



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**ANÁLISIS QUÍMICO FORENSE
DE SUSTANCIAS INFLAMABLES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO

P R E S E N T A:

JULIETA MERCEDES QUIROZ DEL ROSARIO



MÉXICO, D.F.

2014

DEDICATORIAS

A mi plantel universitario, la Facultad de Estudios Superiores “Zaragoza” porque durante 5 años fue mi segunda casa y testigo de aventuras, de momentos difíciles, de conocimientos adquiridos y de amistades forjadas.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores que me apoyaron en la elaboración y revisión del presente trabajo, Valentín Islas, Teresa Mendoza, Víctor Becerra, Miriam Hinojosa y Rocío Galicia.

A Irene, Jorge, Fernando y Alma por el apoyo económico brindado durante mis estudios universitarios.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, la “máxima casa de estudios”, por brindarme junto con el personal docente los conocimientos no sólo académicos sino de vida.

A mi familia porque me dieron el impulso para aspirar a lo más alto.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. MARCO TEÓRICO	5
1. INCENDIO.....	5
1.1 La Química del Fuego.....	5
1.2. Causas de incendios	7
1.3. Consecuencias del fuego.....	13
1.4. Productos derivados de la combustión.....	14
1.5. Clasificación de los incendios.....	17
2. SUSTANCIAS INFLAMABLES.....	17
2.1. Sustancias inflamables	17
2.2. Sustancias combustibles.....	19
2.3. Sustancias explosivas.....	20
2.4. Comburente.....	20
2.5. Materiales de construcción	21
3. ACELERANTES.....	22
3.1. Definición	22
3.2. Características químicas.....	23
3.3. Clasificación	24
3.4. Acelerantes en incendios provocados	24
4. INVESTIGACIÓN FORENSE DEL INCENDIO	28
4.1. Incendio provocado.....	31
5. ASPECTOS CRIMINALÍSTICOS EN LA INVESTIGACIÓN DE UN INCENDIO	31
5.1. Análisis del lugar de los hechos.....	31
5.2. Toma y Preservación de indicios de incendios	35
5.3. Recolección y embalaje de indicios	37
5.4. Transporte y almacenamiento de indicios.....	39
5.5. Cadena de custodia	40
6. ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE LAS MUESTRAS.....	41
6.1. Pruebas preliminares o presuntivas.....	41
6.2. Pruebas confirmatorias.....	42
III. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	49
IV. OBJETIVO GENERAL	50
V. METODOLOGÍA	51
VI. RESULTADOS.....	52
VII. DISCUSIÓN.....	55
VIII.CONCLUSIÓN	58
IX. REFERENCIAS	59

RESUMEN

El presente trabajo aborda el tema de los incendios desde una perspectiva de la química forense. El trabajo abarca los incendios accidentales o provocados y la revisión de las causas que lo producen haciendo énfasis en los productos o sustancias químicas involucradas. Se revisan aspectos criminalísticos relacionados en la investigación de un incendio, desde la identificación, recolección y embalaje de indicios, hasta su análisis de laboratorio, resaltando la cadena de custodia de los mismos. Finalmente, se lleva a cabo una revisión monográfica de las sustancias inflamables abarcando sus propiedades químicas y físicas, así como, los métodos para su determinación con fines forenses. Se realiza una búsqueda y selección bibliográfica exhaustiva con el fin de proporcionar información confiable para las personas interesadas en este tema.

I. INTRODUCCIÓN

La ciudad de México D. F. considerada la tercer ciudad más grande del mundo, cuenta con una área geográfica de 1,485 kilómetros cuadrados, donde existen casas habitación elaboradas con diferentes materiales y diferentes calidades de construcción, edificios de oficinas, centros corporativos, una gran variedad de empresas, industrias, fábricas, comercios, mercados, centros comerciales, talleres, laboratorios, escuelas, zonas boscosas, diferentes medios de transportes y una población de aproximadamente 8 millones de habitantes, en el año 2012.

Según estadísticas de la Procuraduría General de Justicia del Distrito Federal, se presentan 1.7 eventos al día, ya sea por incendio, explosión o explosivos ⁽¹⁾; además de acuerdo a las estadísticas del Departamento de Bomberos se presenta un promedio de 3 a 4 incendios por mes y en el mes de Diciembre tiende a duplicarse. ⁽²⁾

Todas esas características hacen de la ciudad de México, un campo tan amplio en la investigación criminalística por la cantidad de sucesos y desastres que pueden ocurrir como consecuencia.

En los últimos 13 años, en México han ocurrido diversos incendios, en los cuales ha sido necesaria la participación de peritos de diversas categorías para determinar la causa principal del incendio, los participantes y los materiales utilizados:

- Discoteca Lobohombo ⁽³⁾

La madrugada del 20 de octubre del 2000, un corto circuito provocó un incendio que consumió una de las discotecas más modernas de América Latina. La Coordinación de Servicios Periciales de la PGJDF concluyó, que el siniestro se originó a consecuencia del sobrecalentamiento interno de los conductores eléctricos de distribución de aire, lo que provocó cortos circuitos múltiples en la cabina de controles de iluminación, ubicada en la parte alta del centro nocturno.

Las llamas, que alcanzaron la decoración -hecha de material altamente inflamable- se propagaron de manera instantánea. Minutos después se colapsó el techo fabricado con estructura metálica y lámina acanalada. Las personas que se encontraban en el lugar quedaron atrapadas. Algunas de ellas intentaron salir por la puerta de emergencia, pero ésta se encontraba bloqueada. El resultado fue de 19 personas calcinadas y tres más que murieron en el hospital.

- Guardería ABC ⁽⁴⁾

El incendio de la Guardería ABC ocurrió el 5 de junio de 2009 en Hermosillo, Sonora. La estancia infantil privada funcionaba por el modelo de subrogación por el Instituto Mexicano del Seguro Social. En el incendio fallecieron 49 niños y 76 resultaron heridos, todos de entre cinco meses y cinco años de edad. El incendio se inició en una bodega de archivos del Estado de Sonora.

El incendio ocurrió cuando se sobrecalentó un sistema de enfriamiento y se fundió el aluminio del motor del sistema, lo que provocó que fragmentos en llamas cayeran sobre lo archivado. El incendio se generalizó en la bodega y se propagó a la estancia infantil, en la que se encontraban 176 niños resguardados y aproximadamente 50 empleados. Las llamas fundieron el poliestireno aislante del techo de la guardería, y el fuego, así como vapores tóxicos, invadieron el área.

La falta de detectores de humo, extintores y salidas de emergencia adecuadas, así como la rapidez del incendio por los materiales inflamables con la que se construyó la bodega, provocaron los fallecimientos de los infantes, la mayoría por asfixia.

- Coppel hidalgo ⁽⁵⁾

El 10 de noviembre del 2010 seis trabajadoras de la empresa Coppel murieron en un incendio ocurrido, en el centro de esta capital. La conflagración se inició alrededor de las 21:50 horas del martes y fue controlada 13 horas después por decenas de bomberos de tres municipios y elementos de Protección Civil. Las empleadas realizaban un inventario en la planta alta del inmueble, donde todos los accesos estaban cerrados con candados. Al parecer el fuego se debió a un cortocircuito y se propagó rápidamente en el primer piso, donde consumió llantas, muebles, ropa y artículos de plástico, informó personal de Protección Civil. La Coordinación de Servicios Periciales de la Procuraduría informó que las seis empleadas murieron por asfixia y los cuerpos de tres quedaron calcinados.

- Casino Royale ⁽⁶⁾

El 25 de agosto del 2011, en Monterrey, Nuevo León, un incendio provocado por un comando delictivo acabó con la vida de 52 personas. De acuerdo a las investigaciones el inmueble fue incendiado tras rociar la mayoría de las máquinas y la alfombra del lugar con gasolina. Algunas personas lograron escapar por las puertas principales y por la parte trasera con ayuda de algunas

cuerdas. Sin embargo, las llamas se esparcieron demasiado rápido acabando con la vida de las víctimas.

Según estadísticas internacionales los incendios urbanos se declaran en horarios entre las 22:00 y las 6:00 horas, lo cual hace que cobren más vidas, ya que la mayoría de sus habitantes están dormidos y consecuentemente no están conscientes de su entorno ni de los acontecimientos que podrán ocurrir.

Las causas que provocan directamente más muertes son ⁽⁷⁾:

- 62.4 por ciento Asfixia- inhalación de humo
- 26.0 por ciento Quemaduras
- 10.7 por ciento Lesiones traumáticas
- 0.6 por ciento Enfermedades críticas (ataques al corazón)
- 0.3 por ciento Otras causas

Si bien es cierto, que mayoritariamente los incendios son de tipo accidental, en los incendios intencionales, es decir, aquellos cuya finalidad es una quema maliciosa de inmuebles o documentos, o en el peor de los casos, para destrucción de un cadáver y ocultamiento de pruebas; es donde interesa y adquiere importancia la química forense.

La aplicación del presente trabajo es abarcar temas desde el estudio del lugar de los hechos, donde el perito debe llevar a cabo una investigación exhaustiva y recolectar evidencia física en los restos del incendio e identificarlas para apoyar su hipótesis, hasta el análisis instrumental de las muestras llevado a cabo por químicos forenses para la identificación de líquidos inflamables causantes del incendio, entre las que destacan la cromatografía de gases y de líquidos, para coadyuvar con el perito en incendios y así poder determinar si el fuego fue deliberado y/o existió una sustancia inflamable utilizada como acelerante.

II. MARCO TEÓRICO

1. INCENDIO

1.1 La Química del Fuego

Para que el fuego se produzca necesita los siguientes tres componentes ⁽⁸⁾, ilustrados en la figura 1:

- Calor (fuente de ignición): cuando se produzca de manera suficiente para lograr vaporizar parte del combustible (si es sólido o líquido) e inflamar el vapor una vez mezclado con el oxígeno. Para que la ignición se sostenga, el fuego debe crear bastante temperatura para vaporizar más combustible que a su vez se combina con el oxígeno y se inflama, originando más calor y repitiendo el proceso.
- Oxígeno: se encuentra en la atmósfera circundante en una porción aproximada del 21 por ciento, suficiente para sostener la combustión.
- Combustible: son todas aquellas sustancias formadas principalmente por carbono e hidrógeno (sólidas, líquidas o gaseosas), que no han alcanzado su máximo estado de oxidación (madera, textiles, plásticos y derivados del petróleo, etc.).

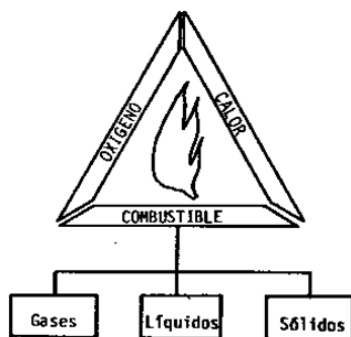


Fig. 1. Triángulo del fuego.

La mayoría de los inmuebles residenciales, comerciales e industriales engloban materiales combustibles en cantidad suficiente para mantener el fuego. La combinación en un edificio del contenido y los materiales de acabado inflamable constituye lo que se denomina “carga de fuego”.

Un fuego se esparce desde el punto de origen si existe suficiente combustible y oxígeno. La difusión se genera mediante un simple mecanismo: la transmisión de calor a los combustibles del lugar.

Por el camino que sigue el fuego y las señales que deja tras de sí se determina si la expansión fue natural o si hubo intervención humana.

El calor se traslada desde el fuego a los combustibles por tres medios, ilustrados en la figura 2:

- Convección: Es la transmisión del calor a través del movimiento del humo, gases, aire y partículas calientes. Al descender el aire, el humo y los gases llevan partículas ardientes lejos del incendio.
- Conducción: Es la transferencia de temperatura por medio de un sólido. Los objetos metálicos como vigas, librerías, clavos y cables son excelentes transmisores de calor.
- Radiación: Es la transmisión de temperatura a través de ondas invisibles que se difunden por el espacio al igual que la luz. Estas ondas o radiaciones se mueven por el aire y no se ven afectadas por este, penetran las superficies transparentes y traslúcidas incluyendo el cristal y el agua.

El paso del fuego a través de los combustibles deja rastros y huellas visibles que son denominadas marcas de fuego. Hay dos tipos de marcas de fuego: las producidas por el movimiento y las generadas por la intensidad. Las marcas producidas por el movimiento permiten determinar la dinámica del incendio, en cambio las marcas de intensidad son la respuesta de los materiales a los efectos de la exposición al calor, produciendo líneas de demarcación que determinan las características y cantidades de los materiales combustibles y la dirección de la propagación del fuego.

Con estas evidencias se puede llegar a establecer duración, intensidad, vectores de expansión, efectos, posiciones de objetos y personas, etc.⁽⁹⁾

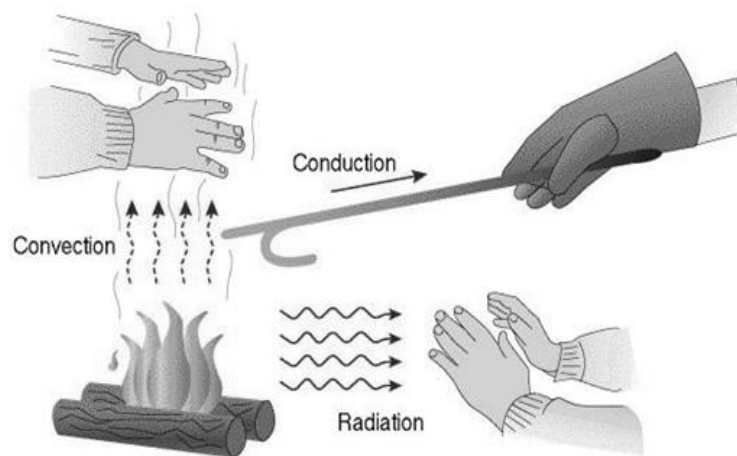


Fig. 2. Formas de propagación de calor.

1.2. Causas de incendios

En la ciudad de México las causas que mayoritariamente provocan los incendios son ⁽¹⁰⁾:

- Causas naturales, rayos y sol
- Descuidos
- Instalaciones eléctricas sobrecargadas
- Manejo inadecuado de flamas abiertas
- Superficies calientes
- Cigarros y cerillos usados en áreas prohibidas
- El uso de líquidos inflamables para limpieza
- Almacenamiento y manejo inadecuado de líquidos inflamables, líquidos combustibles y gaseosos
- Almacenamiento de cilindros con gases, como: oxígeno, acetileno, entre otros
- Fallas eléctricas
- Combustión espontánea por exceso de basura y desorden

De acuerdo a la información que nos proporciona la N.F.P.A. (National Fire Protection Association), de cada 100 incendios en zonas urbanas de EU ⁽⁷⁾:

- 63.5 por ciento Casa-habitación de dos familias
- 22.1 por ciento Casa-habitación de una sola familia (Fig. 3)
- 3.0 por ciento Hoteles y moteles
- 3.0 por ciento Edificios industriales y/o oficinas
- 4.1 por ciento Comercios y/o usos mixtos de vivienda
- 4.3 por ciento Otros edificios



Fig. 3. Incendio en casa-habitación.

Los factores que determinan el comienzo de un incendio se pueden clasificar en ⁽¹¹⁾:

- a) Casualidad: cuando responden a fenómenos en los que el hombre no interviene para nada.
- b) Imprevisión: cuando la imprudencia, la negligencia, la incapacidad o la omisión de las reglamentaciones hacen que se ocasione un incendio.
- c) Intencional: cuando no sólo es el hombre el que interviene, sino que éste lo hace deliberadamente.

Cuando el incendio se inicia por casualidad, los fenómenos a los que se puede atribuir son los siguientes:

- **Combustión espontánea**⁽⁹⁾

Se designa combustión espontánea a todo proceso ígneo en el que no haya mediado la intervención de un agente calórico (chispa, llama). En su lugar se produce una elevación de la temperatura que da como resultado la aparición de fuego.

Para que este proceso tenga lugar, el carbono (presente en las materias combustibles) se combinará con el oxígeno, produciendo en forma lenta una oxidación que generará calor, hasta llegar a la combustión. El desarrollo del proceso se favorece porque el calor no es irradiado sino conservado.

Las bacterias termógenas, las cuales se producen aceleradamente para posibilitar la descomposición del vegetal, destruyen la parte húmeda del vegetal. Esto no genera incendios, pero permite la elaboración de sustancias muy oxidables.

Los lugares cerrados, como los depósitos con escasa ventilación, según los materiales que almacenen, son propensos a este tipo de combustión.

La acumulación de trapos o estopa, en algunos casos impregnados con aceite, y la falta de aire que permite la concentración del calor, pueden llevar rápidamente a la autocombustión.

Por lo tanto, se puede afirmar que los factores básicos que favorecen la combustión espontánea son: una determinada humedad, escasa ventilación, un recalentamiento inicial y que la temperatura producida no sea irradiada sino conservada.

- **La electricidad**^(9, 14)

La electricidad es una fuente térmica abundante y, por tanto, uno de los factores más comunes en la producción de incendios.

El uso de este flujo como factor energético abarca casi todos los aspectos de la vida humana, desde el aporte luminoso de las lámparas eléctricas hasta su aprovechamiento en la industria, a través de máquinas, la fuerza motriz, etc.

