

Identificación de polvo fotográfico (explosivo inorgánico de baja potencia), clorato de potasio (precursor de explosivos) y dispositivo explosivo improvisado

Brenda Jeannett Tello López de García
Laboratorio de Físicoquímica
Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala –INACIF-
brendytello@yahoo.com

Recibido: 11 de junio 2019 / Aceptado: 25 de julio 2019

Palabras clave: explosivos, marchas analíticas, SEM/EDX, clorato de potasio, polvo fotográfico (flash powder), dispositivo explosivo improvisado, combustible.

Key words: explosives, analytical gears, potassium chlorate, flash powder, improvised explosive device, fuel.

RESUMEN

Durante los meses de marzo y abril del año 2016 se realizaron en el Laboratorio de Físicoquímica, análisis presuntivos y confirmatorios en varios indicios con sospecha de contener sustancias explosivas, para lo cual se utilizaron técnicas analíticas combinadas, siendo éstas pruebas presuntivas (análisis colorimétricos y de propiedades fisicoquímicas) y confirmatorias por Microscopía Electrónica de Barrido/Detector de Energía Dispersiva de Rayos X (SEM/EDX) y Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS). Las muestras analizadas presentaron características fisicoquímicas compatibles con clorato de potasio y polvo fotográfico (flash powder) y residuos quemados de partes de un dispositivo explosivo improvisado o artefacto explosivo de fabricación artesanal, incluyendo residuos químicos de gasolina utilizados como combustible.

ABSTRACT

During March and April of 2016, several presumptive and confirmatory analyzes were examined in the Laboratory of Physicochemistry with suspicion of containing explosive substances. The presumptive tests were: colorimetric analysis and physicochemical properties; while the confirmatory tests were: Scanning Electron Microscopy / X-ray Dispersive Energy Detector and Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry (GC/MS).

The analyzed samples showed physicochemical characteristics compatible with potassium chlorate, flash powder and burnt remains of improvised explosive device or artisanal explosive device, including chemical gasoline remains used as fuel.

INTRODUCCIÓN

La metodología para búsqueda de explosivos realizada, está basada en una serie de análisis, los cuales se describen a continuación incluyendo la clasificación de los explosivos así como los principales métodos de identificación. Se utilizan distintas técnicas presuntivas y confirmatorias por lo que varían en su sensibilidad y especificidad.

Imagen 1. Dispositivos Explosivos Improvisados



Fuente: Kurdistan 24 (2017). Peshmerga defuse IS bomb between two oil wells in Kirkuk.



Fuente: Public Intelligence (2010). Afghan Taliban Munitions Photos.

En la Ley de Armas y Municiones de Guatemala, decreto 15-2009 se incluye definición y clasificación de explosivos, venta ilegal y tenencia que se encuentran legislados en los artículos 14, 105 y 112. Sin embargo, no existe una clasificación definida de los mismos ni se cuenta con medidas para prevenir pérdidas o desvíos durante su comercialización. El Informe de la Evaluación sobre el Control de las Drogas Guatemala 2014, realizado por la Comisión Interamericana para el Control del Abuso de Drogas (CICAD) de la Organización de los Estados Americanos, dice: *"Guatemala no tipifica como delito la fabricación ilícita de explosivos. El país no mantiene un sistema de licencias para la exportación y tránsito internacional de otros materiales relacionados con... explosivos. No cuenta con un registro de explosivos y otros materiales incautados..."*

a. Definiciones

Explosivo: se define como una sustancia ó mezcla de sustancias, capaz de producir una reacción química rápida, al ser inducida por fricción, impacto, choque, descargas eléctricas o calentamiento, además produce una gran cantidad de energía, en forma de luz, calor, gas, ondas sonoras y ejerce alta presión en los alrededores (Suárez, 2014).

Explosión: es una reacción energética que resulta de la rápida liberación de gas. La velocidad de la reacción determina las consecuencias destructivas. Explosivos orgánicos como el TNT son caracterizados por su alta velocidad de detonación. Estos son usualmente consumidos en su totalidad y raramente dejan trazas para el análisis químico forense (Fisher, 1998).

