, podrían haber sido transferidas al mismo en la misma estación de policía, por parte de los efectivos que lo detuvieron, durante su traslado en el móvil patrullero, de las esposas que le colocaron, etc.

De acuerdo a lo planteado en el juicio cuando se obtuvieron las muestras de las manos del sospechoso, quienes lo habían aprehendido no habían previamente colocado bolsas de nylon en sus manos, protocolo que hasta ese momento era inexistente como así también normas de seguridad internas de la estación de policía o el laboratorio para evitar la transferencia secundaria de residuos. Recién en el año 2004, y luego de recibir fuertes críticas, el departamento de policía de Baltimore tomó los recaudos necesarios

para evitar la contaminación secundaria de residuos de disparos en sospechosos, construyendo un lugar exclusivo y separado de otros sectores de la dependencia para obtener las muestras, protocolizando también la colocación de bolsas en las manos de los sospechoso antes de que se obtengan muestras de los mismos.

El caso fue revisado en 2005 y el jurado expresó que no había prueba alguna a excepción de la prueba de residuo de disparo que sindicara a JONES como coautor de los hechos, pudiendo haber sido el resultado positivo objeto de una contaminación externa, asegurando que había escasos estudios relacionados a la transferencia de partículas. A estas instancias la validez de la prueba fue ampliamente cuestionada por abogados y peritos de parte, alegando estos que existía la posibilidad de que los restos hallados en la mano izquierda de JONES, podrían no haber sido objeto de la presunta manipulación del arma de fuego, planteándose también un grado de responsabilidad en el perito que realizó la prueba.

En conclusión el único acusado en el hecho fue declarado absuelto y puesto en libertad en Enero de 2005.

Al respecto y habiéndose indagado en el tema existen un estudio efectuado por el especialista DEAN GIALAMAS, el cuál fuera publicado en la revista J. Forensic Sci, año 1995, quienes investigaron los niveles de residuos de disparos presentes en las manos de oficiales de policial portadores de armas de fuego al momento de finalizar sus turnos laborales en los EEUU, arrojando los mismos los siguiente resultados:

De 43 oficiales estudiados, sólo 3 tenían partículas “únicas” de residuos de disparos en sus manos, aproximadamente el 7% del total.- Ninguno de los oficiales tenían más de una partícula en sus manos. No fueron halladas ningún tipo de partícula de residuos de disparos en las manos de 25 oficiales (aproximadamente el 58 %). El investigador comentó que a pesar de la probabilidad de que haya contaminación por transferencia secundaria, la baja cantidad de partículas de residuos de disparos en las manos de los oficiales que no han disparado armas sugería que dicha probabilidad era relativamente baja. Sin embargo , debe tenerse en cuenta que las partículas de residuos de disparo se pierden de las manos rápidamente (según las actividades que se realicen), por lo tanto tomar muestras al final del turno puede no ser el método más representativo para evaluar la capacidad de transferencia.

Otros investigadores como Samuel Petterson demostró que alrededor del 25 % de las muestras tomadas de un grupo de vehículos policiales suecos contenían 6 o más

partículas de residuos de disparo inorgánico (ninguno había manipulado armas de fuego por lo menos hasta 12 horas previas a la toma de las muestras).

También Robert Berk, continuando con los estudios al respecto, obtuvo 201 muestras de vehículo policiales y elementos de detención como esposas, tapizados, etc., en la policía de Chicago para analizar la posibilidad de que residuos de disparos estén presentes en los mismos y sean transferidos a las personas durante su detención.- Al respecto se detectaron partículas “únicas” y “características”. De las 201 muestras, 173 no tenían partículas “únicas”, mientras que las otras 23 contenían 56 partículas en total (dos en vehículos patrulleros y 34 en superficies tipo mesas, 20 en barras de contención de detenidos, etc). Un estudio efectuado entre personas que no había tenido contacto primario con armas de fuego también presentó un caso de una sola partícula “única” encontrada, así el investigador afirmó que, si bien existía una posibilidad de transferencia de partículas “únicas” de residuos, la pequeña cantidad de partículas “únicas” encontradas demostraba que la probabilidad de transferencia secundaria era relativamente baja.

Berk y Gialamas también demostraron que existe la posibilidad de transferencia de residuos de disparo entre la policía, expresando que esta posibilidad es baja, sin embargo, la probabilidad de que aunque sea una sola partícula de residuos sea transferida a una persona debe ser importante ya que esta mínima cantidad ha sido utilizado en la justicia como evidencia de que una persona ha disparo un arma de fuego.

En otro orden una encuesta efectuada en 1999 en los EEUU demostró que el 41% de los laboratorios consideran que una partícula exclusiva era concluyente de la presencia de residuo de disparo.- Los laboratorios consideran que el hallazgo de una partícula “única” confirma la presencia de residuos de disparo, sin embargo, lo que importa es la opinión del especialista.

Actualmente se ve una tendencia general a no aceptar una sola partícula como indicador significativo, la existencia de la posible transferencia secundaria de una partícula debe considerarse importante para la interpretación de los resultados de los análisis. Aún así, el nivel de importancia de cada partícula como evidencia, está determinado por el experto que observa e interpreta la muestra en particular.⁶¹

⁶¹ Dalvy, Oliver, et.al., ob.cit., p. 940

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Tanto determinar la autoría de un hecho criminal, como también establecer la mecánica del mismo resulta de vital importancia en todo proceso penal.- En este sentido el estudio de los restos de deflagraciones producidas por disparos de armas de fuego viene en gran parte a colaborar con el esclarecimiento del delito que tiene como protagonistas a las armas de fuego.