Pero su empleo ilimitado también tiene consecuencias negativas: sobrecarga de cables o de equipo eléctrico, mal contacto, arcos eléctricos, falla en el funcionamiento de los dispositivos de seguridad, y errores humanos (por ejemplo, estufas y calentadores eléctricos cubiertos por cortinas); lo anterior sumado a incumplimiento de reglas de seguridad, instalaciones demasiado

viejas y que no se renueve el material en prevención de accidentes, son factores que van a influir en la posibilidad de un incendio.

Dejando aparte los incidentes casuales, los materiales conductores conectados a los aparatos electrónicos se calientan cuando fluye la corriente y a través de ellos transmiten ese calor a los materiales aislantes. Éstos se vuelven frágiles con el tiempo, hasta el punto en que cuando se manipulan los aparatos se pueden quebrar.

En estas circunstancias es posible que en un determinado lugar el cable que lleva la carga esté en contacto con el cable neutro o de tierra y ocurra un cortocircuito que provoque un incendio en cualquier vivienda, fábrica, industria, depósito, etc., debido al enorme calor que llega a generar.

- **El gas** ⁽⁹⁾

El gas como producto industrial data de fines del siglo XVIII y principios del siglo XIX, iniciando la destilación seca del carbón de piedra (hulla). El gas obtenido fue utilizado como combustible para el alumbrado.

Recién a mediados del siglo XIX se empezó a usar como medio para la cocción de los alimentos y, ya hacia 1890, los aparatos domésticos que consumían este gas se diferenciaban muy poco de los que conocemos actualmente.

Este gas se siguió aplicando como combustible, para la iluminación, la cocción, el calentamiento del agua para el baño y la calefacción, debido a su bajo costo y a la facilidad de su empleo. Posteriormente, surgió el denominado gas natural, que era obtenido originariamente en las cercanías de los pozos petroleros y que reemplazó al manufacturado, que a veces suele emplearse solamente para enriquecerlo.

El gas natural o gas metano es un producto que se formó en épocas geológicas anteriores de manera paralela al petróleo. Los riesgos de éste y otros gases licuados del petróleo son el envenenamiento por inhalación de óxido de carbono, peligros de incendio y explosiones. Pero para que estos riesgos existan es preciso que se produzca una fuga del gas cuando se instaló en la vivienda, negocio, fábrica, etc.

La característica principal de este gas es la ausencia de olor por eso las compañías de gas proceden a odorizarlos agregándoles otros gases no tóxicos como etil mercaptano o ácido sulfhídrico (gas) ^(12,13), a niveles muy bajos pero lo suficientemente penetrantes como para que el olfato los pueda detectar.

Cuando se produce una fuga de gas, éste se difunde rápidamente por el ambiente y, al mezclarse con el aire, da lugar a una combinación altamente explosiva. Una simple chispa, como prender una lámpara o pulsar el timbre, puede hacer que esta mezcla de aire y gas provoque una tremenda explosión, seguida de un incendio que, en principio, tal vez no sea muy intenso pero que luego, al ser alimentado por el mismo gas, puede adquirir gran magnitud.

- **El rayo** ^(14,15)

El rayo es sencillamente una chispa, que se produce cuando las cargas eléctricas encerradas en una nube se trasladan a otra o hacia la Tierra. La mayor parte de la carga se “condensa” en el interior de una nube tormentosa, en donde turbulentas corrientes de aire impulsan hacia arriba y hacia abajo, a vertiginosas velocidades, las gotas de agua y cristales de hielo, que se agitan por doquier.

El rayo busca las partes más altas para descender, si no tropieza con un pararrayos, en su descarga produce daños en chimeneas, tanques de agua, árboles u otras partes altas.

En su paso produce la fusión de los metales, que según los lugares a veces se asemejan a “soldaduras”, en tanto que la mampostería presenta vitrificación, y la superficie de los ladrillos queda como si fuese cerámica. Otra particularidad de los metales es que el contacto con el rayo los magnetiza.

El impacto de esta corriente eléctrica tan elevada con una persona, por lo general, le ocasiona la muerte.

Un relámpago puede también dañar el aislamiento de las redes eléctricas de los edificios y originar un cortocircuito que cause el incendio.

Cuando el inicio del fuego es intencional, se puede deber a alguno de los siguientes motivos:

- **Alteración de evidencias en caso de Homicidio**

El incendio después de un homicidio, representa al criminal una doble ventaja: retrasa la identificación de la víctima, cuyas facciones y vestidos son destruidos por el fuego, y, al mismo tiempo, altera profundamente o hace desaparecer la prueba misma del crimen.

No obstante, en el incendio de un inmueble, la identificación del cadáver no suele presentar problemas: casi siempre se trata de uno de los habitantes de la casa. Generalmente, se puede comprobar la identidad de la víctima con las particularidades de la dentadura. Pero a menudo, la combustión es sólo superficial y las partes del cuerpo en contacto con el suelo han quedado

protegidas de las llamas y el calor. Entonces, se puede realizar la identificación por las huellas dactilares, los tatuajes, las cicatrices e incluso, las señas particulares.

Un punto muy importante es saber si la víctima se encontraba viva en el momento de iniciarse el incendio. La posición del cadáver al ser descubierto proporciona una indicación interesante. Si la víctima intento huir de las llamas y salir al aire libre, el cuerpo se encontrará situado en dirección a una salida o a una abertura de aire. Se debe considerar sospechosa la actitud de una persona que permanezca dormida y muera por asfixia sin poder reaccionar.

Sin embargo, la autopsia permite establecer la causa de la muerte mediante el diagnóstico médico. La mejor prueba de que la víctima vivía en el momento del incendio es la presencia de monóxido de carbono en la sangre y partículas de hollín en la tráquea y los bronquios.

Las fracturas óseas se reconocen fácilmente en la autopsia. Hacen pensar en un crimen, si el lugar en que ha sido descubierto el cuerpo excluye la hipótesis de heridas accidentales por la caída de vigas, hundimiento de la caja de la escalera, derrumbamiento de paredes, etc.

Los homicidios por arma de fuego se descubren fácilmente a pesar del incendio, y la bala extraída del cuerpo de la víctima podrá identificarse sin ninguna dificultad. Los homicidios por instrumentos cortantes se descubren gracias a las hemorragias.

- **Robo**

La violencia practicada en las entradas no constituye una prueba absoluta de robo. Indica simplemente que una persona extraña a la casa ha querido penetrar en ella, y lo mismo puede ser indicio de un robo, que de un incendio criminal provocado por un extraño.

La prueba del robo hay que buscarla más bien en el estado de muebles, cajas y cofres, y en la dispersión de los objetos que contenían, lo cual revela que el local fue registrado antes del incendio.

- **Malversación de dinero**

Los empleados logran durante algún tiempo ocultar los robos de dinero pero llega un momento en el cual, tienen que desaparecer la prueba material de sus desfalcos. La destrucción por fuego es evidentemente una buena solución, siempre y cuando no se sospeche del origen criminal del incendio.

Aunque es fácil encender una hoja de papel es, por el contrario, muy difícil quemar libros, y la destrucción de estos es siempre bastante aleatoria. Aunque el delincuente se tome el trabajo de

abrir los libros, rociarlos con gasolina o colocar entre las hojas algodones empapados de líquidos inflamables, quemará ciertamente algunas hojas, pero la combustión se detendrá rápidamente.

Los libros de contabilidad se encontrarán parcialmente quemados en el mismo lugar y en la misma posición en que los dejara el incendiario, y su descubrimiento en condiciones anormales no dejará de llamar la atención al investigador.

- **Motivos económicos**

Los fraudes son más o menos complicados, organizados en general por “manos blancas”, destinadas a hacer creer que el siniestro fue cometido por un delincuente contra la propiedad o que es accidental.

El beneficio se logra, en la mayoría de los casos, mediante una póliza de seguro contra incendios, en otros, se trata de burlar las disposiciones legales (destruir un edificio protegido para construir después otro nuevo), o con el fin de mejorar circunstancias personales (quemar el propio domicilio para ser realojado en otro mejor). Cuanto más grande sea su desastre financiero, mayor es la probabilidad de que ocasione la quema del mismo.

- **Piromanía**

El pirómano se ve movilizado psicodinámicamente (su acto de conducta es siempre un acto con sentido y con finalidad, con independencia de que posea, o no, conocimiento de estos), por motivaciones de fuerte tensión libidinal (placentera). La simbología sexual del fuego fue interpretada psicodinámicamente por Freud, como el símbolo en sueños de las pasiones y emociones.

La piromanía es una de las categorías que forman parte de los trastornos del control de impulsos, cuya sintomatología consiste en:

- a) Deseo o tentación de llevar a cabo algún acto dañino para el propio individuo o para los demás.
- b) Fracaso en resistir el impulso. Puede existir o no una resistencia consciente a ese impulso.
- c) El acto puede ser premeditado y planificado, o por el contrario espontáneo.
- d) Sensación creciente de tensión o de activación antes de llevar a cabo el acto.
- e) Experiencia de placer, gratificación o liberación en el momento de consumir el acto.

- f) Inmediatamente después del acto puede haber o no sentimientos sinceros de pena, autorreproche o culpa.

Al contrario del pirómano, el incendiario actúa por motivaciones conscientes aunque de forma latente tiene una fascinación con el fuego, personas vengadoras que gozan con la visión destructora del incendio y del pavor que causan, o débiles mentales incapaces de pensar en las consecuencias de sus actos.

- **Otros**

Son motivos para causar incendios pero son utilizados en menor medida: venganza o intimidación, vandalismo, trastornos mentales como esquizofrenia, trastorno bipolar y neurosis obsesiva-compulsiva.⁽⁹⁾

En una investigación forense se deben descartar las causas naturales e imprudenciales de incendios y así poder enfocarse en los motivos intencionales e iniciar una investigación criminal.

1.3. Consecuencias del fuego

La lesión provocada por las formas de calor radiante o de vapor, variará en su gravedad en función de la temperatura alcanzada en el tejido afectado y de la duración del contacto con el agente quemante.

Las lesiones producidas por contacto con un agente quemante se dividen en grados, según la temperatura alcanzada y el tiempo de exposición, (Fig. 4):

- Quemaduras de primer grado: las lesiones que provoca son eritema (enrojecimiento de la piel), edema leve (aumento del líquido extracelular intersticial- plasma-) y dolor.
- Quemaduras de segundo grado: se caracterizan por la acumulación de plasma en las profundidades de la epidermis, con la conformación de flictenas (ampollas) que fácilmente se abren poniendo al descubierto las terminaciones nerviosas. Causan gran dolor.
- Quemaduras de tercer grado: se produce la formación de pústulas dolorosas. Esto implica la destrucción del cuerpo papilar, que sucesivamente se reseca y se cae. En los dos primeros grados se puede pensar en una restitución (son lesiones reversibles); en cambio en este caso, se destruye irreversiblemente la zona afectada.

Según la gravedad, se impone una minuciosa limpieza de las zonas afectadas y un tratamiento específico para cada tipo de quemadura. En otros casos se llega al trasplante de tejidos, que son extraídos en lo posible del mismo individuo, para evitar la posibilidad de un rechazo.

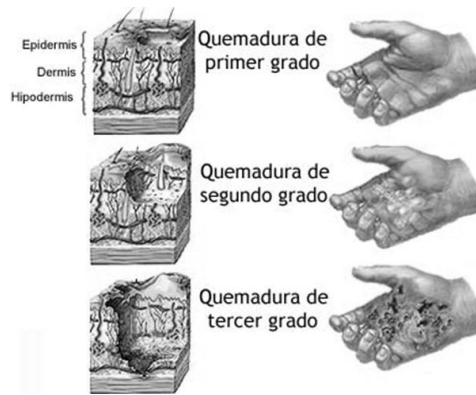


Fig. 4. Tipos de quemaduras en piel.

En cuanto a los objetos, el calor produce efectos como la dilatación que puede llegar a destrozarse la materia o a reducirla en cenizas, según la composición del cuerpo afectado.

Por acción del fuego, el hierro puede deformarse y sufrir torsiones. Las paredes de mampostería presentarán grietas que, según el grado, pueden hacer peligrar la estabilidad del inmueble.

En general, la madera toma contacto con el fuego por radiación o por convección, aún a cierta distancia del foco calorífico. Otros materiales combustibles, ya sean sólidos o líquidos, pueden entrar en combustión en contacto con el aire caliente.

1.4. Productos derivados de la combustión

Se emiten cuatro importantes productos de la combustión: calor, humo, llamas y gases.

- **Calor**

El calor es una forma de energía producto de la combustión. Como consecuencia de una transformación molecular los átomos se excitan y desprenden energía, de ahí su carácter exotérmico, derivado de la oxidación, convirtiendo los productos reaccionantes (combustible y comburente) en agua y dióxido de carbono. El calor ejerce una doble función: es una fuente de ignición y elemento básico de persistencia del fuego.

- Humo

Formado por partículas sólidas y líquidas en suspensión, de combustible sin quemar, que se expanden de forma visible. El humo equivale a la huella producida por un incendio, indica:

- El lugar de la ubicación del incendio
- Los materiales combustibles que se queman mediante la observación de su color, como ejemplos tenemos los mencionados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Color del humo provocado por la combustión de sustancias combustibles.

COMBUSTIBLE	COLOR DEL HUMO
Heno, compuestos vegetales	Blanco
Fósforo	Blanco
Benzina	Blanco a gris
Nitrocelulosa	Amarillo a amarillo trigueño
Azufre	Amarillo a amarillo trigueño
Ácidos sulfúrico, nítrico y clorhídrico	Amarillo a amarillo trigueño
Pólvora	Amarillo a amarillo trigueño
Cloro	Amarillo verdoso
Madera	Gris a pardo
Papel	Gris a pardo
Tela	Gris a pardo
Iodo	Violeta
Aceite de cocinar	Pardo
Nafta	Pardo a negro
Diluyente de laca	Negro parduzco
Aguarrás	Negro a pardo
Acetona	Negro
Queroseno	Negro
Gasolina	Negro
Aceites lubricantes	Negro
Goma	Negro
Alquitrán	Negro
Carbón	Negro
Plásticos espumados	Negro

- Llamas

Es la manifestación del conjunto de gases en combustión, de forma incandescente, que se eleva de los cuerpos que arden. La temperatura de la llama es superior a la del ambiente debido al calor liberado en la combustión, que a su vez sirve para aumentar la temperatura de los productos de combustión.

La llama se denomina de difusión, es de forma parecida a un cono, es una combustión de las sustancias volátiles del combustible al mezclarse con el oxígeno del aire.

Las llamas, el calor y el humo no permanecen en el lugar del incendio de manera estática. El calor, humos y gases se elevan desde el fuego y las llamas flamean hacia arriba y afuera en busca de combustible y de oxígeno. Este movimiento tiene una doble consecuencia:

- a) El fuego se difunde a otras zonas dependiendo del lugar, siendo diferente en medio abierto que en espacio cerrado.
- b) A medida que se expande el fuego los productos de la ignición dejan su rastro en paredes, suelo, techos, si se trata de un incendio en espacio cerrado, así como también, las huellas de estos derivados quedan reflejadas en los distintos medios naturales agredidos, si se trata de incendios forestales o al aire libre.

- Gases

Los gases derivados de un incendio de mayor importancia por su peligrosidad o por su frecuencia son:

- a) Monóxido de carbono. Gas incoloro, inodoro e insípido, muy poco soluble en agua, aunque se puede mezclar con otros gases, arde con flama azul, está compuesto de carbono y oxígeno. Actúa sobre el organismo como veneno directo y acumulativo, combinándose con la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina, obstruyendo el aporte de Oxígeno celular hasta producir la muerte.

Un cadáver cuando ha sido muerto por intoxicación de monóxido de carbono su aspecto es rosado. En el caso de sofocación como resultado de muerte por paro cardíaco, el color cadavérico es blanco lívido.

Aunque no es un gas de los más tóxicos si es muy peligroso debido a la abundancia que puede generarse en un incendio.

- b) Ácido Cianhídrico. El ácido cianhídrico también conocido como Cianuro de Hidrógeno y en disolución como ácido prúsico, es un líquido incoloro, de olor característico a almendras amargas, y altamente volátil. Su punto de ebullición es sólo de 26 °C. Muy soluble en agua y en alcohol.

Es un gas muy venenoso, 20 veces superior al monóxido de carbono. Su dosis mortal en una persona es de 0.05 gramos, actúa rápidamente sobre el organismo inhibiendo la asimilación de oxígeno celular (hipoxia histotóxica), aunque a diferencia del monóxido de carbono no se combina con la hemoglobina de la sangre.

- c) Ácido clorhídrico. Es un agente corrosivo, causa irritación sensorial y pulmonar, es un gas lacrimógeno. En la combustión de las sustancias con contenido de cloro, como el PVC (cloruro de polivinilo), se forma el gas clorhídrico.

- d) Dióxido de carbono. Es uno de los gases más abundantes en el medio ambiente. En todo proceso de combustión se desprende vapor de agua y dióxido de carbono, conocido también como Anhídrido carbónico. Se produce en grandes cantidades pero su toxicidad es mínima, pero favorece la de otros elementos que le pudieran acompañar.