Dispositivos explosivos improvisados o artefactos explosivos hechizos: constan de las siguientes partes: un explosivo, un sistema de iniciación y un contenedor (funciona como medio de transporte, para ocultar y fragmentar el explosivo). Los métodos para iniciar los dispositivos explosivos hechizos pueden ser: 1) tiempo de retraso: al artefacto se incorpora un mecanismo de sincronización mecánico, eléctrico o químico. Una vez que el artefacto se ha colocado, este funcionará después que transcurra un período de tiempo; 2) operado por la víctima y 3) controlado por el atacante por un control remoto.

Las partes de un sistema de iniciación son: interruptor (temporizador), fuente de energía (baterías), circuitos, partes electrónicas, cables, fuente de llama (o de ignición para encender el explosivo –por ejemplo una resistencia-). Entre los componentes no eléctricos: residuos químicos, restos de fusibles quemados, cinta adhesiva (Fisher, 1998).

La mayoría de bombas son improvisadas y fabricadas contienen oxidantes inorgánicos tales como nitratos, cloratos, percloratos y combustibles como gasolina, diesel, azúcar, azufre y metales como aluminio y/o magnesio, liberando una excesiva cantidad de energía que generalmente ocasiona un incendio (Fisher, 1998).

Precusores de explosivos: son sustancias y mezclas que podrían ser utilizados en la fabricación ilícita de explosivos. Precursor de explosivos restringido es cualquiera de las sustancias recogidas en el Anexo I del Reglamento (UE) No 98/2013 (Peróxido de hidrógeno, nitrometano, ácido nítrico, clorato potásico, perclorato potásico, clorato sódico, perclorato sódico).

b. Clases explosivos

Los explosivos pueden clasificarse de acuerdo a diferentes características. Las características más representativas a considerar son composición física, química, potencia, sensibilidad y uso.

Por su composición química.

- Orgánicos, dentro de su estructura molecular incluyen Carbono, Nitrógeno, Oxígeno e Hidrógeno, unidos por enlaces covalentes, que les confiere propiedades fisicoquímicas características como ser insolubles en agua, a temperatura ambiente se pueden encontrar en estado líquido o gaseoso; en esta categoría se incluyen nitrohidrocarburos (R-NO₂), nitroaminas (R-NH-NO₂), por ejemplo **RDX** y ésteres nítricos (R-O-NO₂), por ejemplo **PETN** y nitroaromáticos como **TNT**.
- Inorgánicos, son mezclas de componentes que incluyen Nitrato de Potasio, Azufre, Carbono, Nitroglicerina, Clorato de Potasio, Nitrato Amónico, entre otros, presentes generalmente en los explosivos de baja potencia, como pólvora negra, pólvora sin humo, Pyrodex®, Triple seven®, Flash powder y mezclas pirotécnicas. Son directamente la carga del explosivo.
- Organometálicos: se usan como cebos o iniciadores de otros explosivos, su estructura es muy inestable con descomposición explosiva. Tienen carácter de detonantes y basta con un choque para su descomposición. Ejemplos: fulminato de mercurio (-N=C), azida de plomo (-N=N-) y algunos metales unidos a Carbono (M-C).

Potencia.

- Explosivos de alta potencia. Estos explosivos tienen una velocidad de detonación entre 5500 y 9500 m/s, y esta velocidad de detonación se utiliza para la clasificación de los diferentes explosivos. Las reacciones químicas que sufren estos explosivos son rápidas y detonan con una onda de choque de alta presión. Ejemplos de explosivos de alta potencia son el **TNT** (trinitrotolueno), **RDX** (ciclotrimetilentrinitramina), **NG** (nitroglicerina) y **HMX** (ciclotetrametilentrinitramina) (Suárez, 2014 y ATF, Guía E02 de explosivos).
- Explosivos de baja potencia. Incluyen sustancias como la pólvora negra, la pólvora sin humo, Pyrodex®, Triple Seven®, Flash Powder y mezclas pirotécnicas, los iniciadores o fulminantes utilizados en armas de fuego, son mezclas de químicos que normalmente deflagran, es decir se incendian rápidamente. Los explosivos de baja potencia generalmente tienen presentación en polvo. Estos explosivos sufren generalmente reacciones de óxido-reducción. Las

formulaciones típicamente consisten en un oxidante como el nitrato, clorato o perclorato, y un combustible como carbón, azúcar, dextrina, goma roja, o metales como aluminio o magnesio. Muchos explosivos débiles también poseen aditivos para varios propósitos, tales como azufre y trisulfato de antimonio (estibnita) que pueden agregarse a la fórmula para disminuir la temperatura de ignición o para hacer la composición más reactiva (Suárez, 2014).