Sin embargo, muchas veces no se le ha dado a la búsqueda, recolección y análisis de restos de deflagraciones producidos por disparos de armas de fuego el real valor que este elemento de prueba brinda al sistema de administración de justicia.

De acuerdo con lo recabado, en nuestro país existe poca a escasa bibliografía al respecto, y gran parte de la misma fue publicada hace varios años atrás, existiendo similar problemática en el resto de Latinoamérica.

Sin embargo en los Estados Unidos y Europa numerosos estudios sobre el tema han realizado valiosos aportes sobre el problema, resaltándose además que este elemento de prueba se halla ampliamente divulgado entre todos los actores del sistema de administración de justicia.- Sin duda que la disponibilidad de medios y recursos tecnológicos que estos países poseen así lo permiten.

En nuestro medio, el cuál ha sido uno de los precursores en varias áreas de la criminalística, se ha observado un estancamiento tanto en la investigación, desarrollo y aplicación de nuevas técnicas de detección y análisis de restos de deflagraciones, pretendiéndose a través de este trabajo informar a estudiantes de criminalística y criminalistas noveles, para así lograr llenar el vacío y desconocimiento existente sobre estos temas, y de esta manera insertar en el ánimo de estudiantes y entusiastas de la balística el afán de curiosidad, investigación y renovación de nuevas técnicas lo que generará seguramente amplios aportes sobre el tema.

Se puede decir que las pruebas que actualmente utilizan reactivos para la detección de restos de deflagraciones como la prueba de la parafina o prueba de Peter Griess, resultan inespecíficas, debido a que las mismas se basan en la detección de nitratos y nitritos, los que se encuentran presentes en los restos de deflagraciones aunque también son abundantes en otros compuestos de la naturaleza, pudiendo arrojar en este sentido la prueba falsos positivos.- Sin embargo las mismas pueden utilizarse como correlato a otras

pruebas más específicas para la detección de restos de deflagraciones en ropas o armas de fuego.

Con relación a la prueba del Rodizonato de Sodio, esta resulta más eficaz que las del dermatest, (difenilamina sulfúrica) debido a que arroja una cantidad menor de falsos positivos, aclarándose también que de los ensayos realizados obrantes en la Pagina N° 49 y subsiguientes se pudo concluir que también arrojaría falsos negativos debido a que se observa que la prueba es poco sensible y fue necesario efectuar más de un disparo para que los reactivos puedan activarse con la presencia de Pb, Ba y Sb.

Con respecto a la espectroscopia de absorción atómica (FAAS), esta prueba si bien posee altos niveles de detección de plomo bario y antimonio, estos pueden ser producto de una contaminación con el medio ambiente, sucediendo lo mismo en caso de detectarse niveles muy escasos, debiéndose basar los niveles de detección de los restos dentro de determinados parámetros, los que varían en caso de resultar ser armas de mayor o menor calibre, o haberse visto afectada la zona de deposición de residuos por frotamientos, manos en los bolsillos, limpieza, etc., lo que genera la pérdida de gran parte del material, agregándose además que mediante el uso de la técnica de levantamiento que se utiliza (hisopos impregnados en ácido nítrico al 5 %) es insuficiente en la extracción de antimonio.

En cuanto a la activación neutrónica si bien es posible obtener altos niveles de detección, no sirve para detectar plomo, resultando también los costos de su aplicación importantes debido a que es necesario utilizar un reactor nuclear para su puesta en práctica.

Referente a la prueba que utiliza el plasma acoplado por inducción (ICP), esta técnica es aplicada en conjunto a otros equipamientos similares ICP/AES (plasma acoplado por inducción/espectrometría de emisión atómica y ICP/FAAS (plasma acoplado por inducción y Espectrometría de absorción atómica ICP/MS (plasma acoplado con inducción/ Espectrometría de masas, pudiéndose de todas rescatar la ICP/MS, por sus altos niveles de detección, aclarándose sin embargo que como en la espectroscopia de absorción atómica la detección de los elementos Pb, Ba y Sb, puede resultar originaria de otra fuente, pudiendo arrojar la prueba también falsos positivos, resultando en este sentido específica para plomo bario y antimonio, aunque no para residuos de deflagración.

En cuanto a los métodos basados en la detección de residuos orgánicos, como la Cromatografía de Gases (GC), Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y electroforesis capilar (EC), la primera no puede analizar nitroglicerina (NG), ya que esta

no es lo suficientemente volátil, pudiendo además deteriorar la columna del cromatógrafo.- Respectos a los esteres de nitrato presentes en los residuos de disparos, estos también son incompatibles con el equipamiento de (CG), debido también a la inestabilidad termal de estos compuestos. La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), resulta sin embargo ser particularmente interesante y útil en la detección de residuos orgánicos, aunque utilizándose en combinación con otras técnicas como la MC (espectrometría de masas), resultando los métodos eficientes para las centralitas EC / MC (Etil Centralita y Metil Centralita) aunque los resultados con los otros compuestos inorgánicos, son insuficientes. En cuanto a la electroforesis capilar electrocinética micelar (MECE), esta técnica es también particularmente útil, aunque debe ser utilizada en combinación con otras técnicas.

También se aclara que existen numerosas fuentes ambientales de contaminación de los residuos orgánicos producidos por los disparos de armas de fuego; como por ejemplo el estabilizante DPA (difenilamina), puede ser también hallado en la superficie de manzanas, neumáticos y prendas de vestir, también los combustibles sólidos, los pesticidas, las tinturas, los fármacos, y los medicamentos de veterinaria contiene DPA.