En el humo de un incendio se han detectado la presencia de otros gases tóxicos, como la acroleína, amoníaco, fluoruro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos volátiles y compuestos de fósforo.⁽⁹⁾

1.5. Clasificación de los incendios ^(9,16)

En cuanto a la clasificación de los incendios en función de la naturaleza del combustible, internacionalmente se ha acordado agruparlos en las siguientes clases:

- a) Fuego clase A: Es aquel que se presenta en material combustible sólido, generalmente de naturaleza orgánica, y que su combustión se realiza normalmente con formación de brasas. Ejemplo: madera, carbón, paja y tejidos.
- b) Fuego clase B: Es aquel que se presenta en líquidos combustibles e inflamables y gases inflamables. Ejemplo: gasolina, petróleo, gasóleo, aceites, asfaltos y parafinas. Solamente arde la superficie que está en contacto con el oxígeno del aire.
- c) Fuego clase C: Es aquel que involucra aparatos, equipos e instalaciones eléctricas energizadas.
- d) Fuego clase D: Es aquel en el que intervienen metales combustibles, tales como el magnesio, titanio, circonio, sodio, litio, potasio, uranio y aluminio en polvo.
- e) Fuego clase K: Es aquel que se presenta básicamente en instalaciones de cocina, que involucra sustancias combustibles, tales como aceites y grasas vegetales o animales. Los fuegos clase K ocurren en los depósitos de grasa semipolimerizada, y su comportamiento es distinto a otros combustibles.

2. SUSTANCIAS INFLAMABLES

Dentro de los elementos necesarios para que se desarrolle un incendio se encuentra el combustible. En los casos de incendios intencionales son muy utilizados los llamados acelerantes, los cuales se tratan en el capítulo siguiente. Una sustancia capaz de iniciar un incendio puede ser cualquiera de las siguientes sustancias:

2.1. Sustancias inflamables: son aquellas capaces de formar una mezcla con el aire, en concentraciones tales que las haga formar una flama espontáneamente o por la acción de una chispa.⁽¹⁷⁾ Dichas sustancias prenden fácilmente y se queman rápidamente, generalmente de forma violenta cuando entran en contacto con una fuente de ignición o de calor, con rápida propagación de flama. ^(16, 18)

Las sustancias inflamables se clasifican en sólidos, líquidos y gases, los cuales se definen como:

- **Gas inflamable:** Es aquel que tiene un rango inflamable con el aire a 20 °C y presión de referencia de 101.3 kPa, entre otros, propano, hidrógeno, butano, pentano y etano.

Un gas químicamente inestable es un gas inflamable que puede explotar incluso en ausencia de aire u oxígeno.

- **Líquido inflamable:** Es cualquier sustancia que tenga presión de vapor igual o menor a 2 068.6 mm de Hg, a 20 °C, y una temperatura de inflamación menor a 37.8 °C, entre otros, barnices, lacas, gasolina, tolueno y pinturas a base de disolventes. En otros textos se maneja que un líquido inflamable es un líquido con un punto de inflamación no superior a 93 °C y se clasificará en una de las cuatro categorías, como se muestra en el cuadro 2:

Cuadro 2. Clasificación de líquidos inflamables.

Categoría	Criterios
1	Punto de inflamación < 23 °C y punto inicial de ebullición $\leq$ 35 °C.
2	Punto de inflamación < 23 °C y punto inicial de ebullición > 35 °C.
3	Punto de inflamación $\geq$ 23 °C y $\leq$ 60 °C.
4	Punto de inflamación > 60 °C y $\leq$ 93 °C.

El punto de inflamación es la temperatura mínima necesaria para que un material desprenda vapores que, mezclados con el aire, se inflamen en presencia de una fuente de ignición, y continúe ardiendo una vez retirada la fuente.

Ejemplos de líquidos inflamables: pinturas, esmaltes, lacas, barnices, adhesivos y ceras.

La Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) establece las siguientes subclasificaciones para estos líquidos ⁽¹⁷⁾:

- Clase 1A. Son aquellos que tienen puntos de inflamación por debajo de los 22.8 °C y que tienen un punto de ebullición por debajo de 37.8 °C.
- Clase 1B. Son aquellos que tienen puntos de inflamación por debajo de los 22.8 °C y cuyo punto de ebullición es o se encuentra por arriba de 37.8 °C.
- Clase II. Son aquellos que tienen puntos de inflamación por arriba de los 37.8 °C y debajo de los 60 °C.

- Clase III. Líquidos subdivididos en 2 subclases:
 - Clase IIIA. Todos aquellos que tienen puntos de inflamación de o por arriba de 60 °C y por debajo de 93.3 °C.
 - Clase IIIB. Todos aquellos que tienen puntos de inflamación de o por arriba de 93.3 °C.
- **Sólido inflamable:** es una sustancia sólida que se inflama con facilidad o puede provocar o activar incendios por frotamiento. Los sólidos que entran fácilmente en combustión son sustancias pulvulentas, granuladas o pastosas que son peligrosas en situaciones en las que sea fácil que se inflamen por breve contacto con una fuente de ignición, como puede ser una cerilla encendida. Ejemplos: Sodio metálico, carbón mineral, fósforos, peróxidos orgánicos, sales de diazonio.

De acuerdo a su grado de inflamabilidad se clasifican como:

- **Extremadamente inflamable:** Las sustancias y preparados líquidos que tengan un punto de ignición extremadamente bajo y un punto de ebullición bajo, y las sustancias y preparados gaseosos que, a temperatura y presión normales, sean inflamables en contacto con el aire.
 - **Fácilmente inflamable:** Las sustancias y preparados: a) Que puedan calentarse e inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin aporte de energía, o b) Los sólidos que puedan inflamarse fácilmente tras un breve contacto con una fuente de inflamación y que sigan quemándose o consumiéndose una vez retirada dicha fuente, o c) Los líquidos cuyo punto de ignición sea muy bajo, o d) Que, en contacto con el agua o con el aire húmedo, desprendan gases extremadamente inflamables en cantidades peligrosas.
 - **Inflamable:** Las sustancias y preparados líquidos cuyo punto de ignición sea bajo.
- (19)

2.2. Sustancias combustibles: son aquellas en estado sólido o líquido con un punto de inflamación mayor a 37.8 °C, entre otros, keroseno, gasóleos, alcohol mineral, petróleo bruto. De igual forma son sustancias que originan durante su combustión un gran

desprendimiento de calor y reaccionan fácilmente con las sustancias inflamables, por ejemplo, el papel y la madera.

La diferencia que existe entre un líquido inflamable y otro combustible es que el primero tiene su punto de inflamación por debajo de la temperatura del medio ambiente, y el segundo se debe calentar para que produzca vapores suficientes que mantengan la combustión. ⁽⁸⁾

2.3. Sustancias explosivas: son aquellas en estado sólido, líquido o gaseoso que, por un incremento de temperatura o presión sobre una porción de su masa, reaccionan repentinamente, generando altas temperaturas y presiones sobre el medio ambiente circundante. Incluso en ausencia de oxígeno atmosférico, puedan reaccionar de forma exotérmica con rápida formación de gases y que, en determinadas condiciones de ensayo, detonan o deflagran rápidamente o bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explosionan. Ejemplos: pólvora negra, nitroglicerina, nitrocelulosa, dinamitas, etc.

2.4. Comburente: Las sustancias sólidas o líquidas y preparados que, sin ser necesariamente combustibles en sí, pueden, por lo general al desprender oxígeno, provocar o favorecer la combustión de otras sustancias con las cuales entren en contacto y producir una reacción fuertemente exotérmica. Ejemplos: nitrato de amonio, percloratos, peróxido de hidrógeno, permanganatos y ácido crómico. ⁽²⁰⁾

Además de las sustancias combustibles, puede existir en la zona del desastre material pirofórico, el cual se define como, todo sólido o líquido que al contacto con el aire, aun en pequeñas cantidades, entra en ignición, es decir, reacciona en forma espontánea con desprendimiento de grandes cantidades de luz y calor. ⁽²¹⁾

Muchos productos presentes en el mercado tienen íconos que indican el tipo de sustancia que es, como se muestra en la figura 5.

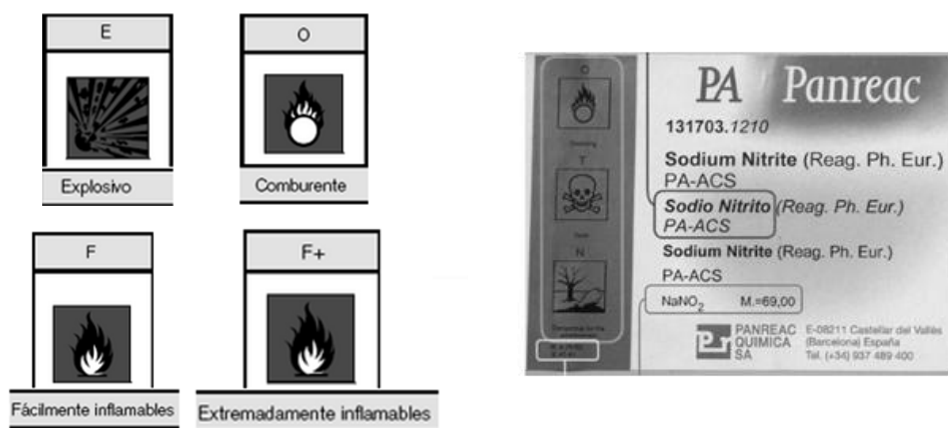


Fig. 5. Íconos en el etiquetado de productos causantes de incendios.

2.5. Materiales de construcción

Debido a que la mayoría de los incendios intencionales y no intencionales ocurren dentro de una construcción, es de suma importancia conocer los materiales que pueden contribuir a un incendio. El comportamiento de las piezas de construcción, en caso de incendio, se estudia desde el punto de vista de su “reacción y resistencia al fuego”. La reacción al fuego es la contribución al fuego en caso de incendio, determinada por la combustibilidad del material. Sus características principales son: capacidad de ignición, velocidad de propagación de la llama, velocidad de combustión, desprendimiento de calor, humos, goteos, etc.

Con carácter únicamente orientativo, pues las distintas composiciones, procesos de fabricación, espesores y formas, varían la clasificación de un material, se clasifica a los productos más empleados en la construcción según su reacción al fuego:

- Materiales M 0 (incombustibles): hierro, cobre, bronce, latón, zinc, piedras naturales, cemento, hormigón, lana mineral, fibra de vidrio, etc.
- Materiales M 1 (combustibles, no inflamables): madera aglomerada ignifugada de la clase especial, policloruro de vinilo rígido (PVC rígido), estratificados de melanina, etc.
- Materiales M 2 (combustibles y poco inflamables): madera aglomerada, ignifugada de la clase normal, poliéster reforzado con fibra de vidrio, alfombras de lana 100 por ciento, etc.
- Materiales M 3 (combustibles e inflamables): madera en listones de espesor superior a 10 mm, madera aglomerada de grueso superior a 14 mm, poliamidas, PVC estratificado, alfombras de poliamida, etc.

- e) Materiales M 4 (combustibles e inflamables): madera aglomerada de espesor inferior a 14 mm, polimetaacrilato de metilo, tejidos de revestimientos y cortinajes de poliéster, alfombras acrílicas, etc.
- f) Materiales M 5 (combustibles e inflamables): Tejidos de revestimientos son soporte y cortinajes acrílicos (100 por ciento), espuma de poliuretano, poliestireno expandido, alfombras acrílicas de pelo largo y basamento de polipropileno o espuma.

En tanto, la resistencia al fuego se define como la capacidad del elemento constructivo para cumplir su función en caso de incendio, es decir, en elementos sustentadores, el tiempo indispensable para mantener su función de soporte, y en elementos compartimentadores, la capacidad en tiempo para contener el incendio, evitando la propagación a través del mismo.

Las propiedades físicas de los elementos, se ven afectadas por las altas temperaturas en un incendio, lo que conlleva una pérdida del nivel de resistencias física. La resistencia física de un componente varía dependiendo de la función que desempeñe en un edificio. ⁽⁹⁾

Existen materiales inflamables que no tienen función sustentadora ni compartimentadora, que son:

- a) De acabado: barnices, lacas, pinturas, papeles, moquetas, etc.
- b) De aislamiento térmico o acústico: fibra de vidrio, plásticos, espumosos, etc.

3. ACELERANTES

3.1. Definición

Las sustancias inflamables más comúnmente utilizadas por los incendiarios son los denominados ‘acelerantes’.

Un acelerante se define como una sustancia capaz de aumentar la intensidad y velocidad de difusión de un incendio debido a sus propiedades fisicoquímicas. Se utilizan comúnmente como acelerantes a los líquidos inflamables y combustibles ya que son fáciles de conseguir, transportar y prenden rápidamente.

Los acelerantes tienen olores fuertes y característicos. En muchos casos, la fragancia de un líquido inflamable o combustible persistirá cerca del punto donde se consumió. El investigador ha de saber diferenciar por el olor cada uno de los acelerantes, así como por el color. ⁽⁹⁾

Los acelerantes más comunes son: gasolina, disolventes para pinturas (esencia de trementina, aguarrás mineral, alcohol, alcohol isopropílico e isobutílico, hexano, heptano, octano, tiner), petróleo, queroseno, gasóleo, fuel, aceites, fluido para mecheros (mezcla de hidrocarburos), etc. (22,23,24)

3.2. Características químicas

Dentro de las propiedades de los acelerantes se encuentran:

- Capacidad calorífica
- Calor de vaporización
- Punto de inflamación
- Poder calorífico

La capacidad calorífica o calor específico, es una medida del calor necesario para aumentar 1 °C la temperatura de un gramo de una sustancia. (22) La capacidad calorífica es elevada en el caso de los hidrocarburos como la gasolina, gasóleo o fuel. (8) Su utilización provoca fuertes elevaciones de temperatura, en relación con las observadas en el curso de un incendio que afecte a materiales tradicionales como la madera, el papel, tejido, etc. (24)

El calor de vaporización es la cantidad de energía para convertir un líquido en gas. La energía se absorbe por las moléculas en fase líquida, aumentando su energía cinética hasta que las partículas pueden superar las fuerzas intermoleculares atractivas que las mantienen en estado líquido. Esta propiedad es importante ya que ningún acelerante, ya sea en estado sólido o líquido arde, para qué arda necesita convertirse en vapor. (22)

Otra propiedad importante es el punto de inflamación, que es la temperatura mínima, corregida a la presión de referencia de 101.3 kPa, a la que una sustancia desprende vapores capaces de formar una mezcla inflamable en su superficie, y que no es suficiente para sostener la combustión. (16)

El calor emitido recibe el nombre de poder calorífico de una sustancia y dependerá de la estructura molecular de la misma. Los valores del poder calorífico en una combustión de

cualquier sustancia, tanto en el caso de oxidación parcial o completa, dependerán directamente de:

- Estructura molecular del combustible.
- De la cantidad del oxígeno consumido. ⁽⁹⁾

3.3. Clasificación ^{50,56}

Existen 5 clases de acelerantes de incendios reconocidos por la ASTM (American Society for Testing), una organización reconocida a nivel mundial por la producción de normas voluntarias para una amplia gama de campos, incluyendo el departamento de bomberos. Las 5 clasificaciones se muestran en el cuadro 3:

Cuadro 3. Sistema de clasificación de acelerantes.

Clase	Número de carbonos	Ejemplos	Clase de componente dominante
1. Destilados de petróleo ligeros	C ₄ -C ₈	Destilados del éter de petróleo, combustibles de encendedores de bolsillo y algunos disolventes de cemento.	Alcanos ramificados
2. Gasolina	C ₄ -C ₁₂	Todos los tipos de gasolina, gasohol (alconafta) y combustibles para acampar.	Alcanos ramificados, alquilbencenos, naftalenos
3. Destilados de petróleo medios	C ₈ -C ₁₂	Iniciadores de carbón, diluyentes de pintura, disolventes para “limpieza en seco”, y disolventes minerales.	Alcanos, alquilbencenos
4. Queroseno	C ₉ -C ₁₆	Combustibles de aviación, aceites de lámparas, iniciadores de carbón y algunos tipos de insecticidas.	Alcanos, alquilbencenos, naftalenos
5. Destilados de petróleo pesados	C ₁₀ -C ₂₃	Aceite de calefacción, combustibles diesel (combustibles No.2).	Alcanos, alquilbencenos, naftalenos
Misceláneos (sin clasificar)	Variable	Alcoholes, tolueno, xileno, thinner, fluidos de copiadora y ceras (isoparafinas), aceite de lámpara y disolventes de insecticidas (alcanos normales), acetona.	Alcanos, alquilbencenos, alcoholes, cetonas y ésteres.

3.4. Acelerantes en incendios provocados

A continuación se presentan las propiedades físicas y químicas de los acelerantes más comunes utilizados en incendios intencionales:

- Gasolina.

Es un compuesto que se obtiene de la destilación del petróleo y es una mezcla de hidrocarburos.

⁽²⁵⁾ Es un líquido altamente inflamable. El vapor es más denso que el aire y puede extenderse al

ras del suelo, por lo que una ignición en un punto distante es posible. El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas, siendo alta la probabilidad de deflagración en el momento en que se produce la ignición. ⁽²⁶⁾

La gasolina, emite gases incendiables a temperatura ambiente; los vapores, si no se confinan, se mezclan con el aire y sólo necesitan una fuente de ignición. Una vez inflamados estos vapores generan 2 ½ veces más calor que la madera y a una velocidad mucho mayor. El resultado es una intensa hoguera que alcanza rápidamente a otros combustibles disponibles. La gasolina Premium es amarillo pálida y la magna es roja.

