

NATURALEZA DEL FUEGO, MÉTODOS DE EXTINCIÓN Y AGENTES EXTINTORES

Tema 16

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| 1 NATURALEZA DEL FUEGO | 3 |
| 1.1 Combustión | 3 |
| 1.2 Triángulo del Fuego | 4 |
| 1.3 Tipos de fuego según tipo de combustible | 5 |
| 1.4 Combustión con llama (fuego) | 5 |
| 1.5 Tetraedro del fuego..... | 9 |
| 1.6 Combustiones con y sin llama | 9 |
| 1.7 Productos de la combustión..... | 10 |
| 1.8 Formas de transmisión del calor | 11 |
| 2 MÉTODOS DE EXTINCIÓN | 12 |
| 2.1 Eliminación o separación del combustible..... | 12 |
| 2.2 Enfriamiento..... | 12 |
| 2.3 Sofocación | 12 |
| 2.4 Inhibición | 13 |
| 2.5 Efectividad de la extinción | 13 |
| 2.6 Combinación de métodos | 13 |
| 3 AGENTES EXTINTORES..... | 13 |
| 3.1 Agentes extintores sólidos | 13 |
| 3.2 Agentes extintores líquidos..... | 15 |
| 3.3 Agentes extintores gaseosos..... | 17 |
| 3.4 Elección del agente extintor..... | 20 |
| BIBLIOGRAFÍA | 21 |

INTRODUCCIÓN

En este tema se abordan los aspectos fundamentales que son necesarios para entender la naturaleza del fuego y el porqué de la elección de los diferentes métodos de extinción y agentes extintores.

Con el estudio y comprensión de todos los conceptos del tema, además de adquirir una buena base de física y química del fuego, se adquirirán los conocimientos necesarios para poder estudiar y entender posteriormente la dinámica de incendios y las diferentes formas en que los intervinientes luchan contra los mismos.

1 NATURALEZA DEL FUEGO

En este apartado se hablará de los principales conceptos químicos y físicos que explican las reacciones de combustión, que son la base para saber cómo extinguir el fuego de manera eficaz y segura.

1.1 Combustión

Es una intensa reacción química de oxidación-reducción con emisión de luz y calor, pudiendo ir acompañada de humo, llamas o ambos. Se llamará:

- **Oxidación:** desprendimiento de electrones. La sustancia que se oxida se denomina agente reductor o, en el lenguaje de la combustión, combustible.

Ejemplo (hidrógeno): H_2 : Molécula de hidrógeno



H^+ : Átomo de hidrógeno que ha perdido 1 electrón

e^- : electrón libre

- **Reducción:** captación de electrones. La sustancia que se reduce se denomina agente oxidante o, en el lenguaje de la combustión, comburente.

Ejemplo (oxígeno): O_2 : Molécula de oxígeno



O^{2-} : Átomo de oxígeno que ha perdido 2 electrones

e^- : electrón libre

En la reacción de óxido-reducción se dan los dos procesos simultáneamente, cediendo la sustancia que se oxida (agente reductor) sus electrones a la sustancia que se reduce (agente oxidante). Siguiendo con los dos ejemplos anteriores, globalmente la reacción quedaría:



Si las reacciones de óxido-reducción se producen con la suficiente velocidad se habla de una combustión, y dado su carácter marcadamente exotérmico (con desprendimiento de energía) las sustancias participantes alcanzarán elevadas temperaturas y emitirán radiación en diferentes longitudes de onda, incluyendo la luz visible (*incandescencia*). En el caso de la llama los diferentes colores que puede presentar se deben a la naturaleza de los combustibles y a la eficiencia de la combustión. El color amarillo o naranja de la mayoría de las llamas se debe a la presencia de partículas incandescentes sólidas de hollín, fruto de las combustiones incompletas y que están formadas por carbono con impurezas de otras sustancias.

En la mayoría de las combustiones el oxidante o comburente será el oxígeno del aire, presente en condiciones normales en una concentración del 20,9%.