El hisopado directo de la piel de manzanas, peras, bananas y cítricos ha producido picos del cromatograma con el mismo tiempo de retención (HPLC) que la DPA. Los pomelos, las naranjas y las peras también han producido picos del mismo tiempo de retención para la EC (Electroforesis capilar). Las prendas de vestir, pomada de zapatos, y muchos productos de goma también producen picos de interferencia.

De todas las técnicas reseñadas se concluye que la técnica más apropiada a aplicarse sería la de Microscopia de Barrido Electrónico con sonda de rayos X (SEM/EDX).

Este sistema permite, a diferencia de otras técnicas la posibilidad de observar no sólo la forma de las partículas de residuos de disparos, sino que también, nos permite su análisis químico, pudiéndose también analizar en forma individual cada partícula y clasificarla de acuerdo a su morfología y composición elemental, indicándonos si una partícula dubitada pudo haber sido producto del residuo de un disparo de arma de fuego y no de otra fuente.

Sin embargo con el advenimiento de la llamada munición libre de plomo o no toxica, es necesario realizar un replanteo de esta técnica, debido a que la composición de los fulminantes difieren en gran medida con la de los fulminantes tradicionales, por lo que en estos casos es conveniente analizar la muestra en forma individual, debiéndose ser muy

cuidadoso respecto al dictamen, aplicándose también a la muestra técnicas para el hallazgo de residuos orgánicos.

Por último aclararemos que resulta además de gran importancia las precauciones que se deben tomar para la obtención de las muestras, toda vez que y de acuerdo a la naturaleza de las partículas, también existe la posibilidad de una contaminación secundaria.

En el Anexo I se puede observar a manera de resumen final un cuadro descriptivo de las diferentes técnicas.

.....°

.....

ANEXO I: DIFERENTES TECNICAS

ANEXO I: DIFERENTES TECNICAS

ANEXO I: DIFERENTES TECNICAS

GLOSARIO DE TERMINOS ESPECIFICOS

ACERO: El acero es una aleación compuesta por el hierro y un no metal como el carbono. La aleación conserva las características metálicas del primero, pero con propiedades notablemente mejoradas gracias a la adición del segundo y de otros elementos metálicos y no metálicos. Numerosas combinaciones de acero al carbono son utilizadas para la fabricación de armas de fuego.

ACIDO ACETICO: También es conocido como ácido metilencarboxílico, se puede encontrar en forma de ion acetato. Éste es un ácido que se encuentra en el vinagre, siendo el principal responsable de su sabor y olor agrios. ($C_2H_4O_2$). El punto de fusión es $-16,6\text{ }^{\circ}C$ y el punto de ebullición es $117,9\text{ }^{\circ}C$.- En el presente trabajo es utilizado para la detección de nitritos en ropas.

ACIDO CLORHIDRICO (HCl): líquido incoloro levemente amarillo. Es un acido fuerte, cuyo PH es inferior a 1. En el trabajo fue utilizado en solución para disolver oxido de hierro.

ACIDO FOSFOMOLIBDICO: es un compuesto de coloraciones amarillas claras, muy solubles en agua y en solventes orgánicos. Es utilizado como reactivo en cromatografía.- En el presente trabajo este reactivo es utilizado para la detección de antimonio.

ACIDO NITRICO (HNO_3): En estado puro es un líquido viscoso, incoloro e inoloro. A menudo algunas impurezas lo colorean de amarillo marón. Es un agente oxidante potente, sus reacciones con compuestos como los cianuros, carburos, y polvos metálicos pueden ser explosivos. Es un ácido fuerte: en solución acuosa se disocia completamente en un ion nitrato NO_3^- y un protón hídrico. Las sales del ácido nítrico (que contienen el ion nitrato) se llaman nitratos. Es utilizado junto con el acido sulfúrico para la fabricación de la nitrocelulosa.

ACIDO SULFANILICO: Fórmula molecular $C_6H_7NO_3S$ $C_6H_7NO_3S$, es un sólido cristalino, incoloro, producido por el sulfonación de anilina. Se obtiene de la reacción generada del baño de acido sulfúrico con anilina a 180 ° . En el presente trabajo este compuesto es utilizado junto a la alfa naftilamina y para la detección del ion nitrito (pólvora semi combustionada).

ACIDO SULFURICO (H_2SO_4): Es un compuesto químico muy corrosivo. Además reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor. Es utilizado junto al ácido nítrico para la fabricación de la nitrocelulosa.

ACIDO TARTARICO: También llamado ácido tártrico, es un compuesto orgánico polifuncional, cuyo grupo funcional principal es el carboxilo (ácido carboxílico). Su fórmula molecular es $C_4H_6O_6$. Se utiliza junto al bitartrato de sodio para la detección de bario y plomo.

ALFA NAFTILAMINA: Fórmula: $C_{10}H_7NH_2$ se presenta en cristales blancos, vira a rojo por exposición al aire, a la luz y a la humedad. No es soluble en agua. En el presente trabajo es utilizado junto al ácido sulfanílico para la detección nitritos.