Entre los componentes del Pyrodex® se encuentran Nitrato de Potasio, Perclorato de Potasio, Azufre, Benzoato de Sodio, Cianoguanidina y Carbono. Los componentes de Triple Seven® incluyen Nitrato de Potasio, Perclorato de Potasio, Benzoato de Sodio, cianoguanidina, Nitrobenzoato de sodio y Carbono (ATF, Guía E02 de explosivos).

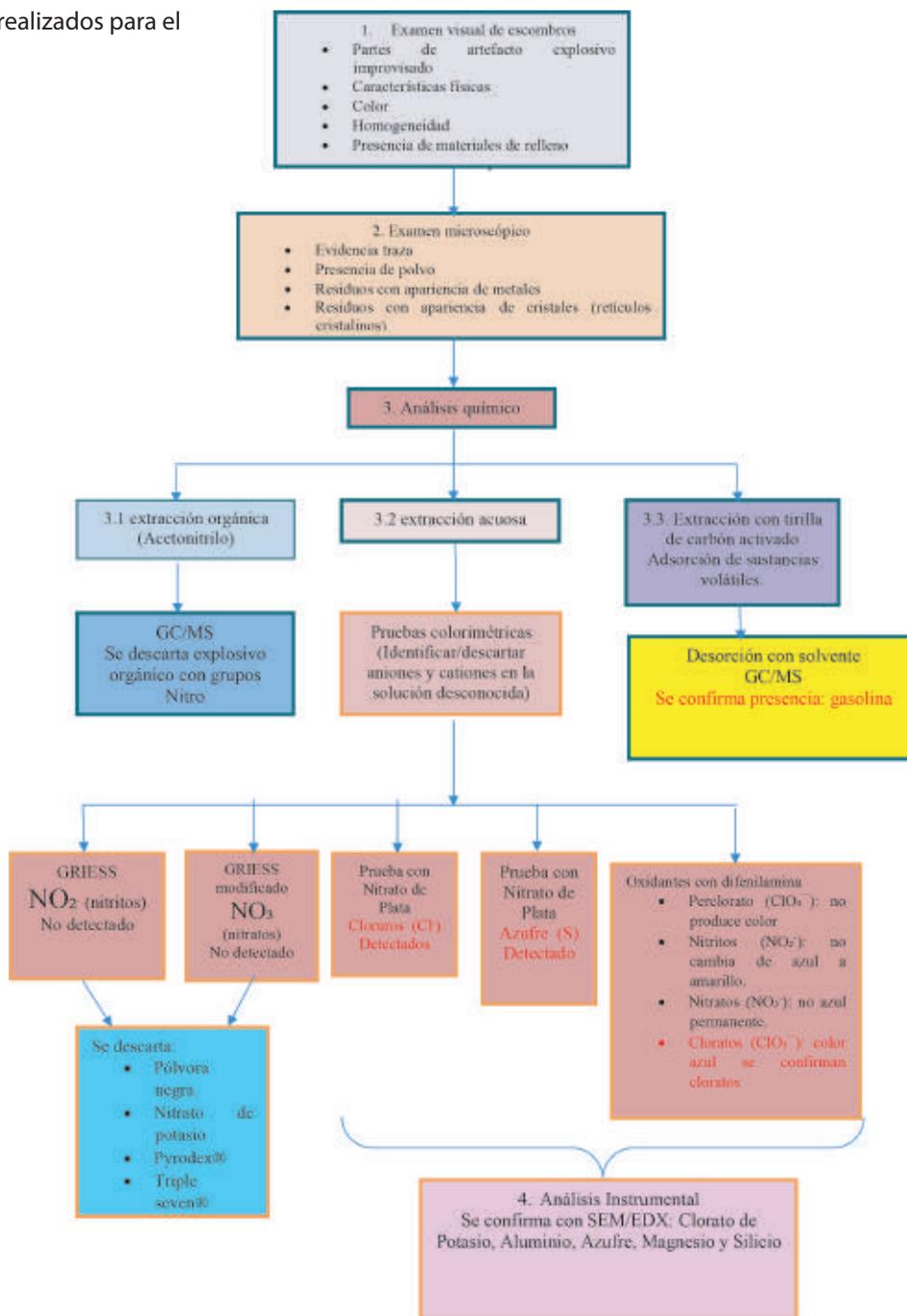
El polvo fotográfico o Flash Powder, produce luz y sonido, es una de las combinaciones de explosivos más peligrosas. Contiene metales particulados, mezclados con oxidantes fuertes. Por lo tanto es extremadamente susceptible a la ignición por chispas y puede detonar cuando está confinado. Cuando es detonado produce una luz brillante acompañada de un sonido fuerte. Los oxidantes incluyen perclorato de potasio, clorato de potasio y nitrato de bario. Metales como aluminio o magnesio son normalmente los combustibles. Como se mencionó anteriormente el azufre o el trisulfuro de aluminio pueden ser usados en algunas formulaciones para reducir la temperatura de ignición. La adición de azufre a una mezcla de clorato de potasio y aluminio cambiará de una composición de difícil ignición a una composición muy reactiva con una temperatura de ignición menor a 200°C. Posterior a la detonación de polvo fotográfico deja un residuo sólido que corresponde a óxidos y haluros. El perclorato de potasio produce clorato de potasio y este consecuentemente produce cloruro de potasio. También los metales producen óxidos de aluminio, espinela (óxido de magnesio o aluminio) y óxido de bario y aluminio (Fisher, 1998).