Tal como se ha dicho, la velocidad de las reacciones de óxido-reducción determinará si se está ante una combustión. En general, atendiendo a las posibles velocidades de estas reacciones, se hablará de:

- **Oxidación.** Reacción lenta.
- **Combustión.** Reacción rápida. A su vez, y en función del tipo de combustible y de la disponibilidad del oxígeno, se tendrá:
 - Combustión lenta: brasa o incandescencia. Sólo en algunos sólidos.
 - Combustión normal: fuego (llamas).

Si la combustión es lo suficientemente rápida como para que la expansión de los gases generados produzca una onda de presión se estará frente a una explosión, la cual a su vez podrá ser, en función de que la onda de presión avance más o menos rápida que la de la velocidad del sonido:

- **Deflagración.** La onda de presión avanza a velocidad subsónica.
- **Detonación.** La onda de presión avanza a velocidad supersónica (en este caso la onda de presión se llama *onda de choque*).

1.2 Triángulo del Fuego

En toda reacción química deben existir unas sustancias de partida o reaccionantes (combustible y comburente en el caso de la combustión) que fruto de la reacción se transformen en otras (productos). Para que se inicien estas reacciones, aparte de tener presentes los reactivos, es preciso el aporte de una cierta cantidad de energía, es la conocida como **energía de activación**. Si se representa geométricamente estos tres ingredientes necesarios para iniciar la combustión se obtiene una figura de tres lados, es decir un triángulo, conocido como Triángulo del fuego:

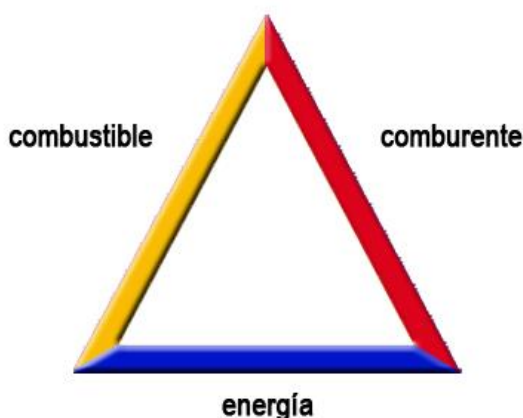


Figura 1. Triángulo del fuego. Fuente: CBCM

Si no está presente, o lo está en unas proporciones inadecuadas, alguno de estos ingredientes (si no está completo el triángulo) no será posible la combustión. Si además se habla de combustiones con llama, para que la combustión se mantenga será necesario el funcionamiento de la llamada **reacción en cadena**.

1.3 Tipos de fuego según tipo de combustible

Atendiendo al tipo de combustible involucrado se clasifican respectivamente los fuegos en varios tipos. En Europa, y por tanto en España, esta clasificación se recoge en la norma UNE-EN 2:1994/A1:2005. En base a ella se establecen 5 tipos de fuegos:

- **Tipo A:** Sólidos. Normalmente son capaces de arder en forma de brasas y generalmente son de origen orgánico: madera, papel, tejidos, etc.
- **Tipo B:** Líquidos. Incluye los líquidos inflamables (gasolina, gasoil, alcohol, aceites, etc.) y sólidos licuables (se funden fácilmente por la temperatura) como algunas ceras y plásticos, asfaltos, etc.
- **Tipo C:** Gases. Sustancias inflamables que, a presión y temperatura ambiente, se presentan en estado gaseoso: metano, propano, butano, hidrógeno, etc.
- **Tipo D:** Metales. Incluye a los metales fácilmente inflamables como el sodio, potasio o magnesio y otros muchos cuando están finamente divididos.
- **Tipo F:** Grasas y aceites de cocina. En las normativas anteriores se incluían en los fuegos Tipo B, pero se creó esta nueva categoría por exigir agentes extintores específicos.

1.4 Combustión con llama (fuego)

La llama es una combustión en fase gaseosa, lo que exige que el combustible presente ciertas condiciones de temperatura y concentración, y que tenga lugar la llamada reacción en cadena.

1.4.1 Condiciones del combustible

Tal como se ha dicho, la llama es una combustión en fase gaseosa, lo que exige dos condiciones:

- Que el combustible tenga temperatura suficiente como para emanar vapores o gases por cambio de estado o por efecto de la pirólisis.
- Que los gases o vapores combustibles se presenten dentro de un determinado rango de concentraciones (rango de Inflamabilidad).