ANTIMONIO: Elemento de número atómico 51, símbolo (Sb). Punto de fusión $440^{\circ}C$, punto de ebullición $1380^{\circ}C$. Es un elemento semimetálico. En su forma estable es un metal blanco azulado. El antimonio negro y el amarillo son formas no metálicas inestables. El antimonio en su forma elemental es un sólido cristalino, fundible, quebradizo, blanco plateado que presenta una conductividad eléctrica y térmica baja y se evapora a bajas temperaturas. Este elemento semimetálico se parece a los metales en su aspecto y propiedades físicas, pero se comportan químicamente como un no metal. Puede ser atacado por ácidos oxidantes y halógenos. El antimonio aparece en el proyectil para endurecer el plomo y también como compuesto del fulminante en la forma de sulfuro de antimonio. También el antimonio y sus aleaciones son ampliamente difundidos en la industria de metales antifricción, pigmentos para pinturas, rodamientos, pastillas de frenos, etc.

ARMA DE FUEGO: Es una máquina térmica que utiliza los gases producto de la deflagración de la pólvora para disparar proyectiles con dirección y sentido.

AVANCARGA: se refiere a las armas de pólvora negra que eran cargadas por la boca del cañón.

AZUFRE: Elemento químico de número atómico 16 y símbolo (S). Es un no metal abundante en la naturaleza con un olor característico. Tiene un color amarillento, amarronado o anaranjado, es blando, frágil, ligero, desprende un olor característico a huevo podrido al combinarse con hidrógeno y arde con llama de color azul, desprendiendo dióxido de azufre. Es insoluble en agua pero se disuelve en disulfuro de carbono. Es multivalente, y son comunes los estados de oxidación -2, +2, +4 y +6. Este elemento es utilizado como aglutinante y en menor medida también actúa como combustible en la composición de la pólvora negra.

BARIO: Elemento químico cuyo símbolo es (Ba) y su número atómico es 56. Es un metal alcalinotérreo, ocupa el lugar número 18 entre los elementos más comunes de la tierra. Su punto de fusión está a $850^{\circ}C$, su punto de ebullición a $1140^{\circ}C$, y su densidad

relativa es $3,5 \text{ g/cm}^3$. El bario es un elemento metálico que es químicamente similar al calcio, pero más reactivo. Este metal se oxida con mucha facilidad cuando son expuestos al aire y es altamente reactivo con el agua o el alcohol, que produce gas hidrógeno. Se quema con el aire o el oxígeno, no sólo produce el óxido de bario (BaO), sino también el peróxido. Se halla presente en la mayoría de los fulminantes de las armas de fuego en la forma de nitrato de bario. También es utilizado en la industria en diversos compuestos como desoxidantes de aleaciones de estaño, radiografías, productos químicos fotográficos, insecticidas, curtidos de cueros, etc.

BITARTRATO DE SODIO: Es una sal de coloración blanca, soluble en agua. En el presente trabajo se utiliza en una solución junto al ácido tartárico para la detección de bario y plomo.

BISMUTO: Elemento cuyo símbolo es (Bi), su número atómico es 83. Punto de fusión 271°C , punto de ebullición 1450°C , densidad $9,79 \text{ g/cm}^3$. Es un metal pesado, quebradizo y blanco cristalino, se parece químicamente a los elementos que le preceden en el grupo, antimonio y arsénico (aunque estos se suelen considerar como semimetales). Se obtiene como subproducto del refinado de cobre (Cu), plomo (Pb) y estaño (Sn). Es el metal con mayor diamagnetismo y, después del mercurio, es el metal con menor conductividad térmica. Es empleado en mezclas en el empavonado de armas de fuego y también en aleaciones de latón para la confección de vainas.

CARBONO: Elemento químico de número atómico 6 y símbolo (C). Es sólido a temperatura ambiente. Dependiendo de las condiciones de formación, puede encontrarse en la naturaleza en distintas formas alotrópicas, carbono amorfo y cristalino en forma de grafito o diamante. El carbón, el cual está compuesto en su mayoría por uniones carbonadas, es utilizado en la fabricación de pólvora negra aportando el combustible a la mezcla.

CARBONATO DE POTASIO (K_2SO_3): es una sal blanca soluble en agua (insoluble en alcohol), que forma soluciones alcalinas fuertes, o lo que es lo mismo, es una sal ácida fuerte. Es hallada en el residuo de deflagraciones dejado por la pólvora negra.

CINC: Elemento químico metálico símbolo (Zn), de número atómico 30, densidad $7,13 \text{ g/cm}^3$ – Punto de fusión $419,4^\circ \text{C}$, punto de ebullición 907°C . Es el 23º elemento más abundante en la Tierra. Es un metal de color blanco azulado que arde expuesto a una fuente calórica con llama verde azulada. El aire seco no lo ataca pero en presencia de humedad se forma una capa superficial de óxido o carbonato básico que aísla al metal y lo protege de la corrosión. Prácticamente el único estado de oxidación que presenta es el

+2. El cinc es ampliamente utilizado para la fabricación de acero inoxidable y para el recubrimiento del hierro, debido a que lo protege del óxido. Es utilizado como aleación del cobre para la fabricación de bronce como el latón militar utilizado en la fabricación de vainas para armas de fuego.

DEFLAGRACION: Es una combustión súbita con llama. Las reacciones que provoca una deflagración son similares a la de una combustión, pero se desarrollan a una velocidad comprendida entre 1 m/s y la velocidad del sonido (343 mts/s). En la deflagración, el frente de llama avanza por difusión térmica. Por el contrario, en una detonación la combustión está asociada a una onda de choque que avanza a una velocidad superior a la del sonido.