Los incendiarios pueden combinarla con fueloil o gasóleo. El incendiario corre el riesgo grave de quemarse, lo que deberá tenerse en cuenta durante la investigación, por si alguno de los sospechosos presentase lesiones de este tipo. Por otra parte, los daños por la deflagración pueden ser más o menos pronunciados: tabiques rotos o agrietados, cubiertas abombadas, falso techo reventado, estructuras metálicas con lucernarios de vidrio abombadas hacia el exterior, techos de escayolas caídos, etc. Si en el hecho se ha utilizado a la vez gasolina y fuel, se observan de una parte los efectos de una deflagración y de otra las características de un incendio en que se ha aplicado fueloil. ⁽⁹⁾

- Esencia de trementina.

La trementina se obtiene por la destilación de la resina de varias especies de pino. Es una mezcla de isómeros de hidrocarburos de terpeno. La composición varía con los métodos de refinado y la edad, localización y fuente de madera de las distintas especies. Es un líquido incoloro con olor característico. Con fórmula $C_{10}H_{16}$ y masa molecular 136. Es inflamable y en caso de incendio se desprenden gases tóxicos e irritantes incluyendo al monóxido de carbono. Por encima de 30 °C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire. La sustancia se descompone lentamente bajo la influencia de aire o luz, produciendo la oxidación de compuestos que son más tóxicos o irritantes que la trementina por ella misma. Reacciona violentamente con oxidantes, halógenos, sustancias combustibles, ácidos minerales. Ataca al plástico y a la goma. ⁽²⁷⁾

- Aguarrás mineral.

Suele confundirse con el aguarrás vegetal (Trementina), sin embargo este es un derivado del petróleo también llamado White Spirit o petróleo inodoro. Es una mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos, cicloparafínicos y aromáticos con número de átomos de carbono en el

rango $C_{10}H_{14}$. Es inflamable si se calienta sobre 38 °C. Para envasar no se recomienda envases de vidrio, excepto para pruebas de laboratorio o análisis. No usar con materiales solubles a los hidrocarburos. En su combustión de desprenden monóxido y dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno.⁽²⁸⁾

- Alcohol.

Es un líquido incoloro, de olor característico. Es altamente inflamable. El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato de mercurio o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.⁽²⁹⁾

- Adelgazador de pintura (Thinner).

Es una mezcla de disolventes de naturaleza orgánica derivados del petróleo que ha sido diseñado para disolver, diluir o adelgazar sustancias insolubles en agua, como la pintura, los aceites y las grasas. El diluyente está compuesto por un disolvente activo, un cosolvente y un diluyente, sustancias que efectúan una función en particular.

Dentro de su composición se puede encontrar Tolueno, Alcohol metílico, Cetonas, Hexano, Alcoholes, Xileno y Ésteres. Es un líquido combustible y puede acumular cargas estáticas. El vapor es más pesado que el aire y puede dispersarse distancias largas y acumularse en zonas bajas. Debe mantenerse en un sitio ventilado, lejos de fuentes de ignición. Nadie debe fumar cerca de donde se almacena. Es obligatorio evitar la acumulación de cargas electrostáticas.

Emite vapores invisibles que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperaturas de 43 °C o superiores. Los vapores son más pesados que el aire y pueden desplazarse hasta una fuente de ignición, encenderse y llevar el fuego hasta su lugar de origen. El líquido puede flotar sobre el agua hasta una fuente de ignición y regresar en llamas. Durante un incendio puede producir gases tóxicos e irritantes. Los contenedores pueden estallar con calor o fuego. En la combustión desprende monóxido de carbono (el cual es nocivo para la salud) y dióxido de carbono. Presenta incompatibilidad con agentes oxidantes y peróxidos⁽³⁰⁾.

- Petróleo Combustible.

Llamado también Aceite Mineral Blanco o Aceite de Parafina. Aceite altamente refinado, con número de átomos de carbono entre C_{14} - C_{20} . Es un compuesto que se obtiene de la destilación del petróleo y es una mezcla de hidrocarburos. ⁽²⁵⁾ Líquido viscoso incoloro y combustible. Por combustión puede formar de gases tóxicos, incluyendo monóxido de carbono. Reacciona con oxidantes fuertes. ⁽³¹⁾

- Queroseno.

Es un compuesto que se obtiene de la destilación del petróleo y es una mezcla de hidrocarburos. ⁽²⁵⁾ Con un punto de ebullición de 175 °C a 300 °C y lo componen cadenas de hidrocarburos de C_{11} a C_{14} . ⁽²⁶⁾

Es un líquido inflamable transparente o con ligera coloración amarillenta. Las mezclas de vapor/aire son explosivas. El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo haciendo posible una ignición en un punto distante. Reacciona con oxidantes. Ataca muchos plásticos. ⁽³²⁾

- Fueloil.

En inglés fueloil (aceite combustible), también llamado en España fuelóleo y combustóleo en otros países hispanohablantes. Es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada. Está compuesto por moléculas con más de 20 átomos de carbono, y su color es negro. El fueloil se usa como combustible para plantas de energía eléctrica, calderas y hornos.

Por otra parte, también se trata en procesos a menor presión para poder ser destilado y así obtener las fracciones más pesadas del petróleo, como los aceites lubricantes y el asfalto, entre otros.

El fueloil se clasifica en seis clases, enumeradas del 1 al 6, de acuerdo a su punto de ebullición, su composición y su uso. El punto de ebullición, que varía de los 175 °C a los 600 °C; la longitud de la cadena de carbono, de 9 a 70 átomos; y la viscosidad aumentan con el número de carbonos de la molécula, por ello los más pesados deben calentarse para que fluyan.

Los fueloil No. 1, fueloil No. 2 y fueloil No. 3 se llaman de diferentes formas: fueloil destilado, fueloil diésel, fueloil ligeros, gasóleo o simplemente destilados. Por ejemplo, el fueloil No. 2, destilado No. 2 y fueloil diésel No. 2 son casi lo mismo (diésel es diferente porque tiene un índice de cetano el cual describe la calidad de ignición del combustible). ⁽³³⁾

La combustión produce humos tóxicos de aldehídos y cetonas, además de monóxido de carbono, dióxido de carbono y agua.⁽³⁴⁾

- Gasóleo.

Está constituido por una mezcla de hidrocarburos de petróleo con número de átomos de carbono entre C₉ y C₂₆. Los principales componentes son hidrocarburos olefínicos, saturados y aromáticos provenientes de la destilación del petróleo.⁽³⁵⁾ Tiene un punto de ebullición de 275 °C a 400 °C.⁽²⁶⁾

Se utiliza como carburante en motores diesel, calefacción y aplicaciones industriales. Es un líquido inflamable. El líquido puede emitir vapores a temperatura ambiental elevada, formando mezclas inflamables. Los vapores se acumulan al nivel del suelo y pueden acceder, a través de drenajes u otros pasos subterráneos, a fuentes de ignición desde el punto de escape. Determinados materiales pueden acumular cargas estáticas las cuales pueden causar una descarga eléctrica que genere chispa y produzca un incendio en presencia de gasóleo.

Como productos de la combustión genera humo y óxidos de azufre y monóxido de carbono, en caso de combustión incompleta. Su temperatura de almacenamiento no debe exceder los 40 °C.⁽³⁵⁾

Presenta el inconveniente de ser difícil de inflamar a temperatura ambiente. Por ello el incendiario emplea frecuentemente un dispositivo de incendio susceptible de calentarlo, a base de un líquido inflamable suplementario como la gasolina o el alcohol. Son síntomas de uso de gasóleo o de fuel, la existencia de depósitos de humos negros muy espesos sobre los muros y paredes, especialmente por encima de los escombros; puede sin embargo que los humos negros y espesos sean provocados por la combustión de materias plásticas (P.V.C. o polietileno). Si el incendio es violento y con fuerza suficiente, estos depósitos de humo no aparecerán al quedar destruidos por la elevada temperatura.⁽⁹⁾

4. INVESTIGACIÓN FORENSE DEL INCENDIO

El experto debe contar para su investigación con su experiencia personal y, además, con una forma de trabajar ordenada y metódica. La observación exhaustiva del lugar donde presuntamente se inició el fuego es de fundamental importancia, porque precisamente en este sitio están reunidos todos los elementos que nos llevarán a las conclusiones finales.

Se impone por lo tanto una minuciosa inspección ocular del lugar donde se ha producido el incendio, y junto con esto un concienzudo interrogatorio a los testigos potenciales. Es conveniente que el escenario sea fotografiado, y que se realice también un croquis demostrativo, en el que se dejará constancia de todos los elementos probatorios o sospechosos. ⁽¹⁵⁾

Los elementos necesarios para la investigación son:

- Equipo y herramientas. Para el examen del escenario, la recolección y preservación de pruebas, se requieren una gran variedad de herramientas, equipos y suministros. A continuación se relaciona el contenido de un típico equipo de investigación: (por supuesto este cambia dependiendo del indagador de acuerdo a su experiencia y preferencia):
 - a) Ropa protectora: casco, impermeable, guantes y botas.
 - b) Dispositivos de medida: regla y/o cinta métrica.
 - c) Luces.
 - d) Herramientas de corte: hacha de mano, segueta, sierra corta metales, tijeras y cortador de cables.
 - e) Utensilios de recogida de pruebas: diversos modelos de palas y pinzas.
 - f) Materiales para marcado y sellado.
 - g) Material para tomar notas y dibujar.
- Fotografías. Probablemente la cámara constituya la herramienta más útil del equipo del investigador. Las fotografías procuran un registro preciso de las dimensiones del incendio, los daños causados, la posición de las pruebas recolectadas, la situación y configuración de la combustión baja y del cono del fuego o de cualquier otra característica que quizás se necesite para el análisis del incendio o como prueba en un juicio contra un incendiario. Cada fotografía debe ser referenciada en un croquis y en el informe que se realice. (Fig. 6)
- Apuntes, esquemas y croquis. Se utilizan para anotar lo que se hace y observa durante cada fase de la investigación, describir características del edificio, alcance del fuego,



Fig. 6. Fotografía de una casa incendiada.

manchas de humo y quemaduras, localización de pruebas encontradas y otras muestras relevantes.

Los croquis y las fotos se complementan entre sí; en conjunto, proporcionan una clara visión del comportamiento del fuego. Por esta razón, es vital que no existan contradicciones entre la información contenida en las fotos, esquemas, croquis y los apuntes del investigador.

Los esquemas serán simples y se dibujarán a escala, siendo el dibujo absolutamente exacto. Cualquier imprecisión, puede ser aprovechada para invalidar todo el dibujo.

Al conjunto de esquemas, croquis y apuntes se denomina estudio planimétrico, consiste en dejar constancia mediante planos y croquis de la ubicación, extensión y demás circunstancias y elementos físicos existentes en el lugar del incendio, con especial referencia al foco de iniciación.

Se debe considerar e indagar:

- El color y olor del humo durante el incendio
- El color, altura o intensidad de las llamas (Fig. 7)
- Pruebas de que posiblemente el incendio haya sido ocasionado por aparatos u otros medios, como velas, fósforos, etc.
- Corrientes de aire y olores
- Descubrimiento de materias combustibles alrededor del punto donde se inició el fuego
- Si existe, condiciones del cuerpo y su posición⁽³⁶⁾

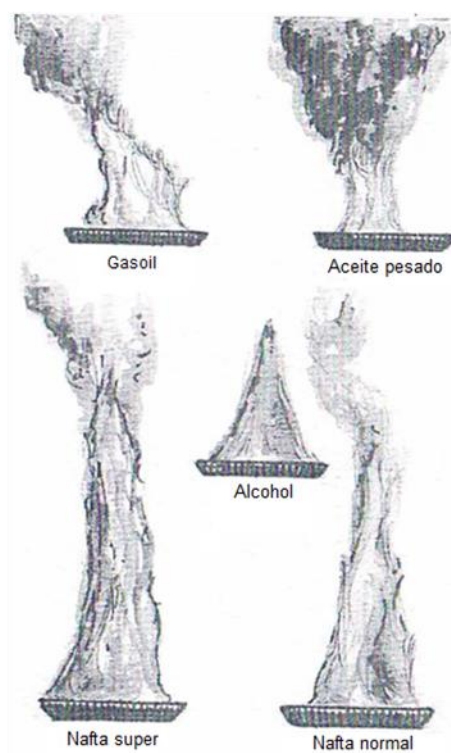


Fig. 7. Ejemplos de tipos de llamas según el combustible.

La investigación de un incendio se compone de cuatro fases principales:

- a) Examen del exterior del edificio.
- b) Examen del interior.
- c) Observaciones de bomberos, policías y testigos.
- d) Elaboración del Informe pericial sobre el incendio.

Cada fase de la indagación genera información que asiste y amplía la recopilada en las otras. En conjunto, proporcionan al investigador una visión precisa de las circunstancias que condujeron al incendio. La descripción de las fases se explican en el capítulo siguiente.

4.1. Incendio provocado

Un incendio se define como una ocurrencia de fuego no controlada, es decir, que se desarrolla sin control en tiempo y espacio, y que puede abrasar algo que no está destinado a quemarse. ^(16, 19)

Mientras que, un incendio provocado se puede definir como el intento de quemar ⁽³⁷⁾ o la quema intencional y maliciosa de la propiedad de otra persona o de la quema de la propiedad de uno mismo por algún motivo inadecuado, como defraudar a una compañía de seguros. ⁽³⁸⁾

5. ASPECTOS CRIMINALÍSTICOS EN LA INVESTIGACIÓN DE UN INCENDIO

5.1. Análisis del lugar de los hechos

Una investigación exterior incluye un examen del inmueble afectado desde afuera y los terrenos que le rodean. Si ha resultado afectada una zona exterior de la casa se analizará para determinar si la quema la alcanzó o se originó como un fuego separado. Ha de impedirse el acceso al edificio y zonas circundantes a personas no autorizadas, desde el momento en que llegan los bomberos hasta que la investigación termine. Tendremos en cuenta el reconocimiento del escenario, es decir, una impresión global del ambiente del incendiario y los terrenos afectados y no afectados.

Cada pared del exterior del hogar debe examinarse en busca de señales de la quema y señales provocadas por los bomberos en sus labores de lucha.

El objetivo, simplemente, es descubrir cualquier evidencia del origen y movimiento del fuego. Estos rastros del trayecto y del trabajo de los bomberos, resultan tan importantes para la determinación del foco de origen y fuente de ignición, como las que se encuentran en el interior de la edificación. En determinadas ocasiones, las manchas interiores no poseen ningún sentido, hasta que se combinan, para su interpretación, con las exteriores.

Se recomienda hacer un croquis que muestre las posiciones de puertas y ventanas en cada pared. Hacer referencia en el esquema a:

- a) Manchas de humo.
- b) Señales de calcinación y chamusquina.
- c) Puntos, aparentemente sin conexión, que muestren señales de fuego.
- d) El punto más bajo con indicios de fuego.

- e) Puntos en los que el fuego sale al exterior.
- f) Puertas y ventanas abiertas y cerradas.
- g) Estado de cristales de puertas y ventanas.
- h) Indicios de entrada forzada.
- i) Situación y estado de contadores de gas y electricidad.
- j) Disposición y calidad de las conexiones y controles del sistema de protección de incendios.⁽⁹⁾

En el caso del análisis del interior del edificio, las comprobaciones efectuadas después del incendio son más o menos fáciles según la importancia de los daños. Si el inmueble ha sido completamente destruido, la búsqueda entre los escombros es muy delicada y, a menudo, sólo pueden encontrarse los residuos metálicos del dispositivo incendiario (si existiese), tales como los recipientes que han contenido el líquido inflamable.

Si la destrucción no es completa, se pueden eliminar sucesivamente las distintas hipótesis sobre el origen accidental del fuego e incluso encontrar pruebas irrefutables del origen criminal del incendio.

Si el fuego no se ha propagado y se ha extinguido muy pronto el dispositivo incendiario se encontrará más o menos intacto y proporcionará una prueba evidente de intervención criminal.

La investigación del escenario de un incendio es principalmente una búsqueda de señales acerca de la quema. Con los datos logrados se deduce cuándo y dónde se originó el fuego y se clasifica.

Una búsqueda adecuada consiste en una exploración sistemática del escenario del incendio para recabar información, dicha exploración puede hacerse con cualquiera de los métodos indicados en la figura 8. El objeto se centra en reconstruir los hechos que condujeron al siniestro para describir el origen del mismo.⁽⁹⁾

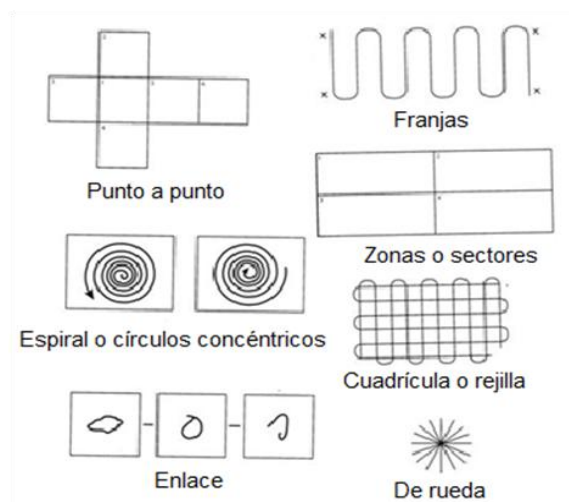


Fig. 8. Métodos de revisión de una escena de los hechos.