c. Análisis de explosivos

El procedimiento analítico a seguir en las evidencias remitidas al laboratorio, cuando se tienen antecedentes de una explosión, es necesario considerar los efectos que se tuvieron para orientar la búsqueda de la clase de explosivo que fue utilizado. Lo primero a realizar es una observación visual de las partes que pudieron formar el artefacto explosivo. Luego realizar análisis microscópicos en los escombros recibidos procedentes de la escena del crimen. Proceder a la realización de los análisis de clasificación química con pruebas presuntivas colorimétricas para identificar o descartar presencia de aniones y cationes en la muestra desconocida, con sus correspondientes controles positivos y negativos. Finalmente, corroborar a través de análisis instrumentales.

Figura No.1 Análisis de explosivos

El siguiente esquema muestra los pasos realizados para el análisis de explosivos, (ATF-LS-E17).



d. Marchas Analíticas

Las técnicas instrumentales han desplazado a las marchas analíticas para el análisis de explosivos. Sin embargo las marchas analíticas permiten una detección rápida y de bajo costo, siempre y cuando se cuente con suficiente muestra para hacer los ensayos (Fisher, 1998). Una ventaja de ésta técnica es que puede ser desarrollada en mezclas de explosivos y en residuos.

El análisis de explosivos empieza con una serie de pruebas presuntivas. Estas pruebas presuntivas generalmente involucran reacciones colorimétricas y necesitan el uso de blancos o controles negativos y controles positivos para

verificar los resultados. La ventaja es la rapidez y la desventaja es que no son específicas.

Los análisis para explosivos comprenden una combinación de técnicas como: Marchas Analíticas, Espectroscopía Infrarroja (IR o FTIR), Microscopio Electrónico de Barrido/Detector de Energía Dispersiva de Rayos X (SEM/EDX), Cromatografía Iónica (IC) entre otros. No existe un método que sea aplicable a todas las muestras de explosivos. El primer paso en el análisis, es examinar el material con un estereomicroscopio y luego decidir con qué método analítico hacer el análisis. La selección será determinada en base a la experiencia, la naturaleza del material en cuestión y requerimientos periciales.

e. SEM/EDX

Esta es una técnica no-destruktiva que puede identificar un amplio rango de elementos. La principal aplicación es la identificación de combustibles y explosivos que contienen dentro de su estructura grupos nitro, lo que complementado con el análisis de IR o de marchas analíticas, resulta en la identificación del explosivo. El análisis por SEM/EDX debe ser realizado antes que la muestra sea alterada por alguna técnica de extracción. (Fisher, 1998 y Manual Basic Knowledge for using the SEM. Jeol)

Equipo instrumental empleado en el Laboratorio de Físicoquímica

- Microscopio Electrónico de Barrido marca Jeol modelo JSM-6610 LV (**SEM/EDX**)
- Estéreo microscopio marca Leica Zoom 2000, modelo Z30L
- Fusiómetro marca Electrothermal Engineering modelo 9100
- Cromatógrafo de Gases 6890 acoplado a Espectrómetro de Masas 5973 Hewlett-Packard

MATERIALES Y REACTIVOS

Papel pH, tubos de ensayo, placas indentadas, Agua destilada, Etanol G.R. (grado reactivo), Difenilamina G.R., Ácido sulfúrico G.R., Nitrato de plata G.R., N-(-1-naphtil) etilendiamina G.R., Polvo de zinc G.R., Ácido sulfanílico G.R., Acetonitrilo G.R., Pentano G.R.