1.4.1.1 Pirólisis

La pirólisis es la descomposición química de un compuesto por calentamiento a elevadas temperaturas en ausencia de oxígeno, generándose nuevas sustancias generalmente emanadas en fase gaseosa. La combustión posterior de estos gases es la que explica la llama visible en sustancias como la madera, papel, tejidos, etc.

1.4.1.2 Temperatura del combustible

Mientras la temperatura de los combustibles sólidos y líquidos esté por debajo de determinados valores, propios de la naturaleza de cada uno de ellos, no habrá emisión de gases o vapores inflamables (por cambio de estado o por efecto de la pirólisis), o al menos no se emanarán los suficientes como para mantener la llama.

En base a esto, existen **tres estados sucesivos de temperatura**. En el primero, los gases emanados podrían arder mientras esté presente una llama externa permanente. En el siguiente estado, una vez prendidos, los gases se mantendrían ardiendo a pesar de retirar esa llama externa. En un tercer estado, el combustible comenzará a arder sin necesidad de haber aportado una llama o fuente de ignición externa.

Estos estados de temperatura reciben diferentes nombres en función del tipo de combustible y de la forma de hacer el ensayo para determinarla. La terminología empleada en estos apuntes es la recogida en la norma UNE-EN-ISO 13943:2018¹:

- **Temperatura o punto de inflamación²**. Temperatura mínima a la que un material o producto se debe calentar para que los vapores emitidos prendan momentáneamente en presencia de llama bajo condiciones especificadas.

Si se retira la llama externa, el fuego se extingue.

- **Punto de ignición**. Temperatura mínima a la cual se puede iniciar la combustión sostenida bajo condiciones especificadas.

Si se retira la llama externa, el fuego se mantiene.

- **Temperatura de autoignición**. Temperatura mínima a la cual se produce la autoignición. La ignición se produce por calentamiento del combustible sin la presencia de una llama abierta exterior.

No es necesaria la presencia de una llama externa.

En general las temperaturas o puntos de inflamación y de ignición están muy próximos, con diferencias de unos pocos grados, estando la temperatura de autoignición separada de las dos primeras desde unas decenas a varios cientos de grados, según la naturaleza del combustible del que se trate.

La presión influirá en los puntos de ignición e inflamación: a mayor presión es necesaria más temperatura para que los combustibles puedan arder. Esto supone que, a elevadas altitudes, donde la presión es inferior, los combustibles alcancen más rápido las concentraciones inflamables (pueden arder a temperaturas más bajas).

1.4.1.3 Rango de inflamabilidad

Es el abanico de concentraciones de los vapores o gases combustibles mezclados con el aire, en los que es posible su combustión. Según Norma UNE-EN-ISO 13943:2018:

¹ Muchas de las publicaciones sobre extinción de incendios y manuales se basan en esta norma, la cual se actualiza periódicamente, por lo que se pueden encontrar notorias diferencias en términos y definiciones de unos manuales a otros en función de la versión (año) en que se hayan basado, apareciendo términos como Punto de encendido, Punto de autoinflamación, etc., que no se recogen en las últimas versiones.

² Se utiliza Temperatura de inflamación en el caso de los combustibles sólidos y Punto de inflamación en el caso de los combustibles líquidos.

- **Límite Inferior de Inflamabilidad (LII).** Concentración mínima de vapor combustible en aire por debajo de la cual no existe propagación de la llama en presencia de una fuente de ignición³.
- **Límite Superior de Inflamabilidad (LSI).** Concentración máxima de vapor combustible en aire por encima de la cual no existe propagación de la llama en presencia de una fuente de ignición.

El Rango de inflamabilidad será el rango de concentraciones comprendido entre ambos límites. Dentro de este rango existe una concentración óptima para la combustión, es la Mezcla ideal o Mezcla estequiométrica, en la que la intensidad de la reacción será máxima.