DETONANTE: Sustancia explosiva capaz de liberar una gran cantidad de energía en un brevísimo lapso de tiempo, a una velocidad superior a la del sonido. Esta reacción genera una onda de choque. La mayoría de los detonantes de las armas de fuego modernas poseen entre otros compuestos estífnato de plomo, nitrato de bario y sulfuro de antimonio.

DIFENILAMINA SULFURICA: Disolución de difenilamina en ácido sulfúrico concentrado que da color azul en presencia de nitratos y nitritos.- Se utiliza como reacción de caracterización de restos nitrados de pólvora.

DIOXIDO DE CARBONO (CO₂): Es un gas incoloro, denso y poco reactivo que se halla compuesto por dos moléculas de oxígeno y una de carbono.- El dióxido de carbono se genera como consecuencia de la combustión en un ambiente oxigenado del carbono.

ELECTRONES RETRODISPERSADOS: Son generados por las colisiones elásticas de los electrones incidentes con los átomos en una muestra.- La interacción con los electrones produce una señal de retrodispersión que contiene información sobre productos químicos. Ej. El plomo número atómico 22, es más brillante que el hierro número atómico 26.

ELECTRONES SECUNDARIOS: Interacciones inelásticas donde los electrones cerca de la superficie reciben la energía suficiente para salir de la muestra.

ENCAMISADO: placa metálica que cubre al proyectil de un arma de fuego. Su función es la de tomar el estriado del cañón del arma sin dañar al mismo y así lograr que el proyectil tome el movimiento rotatorio. También, en las armas semiautomáticas, facilita la carga del proyectil en la recámara. Están compuestas por metales más blandos que el acero (ej. latón, cobre, etc.).

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO: Se trata de la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. En lo que se refiere a un objeto, se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre éste, como la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

EXPLOSIÓN: Es la liberación de energía en un intervalo de tiempo brevísimo que puede oscilar entre los 800 a 8.500 mts/s. Una explosión causa ondas de presión en los alrededores donde se produce, estas ondas supersónicas son denominadas ondas de choque.

FULMINATO DE MERCURIO: Es una sal explosiva, que se presenta en forma de cristales blancos. Es muy inestable y de descomposición exotérmica poco calórica, por lo que se utiliza como explosivo de iniciación. Este tipo de compuesto era utilizado en los fulminantes antiguos. Este compuesto fue utilizado por primera vez para estos fines por el reverendo Alexander Forsyth en 1805.

GAS CARRIER: En cromatografía gaseosa se refiere a gas de transporte.

HIGROSCOPICIDAD: Es la capacidad de los materiales para absorber la humedad atmosférica. Ej. La pólvora negra, la sal de mesa, etc.

ISÓTOPOS: Son átomos de un mismo elemento, cuyos núcleos tienen cantidad diferente neutrones, y por tanto, difieren en masa. La mayoría de los elementos químicos poseen más de un isótopo. Solamente 21 elementos (ejemplos: berilio, sodio) poseen un solo isótopo natural; en contraste, el estaño es el elemento con más isótopos estables posee.

LIBRA POR PULGADA CUADRADA (psi): Unidad de presión del sistema anglosajón $1\text{psi} = 0,007039 \text{ Kg/cm}^2$.

MICRÓN: Es una unidad de longitud equivalente a la millonésima parte de un metro 10^{-100} , se simboliza un μm .- Equivalencias $1\text{m} = 0,001 \text{ mm}$.

MICROLITRO: Unidad de volumen equivale a la millonésima parte de un litro. Se representa con el símbolo μl .- $1 \mu\text{l}$ equivale a 1 mm^3 .

MICROSEGUDO: unidad de tiempo que corresponde a la millonésima parte de un segundo, 10^{-6} segundos y se denota $1\mu\text{s}$.

MILILITRO POR MINUTO (mL/min.): Volumen de un fluido filtrado por unidad de tiempo.

MONOXIDO DE CARBONO (CO): Es un gas compuesto por una molécula de carbono y una molécula de oxígeno. Es incoloro, inodoro, inflamable y altamente tóxico. Se produce como consecuencia de la combustión incompleta, con escaso aporte de oxígeno de combustibles.

MOVIMIENTO BROWNIANO: Es el movimiento aleatorio que se observa en algunas partículas microscópicas que se hallan en un medio líquido (por ejemplo polen en una gota de agua). El movimiento aleatorio de estas partículas se debe a que su superficie es bombardeada incesantemente por las moléculas (átomos) del fluido, sometidas a una agitación térmica. Este bombardeo a escala atómica no es siempre completamente uniforme y sufre variaciones estadísticas importantes. Así la presión ejercida sobre los lados puede variar ligeramente con el tiempo provocando el movimiento. Tanto la difusión, como la ósmosis son fenómenos basados en el movimiento browniano.

NANO GRAMO (ng): Unidad de medida de masa. Equivale a la millonésima parte del gramo, es decir un ng corresponde a 1/1.000.000.000 gramos.

NITRATO (HO_3): son sales o esteres del ácido nítrico HNO_3 . En los residuos de deflagraciones se forman como producto de la descomposición a alta temperatura de los óxidos de nitrógeno. Se encuentran ampliamente difundidos en la naturaleza, como así también en los gránulos de pólvora no quemada. La difenilamina sulfúrica (guantelete de parafina) reacciona con los restos de pólvora no quemada presentes en la nitrocelulosa.

NITRATO DE POTASIO: Su fórmula es KNO_3 y es el componente básico del salitre. Es utilizado para la fabricación de la pólvora negra, aportando el salitre el oxidante a la mezcla.