METODOLOGÍA

Análisis físico

Se determinaron las características físicas por medio de observación directa y observación con estereomicroscopio y microscopio: morfología, homogeneidad, tamaño aproximado de las partículas, presencia de marcadores característicos, características de los indicios analizados y material localizado en ellos.

Determinación de pH

Se disolvió una pequeña cantidad del material en agua destilada y se determinó el pH por medio de papel pH.

Prueba de Reacción de óxido-reducción en presencia de Ácido sulfúrico concentrado

Se colocó aproximadamente 10 mg de muestra en un tubo de ensayo, agregar ácido sulfúrico concentrado, se observó la reacción violenta de óxido-reducción producida, la cual se documentó.

Prueba Oxidantes (Difenilamina)

Se colocó la muestra y se agregó una gota de reactivo de difenilamina (incolore y transparente) en una placa indentada y se documentó el color.

Prueba Nitratos y Nitritos (Griess)

Se colocó la muestra, posteriormente se agregó una gota de reactivo de Griess (0.1 gramos de naftilamina, unos cristales de ácido sulfanílico y una pequeña cantidad de polvo de zinc en 100 mL de metanol) en una placa indentada y se documentó el color.

Prueba Cloruros (Nitrato de plata)

Preparación del reactivo: Se disolvieron 5 gramos de nitrato de plata en 100 mL de agua destilada.

Se colocó una gota de reactivo de nitrato de plata (incolore y transparente) en un tubo de ensayo, posteriormente se colocó la muestra y se documentó el color. Al aparecer un precipitado negro se añadió ácido nítrico y se calentó hasta su desaparición. (Meyer, 1978 y ATF-LS-E17)

Análisis Elemental por SEM/EDX

Se tomó una muestra del material analizado contenido en los indicios, con dispositivo adhesivo; fue sometido a análisis por medio de Microscopía Electrónica de Barrido

Análisis de combustibles o inflamables por GC/MS

Se colocó una tirilla de carbón activado (adsorbente) a los indicios analizados por un período de 48 horas, por medio de la técnica adsorción/elución fueron extraídos los componentes volátiles (hidrocarburos) con el fin de determinar presencia de gasolina, diesel o queroseno (ASTM E 1618-06).

RESULTADOS

Tabla 1. Análisis realizados para identificación de Clorato de potasio (precursor –Reglamento (UE) 98/2013-)

Descripción	pH	Punto de Fusión	Prueba de para oxidantes (Difenilamina)	Prueba para cloruros (Nitrato de plata)	Composición elemental SEM/EDX
Material sólido beige (Indicio)	6	368°C	Prueba Positiva: Coloración azul	Prueba Positiva cloruros: Precipitado blanco	Potasio (K), Cloro (Cl), Oxígeno (O),
Clorato de potasio* Material sólido blanco o beige	6	368°C	Prueba Positiva: Coloración azul	Prueba Positiva cloruros: Precipitado blanco	Potasio (K), Cloro (Cl), Oxígeno (O),

Fuente: Hoja de Seguridad Clorato de Potasio Escuela de Química, Universidad Nacional de Costa Rica

Tabla 2. Análisis realizados para identificación de Polvo fotográfico (Flash Powder -mezcla de explosivo inorgánico de baja potencia-)

Descripción	pH	Reacción de óxido-reducción en presencia de Ácido Sulfúrico Concentrado	Prueba de para oxidantes (Difenilamina)	Prueba para nitritos y nitratos (Griess)	Prueba para cloruros y azufre (Nitrato de plata)	Composición elemental SEM/EDX
Polvo gris, con fragmentos metálicos de color gris brillante	6	Reacción de combustión violenta y rápida, con emisión de luz, calor, humo, llama púrpura	Prueba Positiva: Coloración azul	Prueba Negativa: Sin coloración	Prueba positiva cloruros: Precipitado blanco. Prueba positiva: azufre Precipitado negro	Potasio (K), Cloro (Cl), Oxígeno (O), Aluminio(Al), Azufre (S), Magnesio (Mg), Silicio (Si)
Flash Powder* Polvo gris, con fragmentos metálicos de color gris brillante	6	Reacción de combustión violenta y rápida, con emisión de luz, calor, humo, llama púrpura	Prueba Positiva: Coloración azul	Prueba Negativa: Sin coloración	Prueba positiva cloruros: Precipitado blanco. Prueba positiva: azufre Precipitado negro	Potasio (K), Cloro (Cl), Oxígeno (O), Aluminio(Al), Azufre (S), Magnesio (Mg), Silicio (Si)