Existen cuatro objetivos primarios en el reconocimiento del lugar del incendio:

- a) Hallar el foco y el punto de origen. Consiste en localizar de manera exacta dónde comenzó el fuego, y es muy importante en la determinación del inicio y dinámica del incendio. ⁽⁸⁾ Los fuegos con combustibles ordinarios comienzan en un punto (punto de origen), el de contacto entre los combustibles y la fuente de calor. Dicho punto muestra los daños más severos y generalmente constituye el punto más bajo afectado por la combustión.

Por el contrario, la ignición ocasionada por líquidos acelerantes crea señales uniformes de humo y fuego en las paredes circundantes, no generando un punto de origen simple definido, sino que el resultado es un “área de origen”, con toda la zona dañada por igual, puesto que las llamas envuelven la superficie impregnada por el acelerante.

El incendiario puede igualmente haber derramado en varios puntos el acelerante distinguiéndose en este caso varios núcleos, o que el incendio se desarrolle casi simultáneamente, a uno y otro lado de muros y tabiques que sin embargo han resistido a su acción, lo que implicaría la permanencia de focos originados intencionalmente. ⁽⁹⁾

- b) Encontrar la fuente de ignición. Imprescindible para indicar la procedencia de la energía que desencadenó el incendio. Las más evidentes son las llamas y chispas, aunque existen otras menos comunes como los rayos solares concentrados sobre un objeto combustible a través de un cristal.
- c) Determinación de la causa del incendio. Necesaria para fijar la circunstancia o serie de situaciones que encaminaron directamente al desastre.
- d) Establecer la categoría o histología del incendio. Solo puede averiguarse una vez encontrados los tres anteriores. Y se clasifica en natural, accidental, intencional. Si no se puede probar cual ha sido la causa del incendio, se debe clasificar como indeterminado. Eso permite seguir investigando en pro de determinar alguna clase de motivación o circunstancia para el inicio del incendio. ⁽⁸⁾

La investigación, en los casos de incendio, no tiende únicamente a establecer la causa exacta del siniestro, sino también a buscar los indicios de la posible intervención de una persona extraña, como por ejemplo:

- Huellas de violencia en puertas y ventanas. El investigador se preocupa ante todo del estado de las entradas en el momento en que se ha declarado el incendio, y busca las huellas de violencia. Ciertamente, para penetrar en el lugar y atacar las llamas directamente, los que han acudido al siniestro tienen que haber visto si las entradas estaban ya forzadas y, en su caso, habrán producido ellos mismos las rupturas necesarias. El testimonio del bombero o vecino, primeros en intervenir, es pues, básico para saber el estado en que se encontraban las entradas.
- Los vidrios rotos plantean al investigador un problema mucho más delicado: saber si la rotura es anterior o consecutiva al incendio. La primera indicación a este respecto nos la proporciona el sentido de la caída de los vidrios hacia el interior o hacia el exterior del inmueble. También es muy significativo el aspecto de las roturas. El calor produce una fractura con contornos irregulares, más o menos sinuosos; por el contrario, un choque ocasiona la rotura en estrella y despiden pedazos de cristal de forma poligonal, generalmente trapezoidal o triangular. Si los fragmentos encontrados en el suelo tienen una de sus caras cubiertas de humo o de un tono amarillento, producto de la destilación de maderas o carbones, podemos tener la certeza de que los cristales estaban en su sitio al iniciar el incendio.
- Ayuda a la propagación del fuego. En los incendios criminales, aparecen a veces las puertas de comunicación abiertas para facilitar la propagación de las llamas de un cuarto a otro. Si los que realizan el auxilio no pueden proporcionar informes precisos a este respecto, es necesario examinar los depósitos de humo y las zonas de carbonización a ambos lados de la puerta. Si ésta estaba abierta, el depósito de humo será necesariamente continuo de un cuarto a otro. Si, por el contrario, estaba cerrada, el depósito se encuentra solamente al nivel de los intersticios en el cuarto en que el fuego ha durado menos tiempo.

- Retraso de las operaciones de socorro. Permiten también diagnosticar un incendio criminal: las puertas de entrada bloqueadas, los cables telefónicos cortados, las mirillas anormalmente cerrados o las ventanas cegadas para permitir al incendiario actuar sin ser visto por los vecinos, o para ocultar a los ojos de posibles testigos el resplandor de las primeras llamas del foco.

Cuando se emplean acelerantes, el fuego se desarrolla muy rápidamente, de manera virulenta, apareciendo en la madera carbonizada hinchazones o abombamientos, separados por grietas más o menos profundas, dependiendo de la violencia de la combustión, creando motivos geométricos repetidos asemejando una piel de cocodrilo. Estas señales de ignición, con gran desprendimiento de calor, son parecidas a las que se observan sobre los gruesos leños de madera, después de estar quemándose un cierto tiempo en una chimenea.

La rapidez de inflamación de estos líquidos repartidos por el lugar del siniestro, combinado con su poder calorífico, que es más de dos veces el de la madera, explica que se vea en la parte baja del local o edificio afectado, la fusión por alta temperatura de objetos de vidrio, cobre, bronce, latón o aluminio. ⁽⁹⁾

5.2. Toma y Preservación de indicios de incendios

A efectos de una investigación criminalística, se va a considerar indicio o vestigio, todo aquel objeto, instrumento, resto, huella, marca o señal que se usa y/o se produce en la comisión de un hecho, susceptible de ser recolectado y de cuyo análisis se van a obtener datos sobre la existencia del hecho delictivo, sobre la identidad del autor de los hechos, sobre el *modus operandi*, etc. ⁽³⁹⁾

Aunque no se puede afirmar, muchos opinan que es posible hablar de la individualidad del incendio. Así como las huellas identifican a las personas, cada proceso ígneo es distinto de los demás. En consecuencia, será el investigador quien deberá detectar los indicios para su clasificación.

El experto debe contar para su investigación con su experiencia personal y, además, con una forma de trabajar ordenada y metódica.

La observación exhaustiva del lugar donde presuntamente se inició el fuego es de fundamental importancia porque precisamente en ese sitio están reunidos todos los elementos que nos llevarán a las conclusiones finales.

Se impone por lo tanto una minuciosa inspección ocular del lugar donde se ha producido el incendio.

Es conveniente que el escenario sea fotografiado, y que se realice también un croquis demostrativo, en el que se dejará constancia de todos los elementos probatorios o sospechosos.
(15)

Cuando el experto llega al lugar del delito, debe estar preparado para manejar y reconocer la evidencia. Debe procurar hacer acto de presencia a la mayor brevedad posible, ya que conforme pasan las horas la evidencia (indicios) se destruye, altera o, en el peor de los casos, desaparece.

Debido a que no se puede observar todo detenidamente, debemos discriminar e intentar seleccionar solo lo significativo,⁽⁴⁰⁾ como se ilustra en la figura 9.



Fig. 9. Marcado y toma de evidencia en el lugar de los hechos.

Los indicios obtenidos de un incendio y de los cuales se recomienda tomar muestras son:

- Muestras obtenidas del lugar identificado como el foco del incendio, ya sean cenizas, piezas metálicas, entre otras.⁽⁴¹⁾
- Material afectado en el incendio.
- Material no afectado en el incendio.
- Muestra de material no afectado y que se sospecha tenga restos de la posible sustancia inflamable utilizada en el incendio.
- Muestras de líquidos o botellas encontradas en el lugar del siniestro.
- Preferentemente se recogerán los materiales absorbentes: Tejidos, papeles, maderas, etc. Por las ventajas en la conservación de líquidos entre sus estructuras.

- Se efectuará en tres niveles diferentes correspondientes a superficies distintas en razón de la altura. A saber:
 - Muestra superficial. Se toman antes de iniciar el levantamiento de escombros.
 - Muestra precedente del nivel intermedio.
 - Muestra inferior. Se tomará del nivel más bajo. Al ras del suelo.⁽⁹⁾

El perito deberá recolectar cantidades de indicios suficientes para realizar un análisis instrumental y poder repetir la prueba en caso de ser necesario. En el laboratorio, el químico forense deberá de tomar en cuenta la cantidad de muestra recibida para en su caso, solicitar más cantidad de muestra o adecuar la técnica a la cantidad disponible. La cantidad de material que se necesita para analizar muestras de indicios son extremadamente pequeñas, debido a que los instrumentos actualmente disponibles pueden fácilmente identificar líquidos inflamables cuya cantidad es menos que una gota.⁽³⁸⁾

Los líquidos inflamables a veces se deslizan a un nivel inferior por una abertura que haya en el suelo, a través de las grietas de un entarimado o de una boca de aireación, causando allí un foco más o menos importante, iniciando una combustión ascendente. Las señales de fuego indicarán que esta ha traspasado el suelo desde abajo. También puede haberse deslizado el líquido por los peldaños de una escalera de madera. Pero ocurre que la propagación del fuego a un nivel inferior se explique por el esparcimiento de líquidos a distintos niveles. Por esta razón, siempre debe inspeccionarse la parte inferior del suelo en busca de señales de fuego.

Los instrumentos para preservar la zona del incendio son: sogas (para acordonar la zona), banderolas o señalizaciones de aviso, lona de plástico ligera y señalizadores de tráfico si el incendio es en un espacio abierto.⁽⁹⁾

5.3. Recolección y embalaje de indicios

La recolección de las evidencias es otra de las tareas del procesamiento de la escena del delito, por medio de la cual se procede, atendiendo al criterio evidencial, a extraer la evidencia encontrada para su posterior envío al laboratorio, donde se realizará el respectivo análisis. Esta actividad debe desarrollarse siguiendo una adecuada metodología y técnica a utilizar para la recolección. Ésta tendrá que ser evaluada por el personal encargado de realizarla quién determinará,



Fig. 10. Recogida y almacenamiento inadecuados de pruebas de un supuesto incendio provocado.

basado en las características propias y la naturaleza de cada evidencia, la forma más idónea de recolectarla, siendo cuidadoso de garantizar que las mismas no sean alteradas, contaminadas o destruidas, así como las medidas de bioseguridad del personal que interviene en el procesamiento pero siempre garantizando el debido control de la evidencia. ⁽⁴¹⁾

La metodología deberá tener principalmente los siguientes elementos y, dependerá de la pericia del investigador si se llevan a cabo otras acciones adicionales para determinada evidencia:

- Fotografiar toda la escena desde diferentes ángulos y, así mismo, hacer un bosquejo de la misma, siendo preciso en las dimensiones.
- Buscar detenidamente la evidencia, es decir, lo que resulte significativo, obteniendo mejores resultados cuando bomberos, policías y peritos trabajan en equipo.
- Tomar grandes acercamientos de la evidencia, a fin de que las fotografías muestren su posición exacta, antes de ser levantadas.
- Levantar y marcar la evidencia lo más pronto posible.
- Embalar la evidencia.
- Registrar por escrito todos los detalles de la escena del crimen. ⁽⁴⁰⁾

Por ello, luego de finalizar la búsqueda, localización, identificación y fijación de las evidencias, la o el técnico recolector e investigador, continuarán con el proceso de recolección de las evidencias, de acuerdo al orden lógico en que fueron identificadas, garantizando que no sean alteradas, contaminadas o destruidas.(Fig. 10)

Dependiendo del tipo de escena, de las condiciones socioculturales o climáticas de la misma, hay que establecer prioridad en cuanto a la recolección de la evidencia para evitar su pérdida o degradación.

La evidencia material puede ser de diversa índole de acuerdo al delito investigado, pero todas conllevan a ser probatorias, en un futuro mediano o inmediato. Por lo que es conveniente tomar muestras estándares, de control o de descarte, lo cual debe documentarse. ⁽⁴¹⁾ Por ejemplo: muestras de alfombra quemada y muestras de alfombra sin quemar. De igual manera aplica para cojines, cortinas, etc. Cuando se emplean acelerantes el fuego se desarrolla muy rápidamente y de manera virulenta, pero tienden a depositarse en hendiduras por que los vapores emitidos son los que arden y no el propio líquido.

Por esta razón la recolección y embalaje de esta clase de sustancias tienen que ser realizados por personal experto con la técnica recomendada, para ser enviado adecuadamente al Laboratorio de Química.

Igualmente, los incendiarios recurren a la utilización de artefactos incendiarios y a la manipulación de electrodomésticos y circuitos eléctricos para utilizarlos como fuentes de ignición. Por ello, es necesaria que la recolección de los indicios de este tipo sea asesorada por un experto que permita determinar la importancia y valor probatorio de los mismos. ⁽⁸⁾

Para el embalaje de muestras de incendio se deberán utilizar frascos de boca ancha, limpios y de cristal con cierre de rosca. No son recomendables los de plástico, debido a que el material plástico puede incidir sobre los componentes de la muestra y alterar los resultados de la misma; así mismo, el recipiente de vidrio con cierre hermético debe ser sin juntas de material plástico ni de goma, ya que de la misma forma pueden enmascarar componentes de la muestra. Dan buen resultado los frascos de cristal con cierre metálico, bien lavados y enjuagados.

Los contenedores ideales para las muestras son: botes sin forrar (interior metal raso), tarros con tapaderas (cierre hermético de $\frac{1}{4}$ de vuelta), trozos planos de cristal, tazas de espuma de poliestireno y bolsas de plástico. ⁽⁹⁾

5.4. Transporte y almacenamiento de indicios

Los indicios pueden ser encontrados tanto en la escena del delito, en el cuerpo de la víctima o del victimario, como de las áreas relacionadas, ya sean próximas o distantes. Su manejo inadecuado conduce a su contaminación, deterioro o destrucción, siendo éstas las causas más frecuentes que impiden su posterior examen en el laboratorio. Se debe tener presente que en el laboratorio sólo se estudia lo que se envía y que el análisis se inicia sobre el indicio que se recibe, no sobre el que se manda, por lo cual si durante el trayecto o el tiempo transcurrido éste se altera, será sobre esa evidencia alterada sobre la que se iniciarán los análisis. ⁽⁴⁰⁾

Para el transporte y almacenamiento de las muestras es de suma importancia el etiquetado de las mismas. El etiquetado consiste en anotar las referencias del indicio probatorio de que se trate, relacionándolo con el incendio y la causa que se siga por este hecho presuntamente delictivo. Como mínimo deberá contener la etiqueta: un número de referencia, lugar, hora y fecha de recogida, ubicación de la muestra y datos de identificación de los que realizan la recolección de muestras.

En el caso del almacenamiento, los frascos se deberán guardar en un lugar fresco y seguro hasta su traslado a un refrigerador, si es necesario.

El almacenamiento y traslado se deberá hacer con las debidas garantías para que las muestras no se deterioren. ⁽⁹⁾

5.5. Cadena de custodia

Con la modificación actual al sistema procesal mexicano, que ha pasado de un procedimiento penal inquisitivo al procedimiento acusatorio y oral, ⁽⁴²⁾ las diferentes entidades que participan en una investigación pericial, deben tener un manejo eficiente y adecuado de las evidencias e indicios, haciéndose necesario un óptimo trabajo práctico en el lugar de los hechos. Se inicia dicho trabajo práctico fijando las evidencias e indicios encontrados, protegiéndolos adecuadamente, levantándolos mediante el uso de los procedimientos criminalísticos propios para cada tipo de evidencia e indicio, embalándolos para evitar su destrucción y asegurando una buena Cadena de custodia, incluso hasta el momento mismo del juicio. ⁽⁴³⁾

La Cadena de custodia se define como: El procedimiento de control que se aplica al indicio o evidencia material ya sea vestigio, huella, medio de comisión, objeto material o producto relacionado con el delito, desde la localización por parte de una autoridad, policía o agente del Ministerio Público, hasta que la autoridad competente ordene su conclusión, según se trate de la averiguación previa o el proceso penal. ⁽⁴⁴⁾ (Fig. 11)

La Cadena de custodia iniciará donde se descubra, encuentre o levante la evidencia física y finalizará por orden de la autoridad competente al término de los análisis correspondientes en el laboratorio o al ser presentada en un juicio.

Fig. 11. Formato del Registro de Cadena de Custodia.

La Cadena de custodia pierde su valor cuando no se registra todo lo que acontece a los indicios o evidencias. Esto significa que la Cadena de custodia no se rompe cuando, por alguna razón, se modifica, se altera o se pierde la evidencia, sino cuando dicha modificación, alteración o pérdida no se documenta en el registro de Cadena de custodia. ⁽⁴⁵⁾

6. ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE LAS MUESTRAS

6.1. Pruebas preliminares o presuntivas

Si un líquido inflamable ha sido vertido directamente sobre el suelo, pueden quedar rastros que empapen todavía la madera. Kirk, ⁽⁴⁶⁾ refiere un método para demostrar la presencia de tales sustancias, sin necesidad de caracterizarlas químicamente. Se proyecta un polvo coloreado, insoluble en el agua, pero soluble en los disolventes orgánicos (rojo escarlata, rojo sudán No. 3), en el lugar que se supone se ha rociado de líquido inflamable. Si existe todavía algún rastro de éste, los granos del colorante se disuelven y forman manchas sobre la madera. Pero, en realidad, este procedimiento carece de precisión.