NITRITO (HO_2): Son sales o esteres del ácido nitroso HNO_2 . Se encuentra presente en los granos de pólvoras semicombustionadas. En la técnica de Peter Griess los reactivos utilizados reaccionan con los restos de pólvora semicombustionadas. También reacciona con el reactivo difenilamina sulfúrica (guantelete de parafina).

NITRITO DE POTASIO (KNO_2): Sal de potasio. En nuestro caso se produce como residuo producido por la deflagración de la pólvora negra.

NITROCELULOSA (NC): Es una concentración de ácido nítrico y ácido sulfúrico en un material de celulosa, ejemplo: el algodón. Este compuesto es utilizado para la fabricación de pólvora sin humo.

NITRÓGENO (N₂): Es un gas en condiciones normales, número atómico 7. Ocupa el 78 % del volumen de gases de nuestra atmosfera. En nuestro caso el nitrógeno es liberado por la combustión de la pólvora.

NITROGLICERINA (NG): Es un alto explosivo utilizado en algunas mezclas del propelente.

PARAFINA: Es un hidrocarburo, producido como subproducto del petróleo. La cera de parafina se encuentra por lo general como un sólido ceroso, blanco, inodoro, carente de sabor, con un punto de fusión típico entre 47°C a 64°C. Es insoluble en agua, aunque si es soluble en éter, benceno, y algunos esteres. La parafina no es afectada por los reactivos químicos más comunes, pero se quema fácilmente.

PARTES POR MILLON (ppm): medida de concentración referida a la cantidad de unidades de una sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto. Ej. 10.000 ppm= 1%.

PLOMO: Es un metal pesado, símbolo (Pb), número atómico 82. Su densidad es de 11,3 g/cm³ a 16 °C, de color plateado con tono azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Por sus propiedades no sólo es utilizado para la confección de los proyectiles de armas de fuego, sino que también en el fulminante. Es además ampliamente utilizado en la industria, como en la soldadura, baterías y acumuladores, pintura, cubiertas de cables, vidrios, fósforos, tintes, combustibles, etc.

SULFATO DE POTASIO (K₂ SO₄): Es un sólido cristalino blanco. En nuestro caso se produce como consecuencia del residuo dejado por la pólvora negra. También se utiliza en la industria como fertilizante.

SULFURO DE HIDROGENO (H₂S): Es un gas incoloro más pesado que el aire, es inflamable, incoloro, tóxico y su olor es el de la materia orgánica en descomposición, como los huevos podridos. Este gas es producido por la deflagración de la pólvora negra y responsable del olor característico generado por las armas de fuego.

SULFURO DE POTASIO (K₂ S): es una sal del potasio, que se produce como consecuencia de la deflagración de la pólvora negra.

TIOCIANATO DE POTASIO (K – SCN): Es un compuesto inoloro de coloración blanca. Es venenoso y altamente nocivo a la ingestión. Es soluble en agua. Este compuesto también es liberado como compuesto gaseoso por la deflagración de la pólvora negra. También en el presente trabajo este compuesto fue utilizado para lograr la reacción colorimétrica en el estudio de óxido de hierro (en amas de fuego).

TIOSULFATO DE SODIO: Es un cristal monoclinico de coloración blanca, es fácilmente soluble en el agua aunque no en el alcohol. Es utilizado para quitar las sales de plata de la placa fotosensible.

TUNGSTENO o WOLFRAMIO: Símbolo (W) Punto de fusión 3410 °C Punto de ebullición 5930 °C, número atómico 74, se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en forma de óxido y de sales en ciertos minerales. Es de color gris acerado, muy duro y denso, tiene el punto de fusión más elevado de todos los metales y el punto de ebullición más alto de todos los elementos conocidos. Se puede utilizar para una elación metálica en proyectiles especiales, la cual le otorga gran dureza y capacidad perforante.

ALGUNAS ABREVIATURAS UTILIZADAS EN EL TEXTO:

AAN: Análisis por activación neutrónica.

AAS: Espectrometría de Absorción atómica.

AES: Espectrometría de emisión atómica.

AES/ICP Espectrometría de emisión atómica/plasma acoplado por inducción.

CG: Cromatografía en fase gaseosa.

HPLC: Cromatografía líquida de alta resolución.

GFAS: Espectrómetro de absorción atómica s/llamas con horno de grafito.

ICP: Plasma acoplado por inducción.

LC: Cromatografía en fase líquida.

SEN/EDX Microscopio de Barrido electrónico/ sonda detección de rayos X.

MECE: Electroforesis Capilar Electrocinética Micelar.

MS: Espectrometría de Masas.

SEM/EDX: Microscopio de Barrido Electrónico/ Sonda de detección de rayos X.