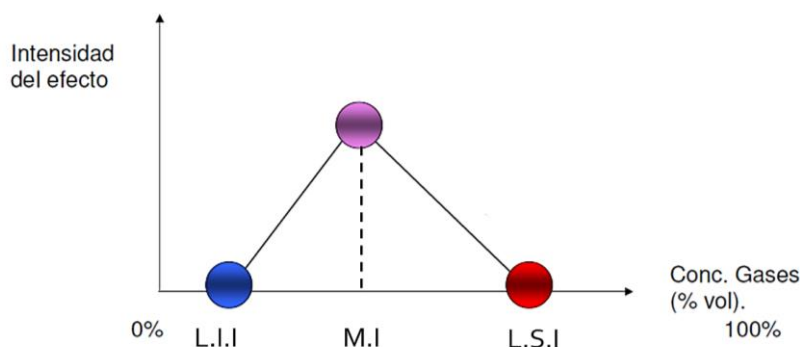


Figura 2. Rango de inflamabilidad (intensidad del efecto). Fuente: CBCM

1.4.1.3.1 Efecto de la temperatura

El aumento de la temperatura de un gas supone mayor energía en sus moléculas (mayor movimiento o velocidad), facilitando la reacción con otras moléculas, que en el caso de la combustión son las moléculas de oxígeno presentes en el aire. Esto supondrá que ambos límites se desplacen, ampliándose el Rango por abajo y por arriba: afecta tanto al L.S.I. como al L.I.I.

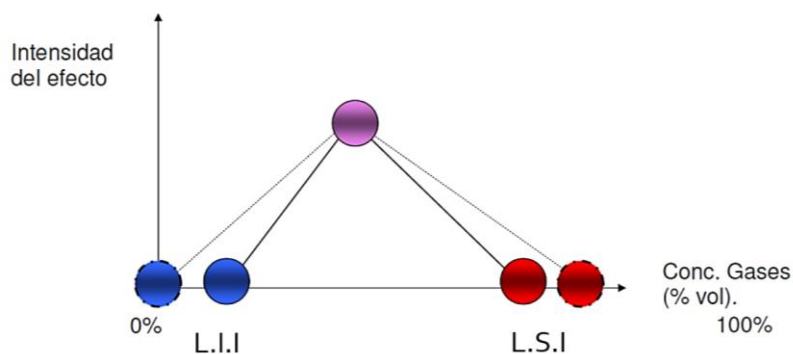


Figura 3. Rango de inflamabilidad (efecto de la temperatura). Fuente: CBCM

³ En ocasiones se define la Temperatura o Punto de inflamación como aquella a la cual la liberación de vapores o gases es tal que su concentración sobre la superficie del combustible alcanza el L.I.I.

1.4.1.3.2 Efecto de la concentración de oxígeno

La disminución de la concentración del oxígeno supondrá por un lado la disminución de la intensidad de la reacción en todo el rango, y por otro que disminuya el Límite Superior de Inflamabilidad (LSI).

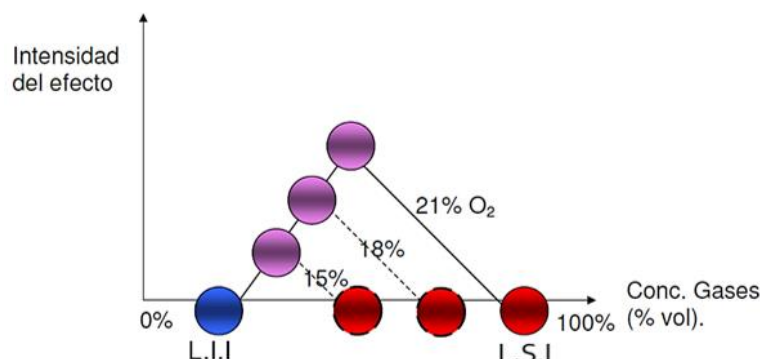


Figura 4. Rango de inflamabilidad (efecto de la concentración de oxígeno). Fuente: CBCM

1.4.1.3.3 Energía mínima de ignición

Es la energía mínima necesaria para iniciar la combustión de una **mezcla inflamable** (nubes de polvo, gases o vapores). Su valor:

- **Depende de la naturaleza del combustible.**
- **Es mínimo en las proximidades de la mezcla ideal.** Cuando la concentración del gas o vapor está próxima a la mezcla ideal hace falta menos energía para producir la ignición de la mezcla (es más fácilmente inflamable).
- **Disminuye con el aumento de la concentración de oxígeno.** Cuanta mayor sea la proporción de oxígeno en el aire mezclado con el gas o vapor menos energía hace falta para producir la ignición de la mezcla (es más fácilmente inflamable).
- **Disminuye con el aumento de la presión.** Al aumentar la presión se necesita menos energía de ignición, y la mezcla es más fácilmente inflamable.
- **Disminuye con el aumento de la temperatura de la mezcla.** Cuanto mayor sea la temperatura de la mezcla menos energía hay que aportarle para inflamarla. Esto supone que las mezclas más calientes se pueden inflamar con fuentes de ignición menos energéticas.

1.4.2 Reacción en cadena

Las reacciones químicas no se producen en un solo paso, sino en etapas o reacciones sucesivas. Esta sucesión de reacciones, partiendo desde los reactivos iniciales hasta los productos finales, es lo que se conoce como **mecanismo de la reacción**. En el caso particular de las combustiones con llama, el mecanismo de reacción incluye reacciones en cadena. Genéricamente por reacciones en cadena se entienden **aquellas que suponen el desencadenamiento de reacciones semejantes**, como puede ser la caída de una hilera de piezas de dominó: se derriba la primera empujándola y ésta derriba la siguiente, a su vez ésta a la siguiente y así sucesivamente. Sólo se ha empujado a la primera, pero su caída ha supuesto que caigan todas.

Desde el punto de vista químico la reacción en cadena es más compleja y supone que en alguna de las etapas del mecanismo de reacción presentes en la llama se hayan generado un tipo de sustancias altamente reactivas llamadas radicales libres⁴, que provocarán en efecto cascada otras reacciones parecidas, en las que a su vez se generarán más radicales libres. Estos radicales son altamente energéticos, necesitando muy poca energía de activación, por lo que reaccionarán muy fácil y rápidamente con el resto de sustancias presentes en la reacción, **incluyendo a los combustibles y al comburente iniciales**, y además lo harán con un gran desprendimiento de energía.

1.5 Tetraedro del fuego

Dado que las combustiones con llama necesitan los tres ingredientes del triángulo del fuego (combustible, comburente y energía), más el funcionamiento de la reacción en cadena para mantener activa la llama, la manera de representar esta relación es mediante una figura tridimensional de cuatro lados: tetraedro del fuego.

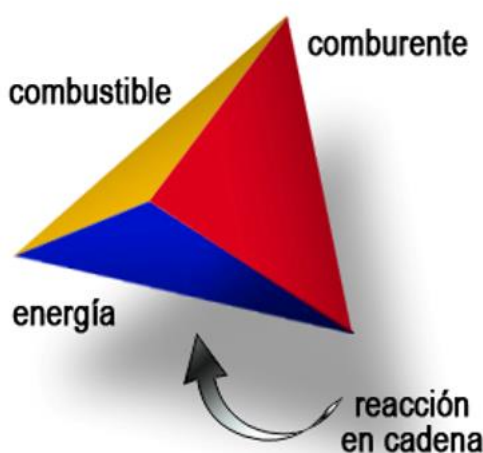


Figura 5. Tetraedro del fuego. Fuente: CBCM

1.6 Combustiones con y sin llama

En función del tipo de combustible, y condicionado también por el aporte de oxígeno disponible.

1.6.1 Combustión con llama

Es una combustión rápida, energética, en la que tanto combustible como comburente están reaccionando en el mismo estado de agregación (fase gaseosa), lo que en química se llama reacción homogénea, y estando presente la reacción en cadena. Todos los líquidos y gases combustionan

⁴ Un radical libre es una molécula en la que alguno de sus átomos presenta un electrón desapareado, sin otro electrón que lo equilibre. Los electrones, siempre en movimiento, se agrupan por parejas, con espín (algo así como “sentido de giro”) contrario para compensarse. Arrancar un electrón de un átomo dejando su pareja desapareada supone que el átomo ha debido absorber mucha energía, lo que lo hace muy inestable y altísimamente reactivo (reaccionará muy fácil y rápidamente con otros compuestos).

con llama, pudiendo los sólidos arder con o sin ella, en función de su naturaleza y de la concentración de oxígeno presente.