Otra prueba simple, pero eficaz, de detectar residuos es la siguiente: colocar parte de los restos de la zona de origen en un recipiente con agua clara. Si el líquido inflamable o combustible ha empapado los desechos, se formará una película oleosa en la superficie del agua. ⁽⁹⁾

Actualmente, existen en el mercado detectores de gases portátiles “in-situ” que sirven para supervisar una gran variedad de gases en numerosas condiciones y aplicaciones; como por ejemplo, para los niveles de exposición ocupacional o los niveles de detección de fugas de gas de acuerdo con las normas internacionales.

Estos detectores portátiles son básicos en el equipo contra incendios de los bomberos y funcionan succionando una muestra del aire circundante y mediante un sensor (catalítico, de infrarrojo, fotoionización o celdas electroquímica), muestran la concentración de gas detectado ya sea en partes por millón (ppm) o en % de LEL. El LEL o Límite inferior de explosividad (Lower Explosive Limit) es el porcentaje mínimo, en volumen, de un gas que, mezclado con aire a temperatura y presión normales, forma una mezcla inflamable. Por debajo de este límite no se formará ninguna atmósfera explosiva. ^(47,48) Los gases que se pueden detectar son: sulfuro de hidrógeno (H_2S), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O_2), dióxido de azufre (SO_2), fosfano (PH_3), amoníaco (NH_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), cianuro de hidrógeno (HCN), cloro (Cl_2), dióxido de cloro (ClO_2), ozono (O_3) y otros gases inflamables. Sin embargo pueden ser más o menos gases dependiendo del modelo utilizado.

Sin embargo, el método más preciso para identificar estos líquidos lo constituye el empleo de técnicas instrumentales estandarizadas.

6.2. Pruebas confirmatorias

Se han desarrollado diversas técnicas de identificación de acelerantes en evidencia de incendios, las cuales se han ido perfeccionando con el tiempo de modo que en la actualidad se puede detectar intencionalidad en dichos siniestros con altos grados de sensibilidad y confianza. Las técnicas de análisis van encaminadas a la simple identificación cualitativa de los compuestos, cuya presencia en los residuos pueda indicar la existencia de algún tipo de acelerante en el incendio. Aunque los compuestos que se pueden considerar acelerantes son numerosos, se suelen considerar como más habituales los alcoholes, combustibles procedentes del petróleo (gasolina, fueloil, queroseno, etc.), esencia de trementina y acetonas.⁽⁴⁹⁾

i. Cromatografía de Gases (GC)

Si se usa un acelerante para iniciar un fuego, se pueden usar pequeñas cantidades recolectadas después del incendio para identificar el tipo de líquido inflamable utilizado. Los compuestos presentes en una muestra de gasolina son diferentes de los hallados en una muestra de queroseno. Para identificar el acelerante se debe averiguar qué tipos de compuestos hay en la muestra. La Cromatografía de Gases (GC, por sus siglas en inglés) es el método ideal para analizar líquidos volátiles, porque separa los compuestos basándose en sus puntos de ebullición y su polaridad.

La muestra a analizar se carga en una jeringa y se inyecta en un puerto inyector caliente. La cantidad de muestra que se necesita es muy pequeña, cuestión de algunos microlitros. El inyector caliente sirve para dos propósitos: evapora la muestra líquida y la introduce en la columna que contiene la fase estacionaria. La fase móvil, normalmente gas helio (otros gases utilizados son helio y nitrógeno), transporta la muestra a través de un tubo de vidrio estrecho y largo, llamado columna capilar. La columna capilar tiene su superficie interior recubierta con una capa fina de un líquido no volátil, que es la fase estacionaria. La columna capilar se coloca dentro de un horno para poder controlar la temperatura. Los compuestos más volátiles de la muestra son aquellos que tienen el punto de ebullición más bajo, y por lo tanto, son arrastrados rápidamente por el gas helio a través de la columna. Los compuestos que tienen polaridades similares a la fase estacionaria tardan más en alcanzar el detector. La temperatura de la columna aumenta en el transcurso del proceso, de manera que los compuestos con punto de ebullición más altos podrán viajar por la columna hasta el detector en un tiempo razonable.

Cuando cada compuesto alcanza el detector, ello provoca una respuesta en la cual la altura del pico es proporcional a la concentración del compuesto en la muestra. El tiempo desde la

inyección de la muestra hasta que se detecta el pico de respuesta del compuesto se llama tiempo de retención. Mientras todas las muestras se analicen en el mismo equipo cromatográfico usando el mismo método, el tiempo de retención de cada compuesto no cambiará. Se compara entonces un gráfico de los datos, llamado cromatograma, con cromatogramas de acelerantes conocidos.

Si el investigador de un incendio provocado cree que se vertió un acelerante sobre una alfombra, recogerá una muestra de la alfombra lejos del punto sospechoso de ser el origen del fuego. Esto se llama muestra blanca, porque se utiliza para determinar la cantidad de compuestos orgánicos del entorno. Algunos de los mismos compuestos de la gasolina y el queroseno se pueden encontrar en limpiadores domésticos, insecticidas y adhesivos que se usan para las alfombras y los suelos laminados. Estos compuestos se pueden producir como resultado de la pirolisis de plásticos y polímeros. Si no se evalúa una muestra blanca, cualquiera de ellos podría dar un resultado falso positivo como acelerante.

Las muestras sospechosas de incendios provocados normalmente consisten en madera carbonizada, ropa o alfombra tomadas de la escena del fuego. Para aislar los posibles acelerantes, las muestras se sellan en viales herméticos. Si está presente un acelerante como la gasolina o el queroseno, se obtienen los vapores de estos líquidos desde el contenedor sellado. Entonces se toma una muestra del aire que rodea a la muestra con una jeringa hermética y se inyecta en un sistema de Cromatografía de Gases para su análisis.

Un método más sofisticado, llamado Cromatografía de Gases-Espectroscopia de Masas (CG-MS), se usa para medir no sólo el tiempo de retención sino también la masa molecular de cada compuesto.⁽²²⁾

ii. Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (HPLC)

Debido a su volatilidad, los acelerantes son particularmente sensibles a la Cromatografía de Gases. Sorprendentemente puede que no se clasifique correctamente una muestra, incluso después de 90 por ciento de su evaporación. Esto debido a que algunas sustancias como la gasolina, muestra en sus perfiles cromatográficos poca semejanza entre la gasolina evaporada y la no evaporada,⁽⁵⁰⁾ como se muestra en la figura 12:

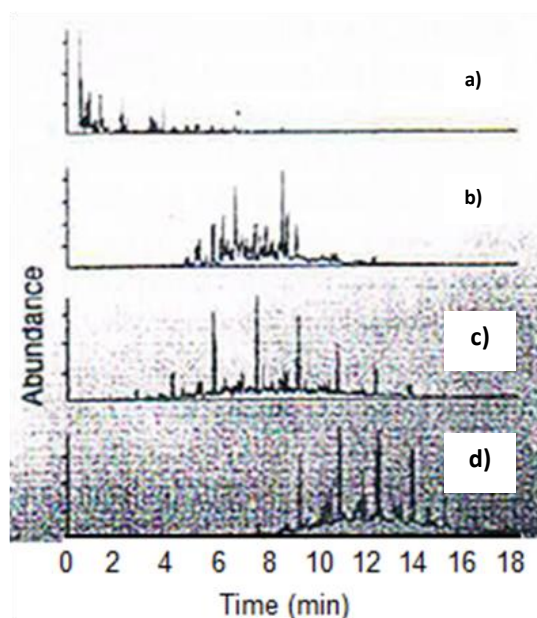


Fig. 12. Perfiles cromatográficos de a) gasolina sin evaporar; b) gasolina evaporada al 90 por ciento; c) keroseno sin evaporar y; d) keroseno evaporado al 90 por ciento.

Aunado a lo anterior, algunos de los residuos de incendios se descompondrían si se les vaporizara, por lo anterior se opta por utilizar la Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución. La Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución, es una técnica cromatográfica usada para separar componentes usando una variedad de interacciones químicas entre el analito y la columna cromatográfica. Básicamente es un sistema compuesto de un reservorio de fase móvil, bomba, inyector, columna de separación y detector. El analito se pasa a través de una columna de la fase estacionaria bombeando la fase móvil líquida con alta presión. La muestra se introduce en pequeños volúmenes a la corriente de la fase móvil y allí se retarda por medio de interacciones químicas con la fase estacionaria mientras atraviesa la columna. El retardo se conoce como tiempo de retención, único para cada analito, y depende de la naturaleza del analito, de la fase estacionaria y de la composición de la fase móvil. Los disolventes más comunes usados en la fase móvil son combinaciones de agua purificada con líquidos orgánicos, los más comunes son Metanol y Acetonitrilo, también suelen usarse sales y bufferes para contribuir a la separación de componentes. También, se usa el Ácido Trifluoroacético para actuar como formador de pares iónicos. Estas combinaciones introducen el concepto de gradiente de elución, el cual consiste en la variación de la composición de la fase móvil, para adaptarse a los diferentes analitos y conseguir mejores resultados. El gradiente separa la matriz del analito en función de su afinidad

por la composición de la fase móvil. Cada analito tiene un gradiente de elución óptimo para obtener la máxima separación de picos en el detector.⁽⁵¹⁾

Los acelerantes y sustancias químicas inflamables se mueven a lo largo de la columna a velocidades diferentes de las otras sustancias residuales, como ceniza, madera, plástico o fibras quemadas, lo cual permite su identificación.⁽²²⁾

iii. Espectrometría de Masas (MS)⁽⁵²⁾

Uno de los instrumentos más sencillos y de mayor alcance que un químico forense tiene en el laboratorio para analizar pruebas es el Espectrómetro de Masas, que permite determinar con exactitud la masa molecular de una sustancia desconocida. La Espectrometría de Masas se basa en la capacidad de un campo magnético para desviar un ion en movimiento. El ángulo con que cada ion se desvía por el campo magnético depende de dos variables: la masa (m) y la carga (z) del ion. Para cada muestra se determina el número de iones de cada relación masa-carga y se grafica contra abundancia, con esta técnica se pueden observar también isótopos.⁽²²⁾

El mayor beneficio de la Espectrometría de masas es su relativamente respuesta uniforme a los alcanos, bencenos alquilados, cicloalcanos, indanos y naftalenos. Algunos de estos compuestos no producen fuertes iones moleculares, pero todos producen una abundancia de iones de fragmentación común que pueden ser utilizados para identificar acelerantes. Aunado a lo anterior, la Espectrometría de Masas es particularmente efectiva para componentes en niveles traza.

Un Espectrómetro de Masas puede ser considerado como un detector ajustable para componentes basados en destilados de petróleo. La selectividad de la Espectroscopia de Masas hacia una clase de sustancias dada depende de la singularidad de los patrones de fragmentación. Las interferencias de la matriz no deben producir fragmentos de masa similares a aquellos producidos por los acelerantes. Si varios iones pueden ser encontrados, éstos son característicos para una clase de sustancias, por lo cual la especificidad se incrementa.

Un Espectrómetro de Masas puede ser considerado como un filtro contra interferencias así como un dispositivo que puede ser ajustable hacia compuestos de interés. Los perfiles de iones pueden ser extraídos desde cromatogramas complejos para establecer o descartar clases específicas de sustancias. El término Cromatografía Reconstruida Iónica, describe una técnica en la cual información específica de una sustancia es obtenida de cromatogramas. Los cromatogramas reconstruidos iónicamente permiten al analista centrarse en compuestos de interés. La gran parte

del ruido químico de componentes de fondo puede ser eliminado o al menos atenuado. En el caso de sustancias basadas en petróleo solamente unas pocas clases de sustancias son de interés. Estos son primordialmente alcanos y alquilbencenos. Los fragmentos de masa han sido propuestos para monitorear iones apropiados. La cuestión de la selectividad hacia interferencias es fundamental para el éxito del Espectrómetro de Masas como un detector específico de acelerantes.

La evaluación de los datos en un análisis de acelerantes es usualmente llevada a cabo por comparación visual de cromatogramas, por lo que el analista debe estar en posición de reconocer el perfil de un acelerante. Todos los factores que puedan alterar un perfil cromatográfico, como por ejemplo, la evaporación parcial o el desgaste de la muestra deben ser considerados. ⁽⁵³⁾

iv. Espectroscopia de energía dispersiva de Rayos X (EDX) ⁽⁵⁴⁾

La Espectroscopia de energía dispersiva de Rayos X se utiliza para identificar la composición elemental de una muestra. Esta técnica se encuentra integrada generalmente a un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), ya que se aprovecha la energía característica de los Rayos X emitidos en el SEM debido a las interacciones de su haz de electrones con el material. La emisión de Rayos X es utilizada para identificar la composición elemental de una muestra, ya que un átomo emite Rayos X con cantidades únicas de energía durante el retorno a su estado de equilibrio cuando ha sido previamente excitado por un haz de electrones muy energético. ⁽⁵⁵⁾ Así, midiendo las cantidades de energía presentes en los Rayos X que son emitidas por un espécimen en particular durante el bombardeo del haz de electrones, la identidad del átomo del cual los Rayos X fueron emitidos puede ser establecida.

Un espectro de EDX exhibe normalmente los picos que corresponde a los niveles de energía para los cuales la mayoría de los Rayos X han sido recibidos. Cada uno de estos picos es único a un átomo, y por lo tanto corresponde a un solo elemento, es decir, el pico en un espectro corresponde a un elemento presente en la muestra. Las posiciones de las líneas (picos con energías apropiadas) dan la información sobre la composición cualitativa de la muestra. El número de cuentas de los Rayos X corresponde a la concentración de los elementos (altura del pico).

Esta técnica puede ser empleada para detectar los productos residuales de la combustión de las formulaciones antidetonantes de gasolinas con plomo. Puede proveer una técnica de barrido cuando grandes cantidades de evidencia son encontradas y sirve como una herramienta adicional al análisis de evidencias de restos de incendios provocados.

Los compuestos de alquil-plomo y bromuros son comúnmente adicionados a gasolinas para obtener octanajes adecuados. Estos aditivos pueden ser incorporados a las gasolinas en concentraciones de uno a tres gramos de plomo libre y 17 por ciento de bromuro de etileno por galón de producto comercializado. La combustión al aire libre de estas gasolinas resulta en un residuo no volátil que incluye fácilmente concentraciones detectables de bromo (Br) y plomo (Pb).

Se realizó un estudio aplicando 2 mL de gasolina con plomo en aproximadamente 6 cm² (1 plg) de varios materiales de construcción y substratos (madera, ropa, alfombra, plástico, teja, cojín, ladrillo, piedra, superficies metálicas, cuerda, vidrio y papel). Se permitió que se quemaran hasta que se extinguieran las llamas. Tras secar al aire las muestras hasta que no se pudieron detectar hidrocarburos mediante Cromatografía de Gases, los restos fueron quemados y se sometieron al análisis EDX para plomo y bromo.

Los resultados obtenidos fueron espectros que identificaban plomo y bromo, componentes de la gasolina, como ejemplo tenemos los espectros obtenidos de muestras de alfombra quemada, mostrados en la figura 13. Además el estudio arrojó que el substrato sobre el cual la gasolina se quema tiene un gran efecto en la cantidad de bromuro de plomo retenido. Las áreas superficiales mayores (materiales absorbentes) como la ropa y alfombras retienen tanto como 3 veces la cantidad que retienen superficies no absorbentes, como el vidrio o metal. Este fenómeno se piensa es atribuible a que los vapores son atrapados dentro de las “cavidades” de la matriz del material y son quemados en lugar de escapar por la volatilización.

Los límites para plomo y bromo en muestras de superficies no absorbentes, suficientes para realizar un análisis EDX es de aproximadamente 0.70 µg/cm², aunque estos límites varían dependiendo de la matriz de la muestra.

Por lo tanto, este método puede ser utilizado como complemento de análisis de residuos volátiles en la demostración que las fracciones de hidrocarburos aromáticos detectados son a partir de gasolina y no de otro producto que contenga destilados similares de petróleo.

La desventaja de este método es que no es aplicable a gasolinas sin plomo debido a que el octanaje requerido es logrado a través de mezclas de hidrocarburos de alto número de octanos en lugar de aditivos.