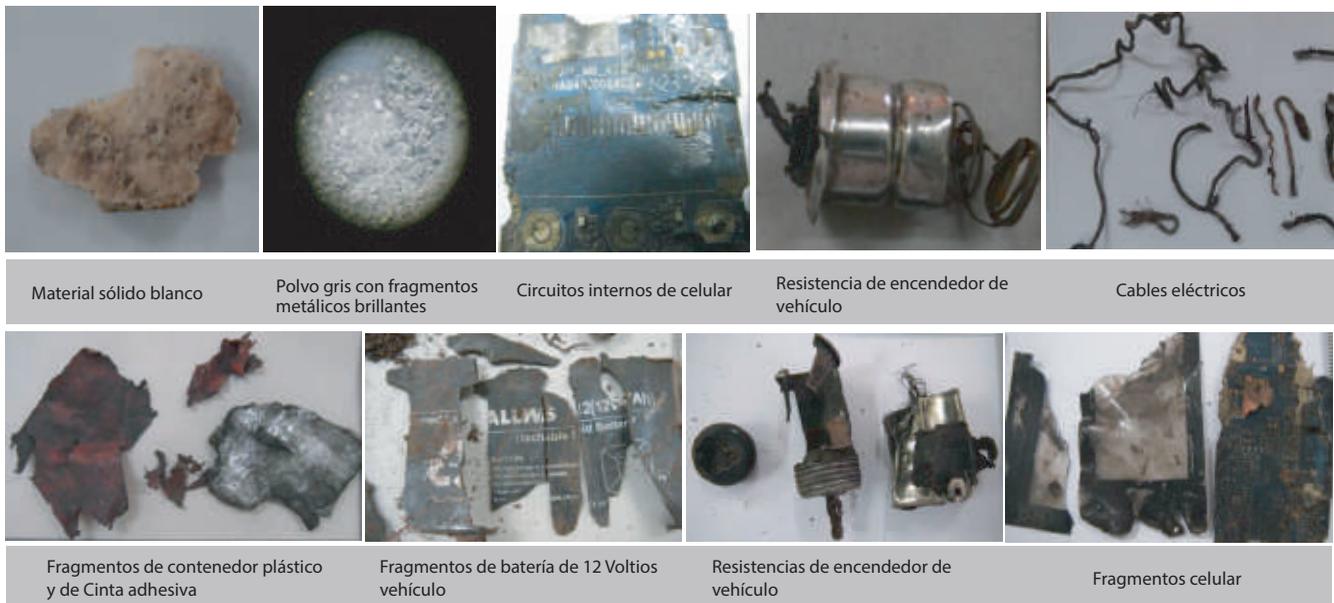
Fuente: (Fisher, 1998)

Tabla 3. Análisis realizados a escombros remitidos de escena cerrada de explosión

Partes de un dispositivo explosivo hecho	Descripción física de los indicios localizados Fragmentos de:	Combustibles o inflamables GC/MS	Prueba para nitritos y nitratos (Griess)	Composición elemental SEM/EDX
1. Explosivo 2. Sistema de Iniciación: <ul style="list-style-type: none"> • Interruptor o temporizador • Fuente de energía • Circuitos • Partes electrónicas • Cables • Fuente de ignición • Cintas adhesivas 3. Contenedor	1. Explosivo ND 2. Sistema de Iniciación: <ul style="list-style-type: none"> • Interruptor o temporizador ND • Batería 12 voltios • Teléfono celular con sus circuitos internos • Cables eléctricos flexibles de color blanco con hilos de cobre • Resistencia de encendedor de vehículo • Cinta adhesiva transparente 3. Contenedor de plástico 4. 92 fragmentos de prendas de vestir y prendas de vestir	GASOLINA	Prueba Negativa: Sin coloración	No detectados (para explosivos inorgánicos)

Imagen 2

Indicios recolectados para análisis provenientes de escombros de escena cerrada de explosión



Fuente: autoría propia.