- Reacción homogénea: → Combustible: fase gaseosa
→ Comburente: fase gaseosa
- Con reacción en cadena
- Todos los líquidos y gases arden con llama

1.6.2 Combustión en forma de brasa

Combustión lenta de determinados sólidos incandescentes, poco energética, normalmente en situaciones de déficit de oxígeno. Se presenta generalmente en la combustión de sólidos orgánicos (madera, papel, tejidos, etc.), teniendo lugar en la superficie expuesta al aire. No se dan las reacciones en cadena propias de las combustiones con llama, la combustión se mantiene por la elevada temperatura superficial del combustible, la cual se mantiene a su vez por el calor desprendido por la propia combustión.

Su combustión es una reacción química heterogénea, con el combustible en fase sólida y el comburente en fase gaseosa. Las moléculas de comburente al chocar con la fase sólida caliente reaccionan con las moléculas de su superficie (la energía de activación procede del calor almacenado en el propio combustible).

Debido a las temperaturas alcanzadas durante la combustión del sólido se podrán emanar gases y vapores (pirólisis), por lo que, si el aporte de oxígeno es suficiente, por encima de la superficie de la brasa podrá existir también combustión en fase gaseosa (llama). En situaciones de baja concentración de oxígeno, o cuando el combustible presenta una carbonización avanzada y se reduce la emanación de gases y vapores, llegará un momento en el que se extinga la llama, si bien la brasa podrá permanecer por mucho tiempo, llegando a consumir completamente el combustible si la concentración de oxígeno lo permite.

- Reacción heterogénea: → Combustible: fase sólida
→ Comburente: fase gaseosa
- Sin reacción en cadena
- Exclusivamente en algunos sólidos

1.7 Productos de la combustión

La siguiente forma de clasificar los productos de la combustión no tiene un enfoque químico, si no práctico, útil para la comprensión de la dinámica de incendios. Desde este punto de vista los productos de la combustión⁵ se pueden clasificar en cuatro categorías:

- **Llamas.** Presentes cuando hay gases incandescentes.
- **Calor.** Fruto de las reacciones exotérmicas.

⁵ La norma UNE-EN-ISO 13943 denomina con el término efluentes a todos los gases y aerosoles, incluidas partículas suspendidas, creados por la combustión.

- **Gases.** Este vasto grupo incluye:
 - **Productos finales de las combustiones completas.** Los principales son el dióxido de carbono y el vapor de agua.
 - **Productos de las combustiones incompletas.** El más abundante es el monóxido de carbono.
 - **Resto de gases emanados.** En su mayor parte resultantes de la pirólisis como hidrógeno, metano, ácido cianhídrico, etc.
- **Humo.** Presente en combustiones incompletas, lo cual sucede en la inmensa mayoría de los incendios. Tiene una especial relevancia en la dinámica de incendios, determinando su composición y temperatura la evolución de los mismos. Desde un punto de vista práctico, orientado hacia la comprensión de la dinámica de incendios, está compuesto por:
 - **Partículas sólidas en suspensión.** Las más abundantes son las partículas de hollín, resultado de la combustión incompleta de compuestos con carbono.
 - **Gases de combustión y de pirólisis.** Invisibles y, según su naturaleza, inocuos o, por el contrario, irritantes, tóxicos y/o inflamables.
 - **Vapor de agua.** Parte se condensará, haciéndose visible.
 - **Aire.** Atrapado en el seno del mismo humo, al ser absorbido mientras asciende. Es con mucho el principal componente del humo, y su cantidad condiciona en gran medida los potenciales comportamientos del humo, al influir en su temperatura y en la concentración de gases y hollines.

1.8 Formas de transmisión del calor

El calor puede transmitirse de un lugar a otro de tres maneras:

- **Conducción.** Debido al contacto directo entre las moléculas con diferente temperatura. Las moléculas o átomos de cualquier sustancia que esté a una temperatura superior al cero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$) se encuentran en movimiento (en forma de vibración en el caso de los sólidos), siendo tanto mayor cuanto mayor sea su temperatura. El contacto directo de sustancias a diferente temperatura provocará que las más calientes cedan parte de ese movimiento o energía a las más frías, idealmente hasta igualar sus temperaturas.