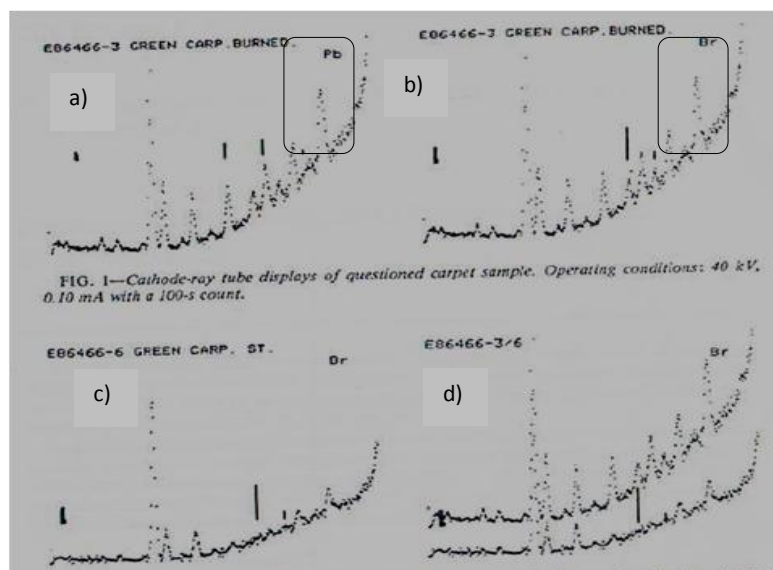


Fig. 13. Espectros que muestran plomo y bromo detectados en muestras de alfombra quemada a) y b). Espectros de muestras estándar c) y d).

v. Espectrometría por Infrarrojo

La radiación infrarroja puede usarse para identificar grupos funcionales presentes en un compuesto químico y se usa comúnmente en los laboratorios forenses para analizar compuestos orgánicos. Cuando la radiación infrarroja que incide en la muestra se escanea en la región de los grupos funcionales, todos los grupos funcionales presentes en la muestra absorben energía. Esto crea una región de “huellas dactilares”. Para la radiación infrarroja, la unidad tradicional que se usa para especificar la frecuencia o la longitud de onda de la radiación es el número de onda, que es el número de ondas por centímetro. La región del grupo funcional ($4000\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$), muestra un modelo de absorción característico o bandas para cada uno de los grupos funcionales presentes en la muestra analizada; mientras que la región de huellas dactilares ($1300\text{ a }900\text{ cm}^{-1}$), proporciona un modelo de bandas de absorción para cada molécula y se crea como contribución de todos los átomos de la molécula que están vibrando. Esto crea un modelo único que no lo reproduce ninguna otra molécula. ⁽²²⁾

La Espectroscopia Infrarroja es ampliamente utilizada en derrames petroleros marítimos, pero esta técnica no puede distinguir entre sustancias que constituyen un acelerante y aquellos derivados de productos de pirólisis. ⁽⁵⁴⁾ No obstante existen en el mercado equipos acoplados de Infrarrojo con Cromatografía de Gases que brindan una solución para el análisis de muestras muy diluidas. ⁽⁵¹⁾

III. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El análisis forense de un incendio implica un trabajo multidisciplinario, dado que se debe de encontrar la causa, el punto de inicio del fuego, la sustancia inflamable que se utilizó y su identificación y, si lo amerita el caso, la autopsia del cuerpo.

Es por ello que el manejo adecuado de la evidencia obtenida en un incendio adquiere mucha importancia y más aún su análisis químico, ya que de los resultados de los análisis dependerá si el incendio se declara premeditado o no y además aporta información para el caso de investigación. Debido a lo anterior, es de suma importancia que el químico forense tenga los conocimientos necesarios sobre las técnicas analíticas más utilizadas para que las pueda enfocar en el análisis de una muestra con posibles sustancias inflamables y sobre la forma en cómo se lleva a cabo una investigación de un incendio para que pueda informar y/o ayudar al perito sobre el adecuado manejo de la evidencia.

Aunque existe literatura que trata este tema desde el punto de vista químico y criminalístico, desafortunadamente muy poca literatura engloba los dos aspectos, la información está dispersa, no está disponible fácilmente y puede llegar a tener un costo, por ello este trabajo pretende ser una recopilación de material bibliográfico que proporcione un panorama general relacionado a los incendios provocados, y que abarque desde el estudio del lugar de los hechos hasta profundizar en el análisis químico de indicios tomando en cuenta que el analista necesita entregar resultados confiables y de manera rápida. Este trabajo tiene la finalidad de ser un apoyo principalmente para los químicos, sin excluir a los investigadores, que enfrenten el reto de llevar a cabo el análisis de una muestra obtenida de una investigación de un incendio provocado.

IV. OBJETIVO GENERAL

Proponer un esquema general que indique los puntos más importantes a tomar en cuenta en la investigación de un incendio, iniciando en la escena del incendio y terminando con la identificación de la sustancia inflamable utilizada, haciendo énfasis en el análisis químico forense de sustancias inflamables.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Conocer la química del fuego.
- Revisar los aspectos criminalísticos en la investigación de un incendio.
- Compilar las propiedades de las principales sustancias inflamables (acelerantes) utilizadas en incendios intencionales.
- Conocer las técnicas analíticas que permitan un análisis instrumental de muestras obtenidas de un incendio.
- Comparar dichas técnicas de análisis químico, evaluando las ventajas y desventajas de cada una.

V. METODOLOGÍA

El estudio que se pretende llevar a cabo va a ser de tipo retrospectivo, ya que se basará en la información existente; y de forma longitudinal, es decir, no abarca otros temas. Se realizará en tres etapas:

1º ETAPA: Búsqueda temática

Consiste en seleccionar el tema a investigar a través del reconocimiento de preferencias, influencias, motivaciones y/o estímulos que se han recibido en el transcurso de estudios o de experiencias de vida y/o laborales. Se produce una búsqueda bibliográfica para localizar y organizar todo el material que se encuentre sobre el tema, ya sea en libros, revistas, artículos científicos, videos, etc. Se crea una base de datos en donde se van descargando los datos, textos, información de especialistas, etc.

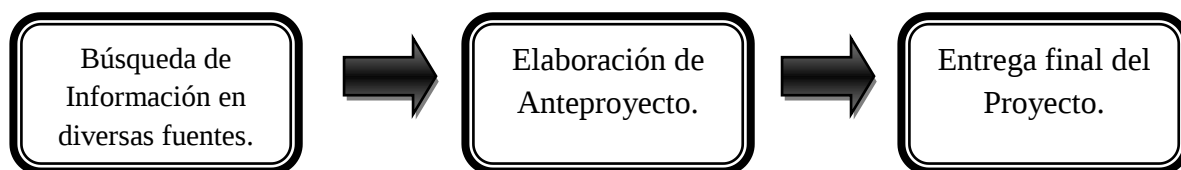
2º ETAPA: Elaboración del Anteproyecto de Tesina

El Anteproyecto es una propuesta para iniciar la investigación, en la cual se registra la información de la lectura, análisis e interpretación del contenido del material bibliográfico encontrado acerca del tema de investigación. Además ayuda a fijar los objetivos del tema, el método a utilizar y definir el problema de investigación.

3º ETAPA: Entrega de Informe Final

El Informe Final es el trabajo que se somete a revisión de los sinodales para ser aprobado y ser presentando como examen para obtener el título de Químico Farmacéutico Biólogo. Consiste en plasmar toda la información encontrada del tema de investigación, dando cumplimiento al problema y a los objetivos indicados en el Anteproyecto.

La secuencia de actividades a seguir para la elaboración del proyecto es la siguiente:

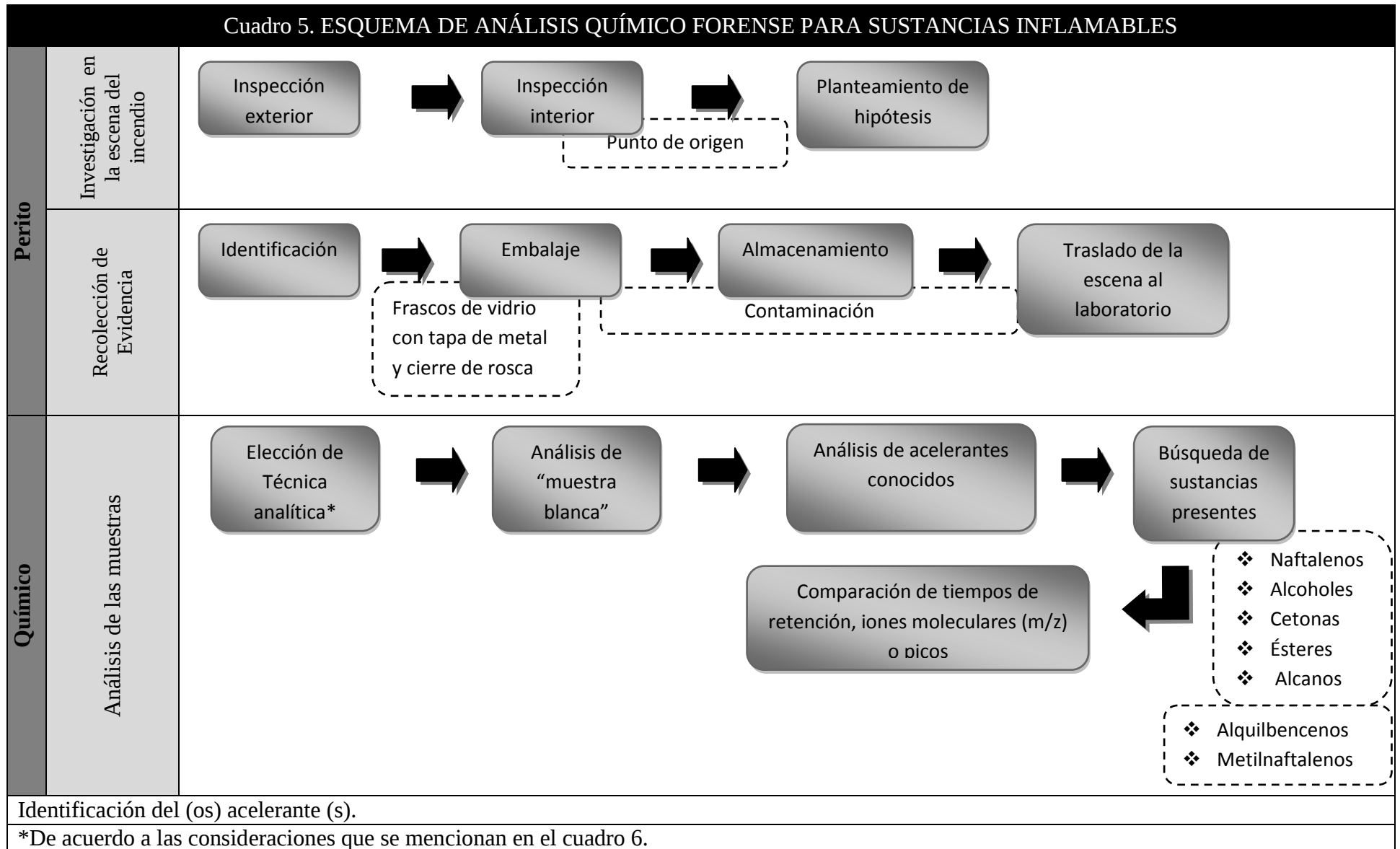


VI. RESULTADOS

Cuadro 4. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS PRINCIPALES ACELERANTES UTILIZADOS EN INCENDIOS RPOVOCADOS									
ACELERANTE PROPIEDAD	Gasolina ⁽²⁶⁾	Esencia de Trementina ⁽²⁷⁾	Aguarrás mineral ^(28,60)	Alcohol ^(29,61)	Thinner ⁽⁵⁷⁾	Petróleo combustible ⁽³¹⁾	Queroseno ⁽³²⁾	Fueloil ⁽⁵⁸⁾	Gasóleo ^(26, 59)
Apariencia	Líquido transparente, con olor característico	Incoloro, con olor característico	Líquido transparente, incoloro. Olor ligeramente aromático	Incoloro, con olor etéreo a vino y sabor picante	Incoloro, con olor característico	Líquido viscoso e incoloro	Es un líquido aceitoso, transparente o amarillo pálido	Líquido negro a temperatura ambiente	Líquido oleoso con olor característico
Punto de ebullición (rango de destilación)	20-200 °C	149 a 180 °C	149 °C a 213 °C	79 °C	98 °C a 105°C	218-643 °C	175-300 °C	150-600 °C	275 °C a 400 °C
Densidad relativa de vapor (aire=1)	3 - 4	4.6 a 4.8	5 a 7 veces más pesado que el aire.	1.6	4.8	Despreciable	4.5	Dato no disponible	3.4
Densidad relativa (agua=1)	0.70 - 0.80	0.9	0.81	0.8	0.8	0.81-0.894	0.8	Dato no disponible	0.82 – 0.845
Punto de inflamación	< -21°C	30 a 46 °C	Mínimo 37.8 °C	12.7 °C	Mínimo 43 °C	115 °C	35-63 °C	>60 °C	Mínimo 55 °C
Solubilidad en agua (g/100 mL)	insoluble	insoluble	insoluble	miscible	insoluble	insoluble	insoluble	despreciable	despreciable
Temp. de autoignición	alrededor de 250 °C	220 a 255 °C	alrededor de 210 °C.	363 °C	229 °C	260-371 °C	220 °C	>250 °C	338 °C
Punto de fusión	-50 a -60 °C	-50 a -60 °C	Dato no disponible	-114.1 °C	-34 °C	Dato no disponible	<-48 °C	<30 °C	Dato no disponible
Presión de vapor (kPa a 20° C)	0.25 a 0.67	0.25 a 0.67	Menor que 15,8 kPa	5.8	<0.3	Despreciable	Despreciable	Dato no disponible	Dato no disponible

VI. RESULTADOS

Cuadro 5. ESQUEMA DE ANÁLISIS QUÍMICO FORENSE PARA SUSTANCIAS INFLAMABLES



VI. RESULTADOS

Cuadro 6. COMPARACIÓN ENTRE TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA ANÁLISIS QUÍMICO ^(51, 62)

	Cromatografía de Gases	Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución	Espectroscopia de Masas	Espectroscopia de Energía Dispersiva de Rayos X	Espectrometría por Infrarrojo
Destrucción de muestra	No	No	No	No	Si
Nivel de detección (Sensibilidad)*	1 pg (detect. Ionización por llama)	10 pg (detect. absorbancia)	0.25-100 pg (acoplada a CG)	0.70 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ⁽⁵⁴⁾ (depende de la matriz de la muestra)	0.2-40 ng (acoplada a CG)
Exactitud	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Precisión	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Tiempo total de análisis**	Rápido	Rápido	Rápido	Rápido	Rápido
Simplicidad de preparación de muestra	Fácil	Fácil	Relativamente fácil	Fácil	Media a difícil (dependerá del tipo de muestra)
Requerimientos de tamaño de muestra	Muestras pequeñas (g /mL)	Muestras pequeñas (g /mL)	Muestras muy pequeñas (mg /mL)	Muestras pequeñas (g /mL)	Muestras muy pequeñas (mg /mL)
Cualitativo o Cuantitativo	Ambos	Ambos	Ambos	Ambos	Cualitativa
Costo aprox. del instrumento/equipo	10,000 dólares	15,000 dólares	50,000 dólares	20, 000 a 100, 000 dólares	15, 000 a 200, 000 dólares
Experiencia del operador requerida	Poca	Poca	Poca	Media	Poca
Control de los efectos de la matriz e interferencias	Fácil (req. patrón)	Fácil (req. patrón)	Fácil	Difícil	Difícil
Técnica útil para el análisis de sustancias inflamables	Si. Es ideal para analizar líquidos volátiles	Si. Permite el análisis de compuestos traza	Si. Respuesta relativ. uniforme a alcanos, bencenos, naftalenos	Si. Es ideal para muestras complejas aunque no es aplicable a gasolinas sin plomo	Si. Determina Hidrocarburos de bajo peso molecular
*El nivel de detección podría variar dependiendo del tipo de detector que utilice cada instrumento. **De preferencia se debe tener un método desarrollado para este tipo de muestras.					

VII. DISCUSIÓN

El presente trabajo está dirigido a los químicos forenses que trabajan como peritos o como químicos analistas en alguna procuraduría de justicia del país. Le permite al químico colaborar con el perito en una investigación de un incendio. Esto es posible ya que el químico tendrá un panorama general sobre como es la selección, recolección y embalaje de la evidencia, y por otro lado el perito sabrá el tratamiento de una muestra para su posterior análisis. Y así, teniendo ambos lados la información se podrá tener una investigación más completa y enriquecida.

La mayoría de los acelerantes más comunes usados en los incendios provocados son un grupo de líquidos muy inflamables y fácilmente accesibles, cuya característica principal es que son mezclas homogéneas obtenidas durante el procesado del petróleo crudo. Cada producto obtenido en el refinado del petróleo crudo tiene una serie única de compuestos. La mezcla de compuestos que componen la gasolina es diferente de la mezcla de compuestos que componen el queroseno. Sin embargo, existen compuestos similares presentes en dichas mezclas como los alcanos y alquilbencenos, por lo que el analista deberá tener esto en cuenta y prestar atención en los compuestos que diferencian a los acelerantes entre sí. Una característica muy importante de los acelerantes es su volatilidad, y durante la investigación de un incendio es de vital importancia el tiempo de recolección en una investigación forense de un incendio. Es muy importante que no pase mucho tiempo desde la notificación del incendio hasta la recolección de muestras.