BIBLIOGRAFIA UTILIZADA:

- **CARDINI, FERNANDO, et al, TRATADO DE CRIMINALISTICA, TOMO II, LA QUIMICA ANALITICA EN LA INVESTIGACION DEL DELITO, BUENOS AIRES, EDITORIAL POLICIAL, 1983, 503 p..-**
- **DALVY, OLIVER, et al., ANALYSIS OF GUNSHOT RESIDUE AND ASSOCIATED MATERIALS, E.E.U.U., AMERICAN ACADEMY OF FORENSIC SCIENCES, 2010, VOL 55 N°4, p 924 – 943.**
- **DI MAIO, VICENT, HERIDAS POR ARMA DE FUEGO, ARGENTINA, ED. LA ROCA, 1999, 512 p.**
- **EXELENTISIMA CAMARA EN LO CRIMINAL DE 2da CIRCUNSCRIPCION DPTO JUDICIAL PCIA DE LA PAMPA, FALLO N° 8942, EXP N° 16946/9 caratulado WIRTZ, MARCOS ARIEL Y OTROS S/ CON RESULTADO DE MUERTE COMETIDO CON ARMA DE FUEGO EN DESPOBLADO Y EN BANDA...;** en: <http://www.pensamientopenal.com.ar/03112010/fallos01.pdf>
- **FERNANDEZ, GONZALO; LOS PROYECTILES Y SUS EFECTOS, TOMO I y II, MONTEVIDEO, CENTRO MILITAR REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY, 1962. 344 p y 272 p.**
- **HANES, STHEPANIE, EVIDENCE UNDER SUSPICION, BALTIMORE, BALTIMORE SUNS;** en: <http://truthinjustice.org/gunshot-residue.htm>
- **MINISTERIO DE SEGURIDAD POLICIA DE LA PROV. DE BS. AS., PROTOCOLO DE LEVANTAMIENTO DE MUESTRAS DE RESIDUOS DE DISPAROS PARA SEM/EDX, POLICIA CIENTIFICA, PCIA. DE BS. AS., 2009, 50 p.**
- **MOSSO, EDUARDO, METODO ANALITICO DE INDUCCION DE PLASMA ACOPLADO;** en: <http://apuntes.rincondelvago.com/metodo-analitico-de-induccion-de-plasma-acoplada.html>
- **NICOLAU, VERONICA; APLICACION DE TECNICAS ANALITICAS EN QUIMICA FORENSE, SANTA FE, 2000, 10 p.-**
- **PELAEZ, ALBA MOURE, et al; ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA,** en:http://www.xtec.net/~gjimene2/llicencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d32817116-3_____AAS_final.html
- **QUIMICA NET, ¿ QUE ES LA CROMATOLOGRAFIA LIQUIDA DE ALTA EFICIENCIA (HPLC) ?;** en: http://www.quiminet.com/ar1/ar_zgtadddsavcd-que-es-cromatografia-liquida-de-alta-eficiencia-hplc.htm

- SCHWOEBLE, A.J Y EXLINE, D.L., **CURRENT METHODS IN FORENSIC GUNSHOT RESIDUE**, BOCA RATON, CRC PRESS LLC, 2000, 170p.
- TRIBUNAL CRIMINAL N°1 DPTO. JUDICIAL NECOCHEA, CAU SA N°4532-0238 caratulada: **TORTORA, AGUSTIN Y CARRIZO, DIEGO FELIPE S/ HOMICIDIO DOBLEMENTE AGRAVADO POR LA CALIDAD DE FUNCIONARIO POLICIAL Y POR EL USO DE ARMA DE FUEGO;** en: <http://www.pensamientopenal.com.ar/01082010/fallos43.pdf>
- TRIBUNAL CRIMINAL N° 5 DPTO JUDICIAL SAN ISIDRO, CA USA N° 2666, caratulada: **LUQUE, ERNESTO DANIEL Y ACUÑA DEBORA GISELLE S/HOMICIDIO CRIMINIS CAUSAE**, PODER JUDICIAL PCIA DE BUENOS AIRES; en: http://federacionlex.blogspot.com/2009_06_18_archive.html
- WALLACE, JAMES, **CHEMICAL ANALYSYS OF FIREARMS, AMMUNITION, AND GUNSHOT RESIDUE;** LONDRES, CRC PRESS LLC, 2008, 291p.
- WIKIPEDIA LA ENCICLOPEDIA LIBRE, ELECTROFORESIS CAPILAR; en: http://es.wikipedia.org/wiki/Electroforesis_capilar
- WIKIPEDIA LA ENCICLOPEDIA LIBRE, **CROMATOGRAFIA DE GASES**, en: http://es.wikipedia.org/wiki/cromatograf%C3%ADa_de_gases

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA:

- GUZMAN, CARLOS, **MANUAL DE CRIMINALISTICA**, BUENOS AIRES, EDICIONES LA ROCA, 2000, 619 p.
- GABINETE QUIMICO PERICIAL LA PLATA, APUNTES SERVICIO DE MICROSCOPIA DE BARRIDO ELECTRONICO, DIRECCION DE POLICIA CIENTIFICA PCIA DE BUENOS AIRES, 5 p.
- GIORGIERI, SERGIO, et al., **DISCUSION DE NUEVAS PROPUESTAS PARA LA INVESTIGACION DE ILICITOS VINCULADOS AL USO DE ARMAS DE FUEGO**, LA PLATA, ASESORIA PERICIAL PODER JUDICIAL PCIA. DE BUENOS AIRES, 2003, 13p
- DIRECCION QUIMICA PERICIAL POLICIA DE ENTRE RIOS, **POLVORA: NUEVAS TECNICAS DE DETERMINACION**, ENTRE RIOS, POLICIA PCIA ENTRE RIOS, 6 p.
- **GUNSHOT RESIDUE ANALYSIS** en: <http://translate.google.com.ar/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.wavesignal.com/Forensics/GSR.html&ei=7WUJTpTuAsW4tgee24hX&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=4&v>

ed=0CEIQ7gEwAw&prev=/search%3Fq%3DGunshot%2BResidue%2B%2B(GSR)%2BAnalysis%26hl%3Des%26biw%3D1280%26bih%3D598%26prmd%3Divns

- OLAVARRIA, LUIS, **DIVERSOS APUNTES CATEDRA QUIMICA BALISTICA**, UNIVERSIDAD FASTA, AÑO 2010.