CONCLUSIONES

El material sólido beige fue analizado con pruebas presuntivas para oxidantes y cloruros, se determinó la composición química elemental: cloro, oxígeno y potasio. Se determinó el punto de fusión del material; se detectó presencia de Clorato de potasio. Se encuentra clasificado como Precursor de explosivos.

En el polvo gris con fragmentos metálicos diminutos de color gris brillante, se detectó una mezcla de varios componentes, con un resultado positivo para oxidantes, azufre y cloruros, se determinó la composición química elemental: cloro, oxígeno, potasio, aluminio, azufre, magnesio y silicio. La mezcla de clorato de potasio, Aluminio, azufre y magnesio es compatible con Polvo Fotográfico o Flash powder, explosivo inorgánico, consistente en una mezcla peligrosa por contener un agente oxidante: clorato de potasio, combustibles: los metales de aluminio y magnesio y el azufre que disminuye la temperatura de ignición.

En los indicios analizados procedentes de escombros de escena de explosión en un ambiente cerrado, se localizaron fragmentos de las partes de un artefacto explosivo hecho, entre las cuales se pueden mencionar: un Sistema de Iniciación en el que se observó una batería (fuente de energía), circuitos y partes electrónicas de un teléfono celular, fragmentos de cables eléctricos flexibles de color blanco como material aislante e hilos de cobre como conductor, dos resistencias de encendedor de vehículo (fuente de ignición) y cintas adhesivas. También se localizaron fragmentos del contenedor plástico de color rojo.

En el 82% de los indicios analizados procedentes de escombros de escena de explosión en un ambiente cerrado, se detectaron los hidrocarburos componentes de la Gasolina (utilizada como combustible en el artefacto explosivo hecho).

M.A. Brenda Jeannett Tello López de García

Laboratorio de Físicoquímica
Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala –INACIF-
brendytello@yahoo.com

BIBLIOGRAFÍA

ASTM International. Designation E 1618-06. Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from fire debris samples by Gas Chromatography-Mass Spectrometry. U.S.A. (2006).

ATF Forensic Science Laboratories. Bureau of Alcohol, Tobacco and Firearms and Explosives Laboratory Services Policies and Procedures Guidelines E02 Explosives Sections. ATF-LS-E17 Spot Tests. U.S.A. (2018). Recuperado de www.atf.gov/file/127876/

Fisher, B. (1998) Forensic Investigation of Explosions. Nueva York, U.S.A. CRC Press

Hoja de Seguridad Clorato de Potasio MSDS Escuela de Química Universidad Nacional Heredia Costa Rica. Recuperado de www.quimica.una.ac.cr/index.php/13-hojas-de-seguridad/clorato-de-potasio

Kurdistan 24. (9 de Junio de 2017). Kurdistan 24. Recuperado el 20 de Julio de 2019, de <https://www.kurdistan24.net/en/news/1c711fc5-4779-44f1-8bf8-e7f844b22b3c>

Ley de armas y municiones de Guatemala. Decreto 15-2009.

Meyer, R.E. (1978) A Systematic Approach to the Forensic Examination of Flash Powders, *Journal of Forensic Sciences* 23.1 (1978): 66-73.

Organización de Los Estados Americanos Comisión Interamericana para el Control del Abuso de Drogas (CICAD). Informe de Evaluación sobre el Control de las Drogas Guatemala (2014). Mecanismo de Evaluación Multilateral (MEM). Pp 26, 32. Recuperado de [www.cicad.oas.org/mem/reports/6/full-eval/Guatemala-Sex ta ronda de Evaluación-Esp.pdf](http://www.cicad.oas.org/mem/reports/6/full-eval/Guatemala-Sex%20ta%20ronda%20de%20Evaluaci%C3%B3n-Esp.pdf).

Public Intelligence. (3 de Agosto de 2010). Public Intelligence. Recuperado el 20 de Julio de 2019, de <https://publicintelligence.net/afghan-taliban-munitions-photos/>

Reglamento del parlamento europeo, Anexo I. Precursores de Explosivos. UE 98/2013.

Scanning Electron Microscope A to Z. Basic Knowledge for using the SEM. JEOL.

Suárez, B. (2014) Guía de análisis forense post-explosión para explosivos de baja potencia. Tesis para obtener el título de Químico Farmacéutico Biólogo. Universidad Autónoma de México, México.