Como ya se mencionó, en los incendios se tiene la desventaja de la degradación y/o pérdida de evidencia debido a la acción del fuego, ya sea ocasionando su pirólisis, descomposición o evaporación, por ello es muy importante para la conservación de la muestra y de su validez como evidencia, su manejo adecuado el cual engloba el embalaje, traslado y almacenamiento. El embalaje de evidencia de posibles acelerantes se realizará en envases de vidrio de boca ancha y de cierre hermético sin juntas de material de plástico o goma. El traslado de la muestra hacia el laboratorio debe de ser a la brevedad posible para evitar contaminación o deterioro y debe estar etiquetada. Su almacenamiento debe ser en un lugar seguro y fresco, si la muestra no se degrada se puede refrigerar; y se complementa lo anterior con el registro de Cadena de custodia.

Actualmente existen diversas técnicas analíticas pero debido a que presentan los inconvenientes de ser equipos demasiado costosos, que requieren mucha experiencia del operador o condiciones

ambientales y estructurales muy específicas, en el presente trabajo se presentan y discuten las técnicas más comunes, accesibles y que son útiles específicamente para el análisis de sustancias inflamables de interés en el ámbito de incendios. Como ejemplo de lo anterior, se encuentra la Espectrometría de Masas con Plasma acoplado por Inducción que es utilizada para el análisis elemental, debido a sus muy bajos niveles de detección, su alto grado de selectividad y sus razonablemente buenas precisión y exactitud. Están además, la Espectrometría de Masas con Acelerador, la Cromatografía Gas-Sólido, la Cromatografía de Fluidos Super Críticos, por mencionar algunas.

La Cromatografía de Gases es una muy buena técnica para el análisis de sustancias inflamables, ya que es ideal para compuestos volátiles, además es una técnica que permite una buena separación, velocidad, sensibilidad, y tanto las técnicas como el instrumental son relativamente fáciles de comprender. Sin embargo, sólo pueden manipularse muestras que se puedan volatilizar (característica que generalmente no tienen los compuestos iónicos), y que no sean termolábiles; a menudo es necesario eliminar interferencias en la muestra; la inyección de la muestra debe ser exacta y las condiciones del sistema no deben cambiar de una inyección a otra.

En la Cromatografía de Líquidos se puede modificar la temperatura para favorecer el análisis de una muestra; su uso es más universal siendo la limitante su capacidad de disolución en los disolventes que se utilizan. Pero, el costo de la instrumentación, los métodos son menos simples, menos rápidos y menos sensibles en comparación a la Cromatografía de Gases.

La Espectrometría de Masas permite una identificación inequívoca de casi cualquier tipo de sustancia, es una técnica rápida, fácil de usar, genera espectros fácilmente interpretables, pero tiene un costo elevado.

La Espectroscopia de energía dispersiva de Rayos X tiene la ventaja de ser una técnica diseñada para el análisis elemental y cuya sensibilidad está en el rango de microgramos. Y su desventaja principal radica en que sólo es aplicable a gasolinas con plomo ya que el octanaje requerido es logrado a través de la adición de compuestos de alquil-plomo y bromuros.

La Espectrometría por Infrarrojo se usa para analizar compuestos orgánicos, es una técnica rápida y se pueden usar muestras sólidas, líquidos y gases. Su limitación es que no trabaja bien con mezclas complicadas, porque el espectro resultante refleja la absorción de todos los compuestos de la muestra.

Los métodos acoplados, que no es otra cosa que la combinación de 2 técnicas instrumentales, proporcionan resultados analíticos mejores que los que se obtienen con cada método por separado. Acoplando las técnicas de Cromatografía de Gases y la Espectrometría de Masas se puede llevar a cabo la separación e identificación más precisa de los componentes de los acelerantes. El cromatograma obtenido por Cromatografía de gases permite la comparación con un gran número de posibles compuestos y el espectro de masa verifica la identificación.

VIII. CONCLUSIÓN

Con la elaboración del presente trabajo se concluyen los siguientes puntos:

- Se elaboró un esquema que permite al químico una visión de los puntos clave para llevar a cabo una investigación de la escena de un incendio, además se elaboraron dos cuadros que le aportan información útil para poder llevar a cabo el análisis químico de una muestra obtenida en el lugar del incendio.
- Se llevó a cabo la revisión de información sobre los tipos de fuego, los incendios, sus causas y productos derivados de la combustión con la finalidad de que el químico tenga presente dicha información al momento de llevar a cabo el análisis químico de una muestra obtenida en el lugar del incendio.
- Se revisó la información sobre la investigación forense de incendios, y se visualizó que la investigación de un incendio incluye un amplio rango de participantes y de conocimientos. Todos y cada uno de los eslabones dentro de la investigación, iniciando con los testigos oculares y finalizando con los químicos analistas juegan un papel vital para indicar el cómo, el quién y el con qué de un incendio; además, la evidencia juega un papel muy importante y es mediante la cadena de custodia que cuidamos su trazabilidad, para que pueda ser una prueba válida durante un juicio.
- Se recopilaron características fisicoquímicas de los acelerantes más comunes, notando que comparten propiedades muy similares, por lo que es fundamental que el analista tenga el conocimiento y la habilidad de poder manipular la muestra, ya sea por ejemplo, enriqueciéndola o purificándola.
- Se revisó la información sobre técnicas analíticas que lleven a cabo un análisis de sustancias inflamables. Todas las técnicas analíticas pueden aportar información útil, sin embargo, el analista deberá optar por la técnica o técnicas a utilizar dependiendo de las características de la muestra. Posteriormente a la evaluación de las ventajas y desventajas de las técnicas presentadas en este trabajo, se concluye que la técnica analítica que nos permite una mejor identificación de muestras de acelerantes es la Cromatografía de Gases acoplada a la Espectrometría de Masas.

IX. REFERENCIAS

- 1.- Incendios y Explosiones. Buenas Tareas [Página principal en Internet]. c2012. [Consultado 9 junio 2013]. Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Incendios-y-Explosiones/5740542.html>.
- 2.- Franco P., B. NOM-002-STPS-2000, Condiciones de Seguridad, Prevención, Protección y Combate de incendios en los centros de trabajo. México: c2000. [Consultado 9 junio 2013]. Secretaría del Trabajo y Previsión Social; [aprox. 22 pantallas]. Disponible en: http://www.stps.gob.mx/DGIFT_STPS/PDF/Presentacionnorma002.pdf.
- 3.- Ricardo H. Andonaegui. Lobohombo, a seis meses. El Universal. 20 Abril 2001; Sec. Metrópoli. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/26749.html>. Fecha de consulta: 17 de octubre 2013.
- 4.- Wikipedia [Página principal en Internet]. Incendio de la guardería ABC. México; c2009. [Consultado 18 octubre 2013]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Incendio_de_la_Guardería_ABC.
- 5.- Javier Valdez Cárdenas. Mueren en incendio 6 empleadas de tienda Coppel; estaban encerradas. La Jornada. 10 Noviembre 2010; Sec. Estados: p. 39. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2010/11/11/index.php?article=039n1est§ion=estados>. Fecha de consulta: 19 de octubre de 2013.
- 6.- Aurora Vega. Terror en el Casino Royale de Monterrey; los Zetas, detrás del atentado. Excelsior. 26 agosto 2011. Disponible en: <http://www.excelsior.com.mx/node/763911>. Fecha de consulta: 17 de octubre 2013.
- 7.- Universidad Nacional Autónoma del Estado de México. Manual de prevención y combate de incendios. México: Universidad Nacional Autónoma del Estado de México; 2006.
- 8.- Díaz C., editor. Barrera R., Jiménez P., Segura L., et. al. Coordinadores. Manual Único de Criminalística. República de Colombia: Fiscalía general de la Nación
- 9.-. Antón B. F., Luis T. J. Policía Científica. Volumen II. España: Tirant Lo Blanch; 2004.
- 10.- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [Consultado 13 agosto 2011]. Disponible en: www.inegi.gob.mx/CONSULTA 2005.

- 11.- Somoza O. La muerte violenta: inspección ocular y cuerpo del delito. España: La Ley; 2004.
- 12.- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SECRE-2010. Especificaciones del gas natural. Diario Oficial de la Federación (19 marzo 2013).
- 13.- Hoja de Datos de Seguridad para Sustancias Químicas, Gas Natural. IGASAMEX [Página principal en internet]. México: c2002. [Consultado 16 abril 2013]. Disponible en: <http://www.igasamex.com.mx/manuales/MSDSgas%20natural-1.pdf>.
- 14.-Gisbert J. A., Villanueva E. Medicina legal y Toxicología. 6ª ed. 2ª reimp. España: Masson; 2005.
- 15.-Bonilla C. La pericia en la investigación. Informe Técnico. Argentina: UNIVERSIDAD; 1996.
- 16.-Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010. Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación, (9 diciembre 2010).
- 17.-Definición de sustancias tóxicas, inflamablesy explosivas [Monografía en Internet]. Quiminet; 2006 [4 junio 2013]. Disponible en: <http://www.quiminet.com/articulos/definicion-de-sustancias-toxicas-flamables-y-explosivas-7081.htm>.
- 18.-Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. Diario de la federación, (2 febrero 1999).
- 19.-Gambín A., Zaragoza J. Bódalo A., Gómez E., editores. Guía técnica para la manipulación de sustancias inflamablesen el sector químico. Medidas preventivas. España: Compobell, S. L; 2009.
- 20.-Slideshare [Página principal en Internet]. c2012. [Consultado: 7 octubre 2013]. Sustancias comburentes; aprox. 19 pantallas. Disponible en: <http://www..net/marialejitach/sustancias-combuerentes>.
- 21.-Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE). Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA). 4ª. rev. New York/Ginebra: Naciones Unidas; 2011.

- 22.-Johll M. E. Química e investigación criminal: Una perspectiva de la ciencia forense. Barcelona: Reverté; 2008.
- 23.-Palet, A. Tratado de la pintura: color, pigmentos y ensayo. Edit. España: Edicions Universitat Barcelona; 2002.
- 24.-Sustancia peligrosa. Wikipedia [Página principal en Internet]. [Consultado Agosto 2011]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Sustancia_peligrosa.
- 25.-Hein M., Arena S. Fundamentos de Química. 10ª ed. México: Thomson Learning; 2001.
- 26.- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [Página principal en Internet]. Ficha Internacional de Seguridad Química No. 1400. España: Ministerio de Empleo y Seguridad Social; c2003. [Consultado el 15 abril 2013]. Disponible en: www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1301a1400/nspn1400.pdf.
- 27.- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Página principal en Internet]. Ficha Internacional de Seguridad Química No. 1063. España: Ministerio de Empleo y Seguridad Social; c2003. [Consultado el 15 abril 2013]. Disponible en: www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1001a1100/nspn1063.pdf.
- 28.- Dideval Ltda. Aguarrás Mineral. Chile. [Consultado 16 abril 2013]. Disponible en: www.dideval.com/pdf/seguridad/aguarras.pdf.
- 29.- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [Página principal en Internet]. Ficha Internacional de Seguridad Química No. 0044. España: Ministerio de Empleo y Seguridad Social; c2000. [Consultado el 15 abril 2013]. Disponible en: www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0044.pdf.
- 30.- Thinner. Wikipedia [Página principal en Internet]. [Consultado 15 abril 2013]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Thinner>.
- 31.- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [Página principal en Internet].Ficha Internacional de Seguridad Química No. 1597. España: Ministerio de Empleo y Seguridad

Social; c2006. [Consultado el 15 abril 2013]. Disponible en: www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1582a1603/nspn1597.pdf.

32.- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [Página principal en Internet]. Ficha Internacional de Seguridad Química No. 0663. España: Ministerio de Empleo y Seguridad Social; c1994. [Consultado el 15 abril 2013]. Disponible en: www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/601a700/nspn0663.pdf.

33.-Fueloil. Wikipedia [Página principal en Internet]. Disponible: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fueloil>.

34.-Fuel Oil N° 6. OXIQUM S.A. [Página principal en Internet]. Chile: c2007. [Consultado 14 abril 2013]. Disponible en: www.asiquim.com/ConductaResponsable/documentos/Fuel_Oil_N_6.pdf.

35.-Gasóleo. Saras Energía, S.A. [Página principal en Internet]. España: c2002. [Consultado 15 abril 2013]. Disponible en: http://www.sarasenergia.com/NuestroCompromiso/Gasoleo_febrero.pdf.

36.-Agencia Federal para el Manejo de Emergencias. Herramientas básicas y recursos para investigadores de incendios, Manual. USA: Agencia Federal para el Manejo de Emergencias; 1992.

37.- Peterson M. Applications in Criminal Analysis: A sourcebook. USA: Praeger; 1998.

38.- Svensson A., Fisher J., Wendel O. Techniques of Crime Scene Investigation. 3a ed. USA: Elsevier; 1981.

39.-Jiménez S. J. La Escena del Crimen en el Criminal Profiling (I). Quadernos de Criminología. 2009 Jul/Sep; (6): 37-44.

40.-Moreno L. R. Los indicios biológicos del delito. 3a. ed. México: Instituto Nacional de Ciencias Penales; 2011.

41.-Fiscalía General de la República del Salvador. Manual de procesamiento de la escena del delito. Escuela de Capacitación Fiscal. República del Salvador: Talleres Gráficos UCA; 2011.

- 42.-Poder Judicial de la Federación. Consejo de la Judicatura Federal. El nuevo sistema de justicia penal acusatorio, desde la perspectiva constitucional. Consejo de la Judicatura Federal; 2011.
- 43.-Secretaría Técnica del Consejo de Coordinación para la Implementación del Sistema de Justicia Penal. Mecanismo de Protección y Preservación de evidencia: Cadena de Custodia. México: Secretaría de Gobernación; 2012.
- 44.-Acuerdo número A/002/10. Mediante el cual se establecen los lineamientos que deberán observar todos los servidores públicos para la debida preservación y procesamiento del lugar de los hechos o del hallazgo y de los indicios, huellas o vestigios del hecho delictuoso, así como de los instrumentos, objetos o productos del delito. Diario Oficial de la Federación, (02-03-2010).
- 45.-Romero A. P., Cruz M. C. 50 preguntas sobre la cadena de custodia federal. México: Impresora y Encuadernación Progreso; 2010.
- 46.-Kirk P. Crime Investigation: physical evidence and the police laboratory. Nueva York: Interscience Publishers; 1953.
- 47.-MSA [Página principal en internet]. México: c2013. [Consultado 12 noviembre 2013]. Detectores multigas ALTAIR 4X. Disponible en: <http://mx.msasafety.com/Detectores-Portátiles/Multigas/Detector-Multigas-ALTAIR-4X/p/000080001600001022>.
- 48.-SEGMAN [Página principal en internet]. México: Honeywell International Ltd; c2008. [Consultado 12 noviembre 2013]. Detectores multi-gas, Gas Alert Micro 5 Serie. Disponible en: [http://www.segman.com/files/GasAlertMicro5_Datasheet\(5765-12-ES\).pdf](http://www.segman.com/files/GasAlertMicro5_Datasheet(5765-12-ES).pdf). Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2013.
49. –Forbes W. The investigation of crime. Nueva York: Kaplan; 2008.
- 50.-Bertsch W. Chemical Analysis of Fire Debris- was it Arson? USA: National Emergency Training Center; 1996.
- 51.-Skoog D., Crouch S., Holler F. Principios de Análisis Instrumental. 6a ed. México: CENGAGE Learning; 2008.
- 52.-Yinon J. Forensic Applications of Mass Spectroscopy. USA: CRC Press; 1995.

- 53.-Universidad Autónoma de Madrid [Página principal en Internet]. España: c2008. [Consultado 20 octubre 2013]. Laboratorio de Microscopia de Barrido y Análisis por Energía Dispersiva de Rayos X. Disponible en: http://www.uam.es/ss/Satellite/es/1242668321277/1242666559037/UAM_Laboratorio_FA/laboratorio/Laboratorio_de_Microscopia_de_Barrido_y_Analisis_por_Energia_Dispersiva_de_Rayos_X.html.
- 54.-Covey, E.L. Application of Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy in Fire Investigation (JOFS). 1977; 22(2): 325-329.
- 55.-Alfredo Márquez Herrera. Crecimiento y Caracterización de Películas Delgadas Ferroeléctricas de $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ por la técnica de RF-Sputtering [Tesis de Maestría]. Tamaulipas: Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada; 2005.
- 56.-Redsicker D., O'Connor J. Practical Fire and Arson Investigation. 2a ed. Estados Unidos: CRC Press; 1997.
- 57.- Grupo Trasnmerquím. Thinner. Brasil. [Consultado 10 marzo 2014]. Disponible en: www.iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/thinner.pdf.
- 58.- Shell Trading Rotterdam B.V. Fuel oil blend. Países bajos. [Consultado 10 marzo 2014]. Disponible en: <http://s07.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/trading-shiping/downloads/msds/in-country/netherlands-str/fo-fuel-oil-blend---str---es.pdf>.
- 59.- REPSOL COMERCIAL DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS S.A. Diesel e⁺. España. [Consultado 10 marzo 2014]. Disponible en: http://www.repsol.com/imagenes/es_es/fds_diesel_e__58083_tcm7-43027.pdf.
- 60.- The Merck Index. 12^a ed. USA: Merck & Co. INC; 1996.
- 61.- Hawley, G. Diccionario de química y productos químicos. 2^a ed. 1^a reimp. España: OMEGA; 2006.
- 62.- Atkins P, Jones L. Principios de química. Los caminos del descubrimiento. 5^a ed. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2012.