Licenciatura en Criminalística
Cohorte 2008

Universidad FASTA
Facultad de Ciencias
Jurídicas y Sociales

BALISTICA FORENSE

AÑO

2011

TESIS LICENCIATURA EN CRIMINALISTICA
PRESENTADA POR:

ALEJANDRO LUIS MULLER.-

TUTORES:

EN EL AREA CRIMINALISTICA:

Lic. HERNAN GACIO.-

Lic EUGENIA CARIAC.-

EN EL AREA METODOLOGICA:

Lic. AMELIA RAMIREZ.-

ESTUDIOS SOBRE
RESTOS DE
DEFLAGRACIONES
PRODUCTO DE
DISPAROS DE
ARMAS DE FUEGO

ANEXO I

TABLA CONTENIENDO TOTALIDAD DE TECNICAS TRATADAS EN ESTE TRABAJO RELACIONADAS AL ANALISIS DE RESIDUOS DE DISPAROS DE ARMAS DE FUEGO

NOMBRE DE LA TECNICA	TECNICA DE LEV.	COMPUESTOS DETECTADOS	NOTAS ADICIONALES
PRUEBA DEL DERMOTEST	GUANTELETE DE PARAFINA CINTA ADHESIVA EMBALAJE HISOPO ALGODÓN (ARMAS)	NITRATOS Y NITRITOS	Pueden hallarse falsos positivos por la reacción con los compuestos presentes en el tabaco, plantas leguminosas, fertilizantes, fármacos, esmalte de uñas, orina, la fricción de un fósforo, lavandina, etc. De estudio realizado en 250 personas que no habían manipulado armas de fuego, utilizando el dermatest se detecto que 117 casos arrojaron resultados positivos.
PRUEBA DE GRIESS MODIFICADA	HISOPO DE ALGODÓN (ARMAS)	NITRITOS	Pruebas específicas para nitritos, los que se hallan ampliamente difundidos en la naturaleza.
PRUEBA DEL RODIZONATO		Pb, Ba y Sb	Se considera más eficaz que el dermatest debido a que arroja menor cantidad de falsos positivos; igualmente es poco sensible. Es específica para Pb, Ba y Sb, pero no para residuos de deflagraciones.-

*Fuente: Elaboración propia.

NOMBRE DE LA TECNICA	TECNICA DE LEV.	COMPUESTOS DETECTADOS	NOTAS ADICIONALES
ANALISIS DE ESPECTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA (AAS)	HISOPOS CON ACIDO NITRICO AL 5 %	Pb, Ba y Sb	Aunque los niveles de detección son aceptables, es específica para Pb, Ba y Sb, aunque no para residuos de disparos. No tiene en cuenta la contaminación del medio ambiente.
ANALISIS POR ACTIVACION NEUTRONICA	HISOPOS CON ACIDO NITRICO AL 5 %	Ba y Sb	Los bajos niveles de detección son importantes aunque no detecta PB. Es necesario el uso de un reactor nuclear. Los análisis demandan mucho tiempo y costo.
PLASMA ACOPLADO POR INDUCCION	ACIDO NITRICO 2 % v/v	Pb, Ba y Sb	De alta sensibilidad, aunque se utiliza en conjunto con otras técnicas ICP/AES, ICP/MS, no permite el análisis morfológico de las partículas, aunque se puede utilizar con SEM/EDX.
ANALISIS DE CROMATOGRAFIA DE GASES (GC)	HISOPOS AGUA/ETANOL DETECTORES TEA	NG, 2,4 DNT, 2,6 DNT	De alta sensibilidad aunque presenta dificultades con la detección de NG, como también de los esteres de nitrato, se utiliza en conjunto con MS (espectrometría de masas) y también SEM/EDX.- Los residuos orgánicos como DPA y EC, se hallan también presentes en fuentes ambientales.

*Fuente: Elaboración propia.

NOMBRE DE LA TECNICA	TECNICA DE LEV.	COMPUESTOS DETECTADOS	NOTAS ADICIONALES
CROMATOGRAFIA LIQUIDA DE ALTA RESOLUCION (HPLC)	HISOPOS AGUA/ETANOL 75/25% v/v	NG, 2,4 – DNT, DPA EC, MC	De alta sensibilidad aunque muestra inconvenientes en la detección de AK II, se utiliza en conjunto con otras técnicas. Existen numerosas fuentes de contaminación ambiental respecto a los estabilizantes DPA, EC y MC.
ELECTROFORESIS CAPILAR (EC)	HISOPOS AGUA/METANOL	NG, DPA, N-NDPA EC	De alta sensibilidad aunque se utiliza en conjunto con otras técnicas como SEM, MECE (electroforesis capilar electrocinetica micelar) No es especifica para residuos de disparos.
MICROSCOPIA DE BARRIDO ELECTRONICO/ DETECTOR POR RAYOS X – (SEM-EDX)	COLECTORES ADHESIVOS KIT SUPERFICIE DE CARBONO CINTA ADHESIVA	PARTICULAS UNICAS Y CARACTERISTICAS Pb, Ba, Sb, AL IGUAL QUE OTRAS	Es el método de análisis de mayores prestaciones permite el análisis morfológico y químico de cada partícula en forma individual Aunque es necesario un análisis independiente en cada caso, practicado por un “experto”, una sólo partícula no es indicativo de resto de deflagración

*Elaboración propia.