La mayor o menor capacidad de cada sustancia para transmitir el calor por esta vía es la *conductividad térmica*. Los materiales con baja conductividad térmica son los llamados aislantes térmicos, usados por ejemplo en la construcción para mantener la temperatura.
- **Radiación.** Por emisión de ondas electromagnéticas. Todo cuerpo caliente emitirá energía por esta vía, a diferentes longitudes de onda (infrarrojo, luz visible, ultravioleta, microondas, etc.) en función de su temperatura. Esta energía radiante al llegar a un cuerpo o sustancia podrá experimentar:
 - **Absorción.** La radiación es absorbida, aumentando su temperatura.
 - **Reflexión.** La radiación es reflejada, tal como hace un espejo.
 - **Transmisión.** La radiación traspasa el cuerpo.

Los cuerpos o sustancias en los que predominan las dos primeras serán opacos. Si predomina la última, serán transparentes. Esto es aplicable según las diferentes longitudes de onda, de modo que un cuerpo o sustancia se comporta como opaco para unas determinadas longitudes de onda (por ejemplo, la luz visible) y transparente para otras (por ejemplo, las ondas de radio).

- **Convección.** Debido al movimiento de masas calientes en los fluidos. Estas masas calientes tendrán menor densidad, lo que provocará su flotabilidad con respecto a otras más frías y, por tanto, la capacidad de ascender. Estos movimientos en espacios físicos limitados por envolventes (suelos, paredes y techos) tendrán también desarrollos horizontales.

2 MÉTODOS DE EXTINCIÓN

Se entiende por método de extinción el proceso de desestabilización del tetraedro del fuego, eliminando uno de sus componentes o llevándolo a un nivel tal, que suponga la interrupción de la combustión.

Atendiendo a qué componente del tetraedro del fuego involucre el método de extinción se distinguen los siguientes métodos.

2.1 Eliminación o separación del combustible

Si no hay combustible no puede haber combustión. Un ejemplo evidente sería el corte de suministro en caso de una fuga inflamada de gas o la realización de un cortafuegos en un incendio forestal.

Un caso particular de este método es la dilución del combustible, bajando su concentración hasta niveles que lo hagan no inflamable (por ejemplo, añadiendo agua a un combustible polar como el alcohol).

2.2 Enfriamiento

En este caso se actúa sobre el calor. Por un lado, el agente extintor absorberá el calor que sirve de energía de activación del proceso de combustión y, sobre todo, en el caso de combustibles sólidos y líquidos, los enfriará reduciendo o deteniendo por completo la pirólisis o la emanación de vapores, quedando el combustible por debajo de su temperatura de inflamación (tiene un efecto equivalente a retirar el aporte de combustible).

2.3 Sofocación

Consiste en actuar sobre el comburente, diluyéndolo, apartándolo físicamente o bien impidiendo el acceso de éste al combustible. Sería el ejemplo típico de la sartén con aceite ardiendo. Poniendo una tapa, la propia combustión consumiría el oxígeno auto extinguiéndose cuando éste bajara de la proporción mínima necesaria.

Algunos textos distinguen dos casos en la actuación sobre el comburente, llamando sofocación a la interposición de barreras físicas (por cubrición o por confinamiento) e inertización a la disminución de su concentración, diluyéndolo con gases inertes como por ejemplo el nitrógeno.

2.4 Inhibición

Actuando sobre la reacción en cadena, mediante el aporte de agentes inhibidores. Estas sustancias incorporadas a la llama, se combinan con los radicales libres de la reacción en cadena dando lugar a compuestos estables, con lo que se interrumpe la continuidad de la reacción.

Tal como se explicó en el apartado Naturaleza del fuego, el mecanismo de reacción en las combustiones con llama supone la presencia de la reacción en cadena, en la que participan los radicales libres, que a su vez reaccionan con combustible y comburente.

Los agentes extintores que funcionan por inhibición son sustancias que, al ser expuestas al calor de la llama, se descomponen a su vez en otras que también son radicales libres. Químicamente, a los radicales libres de la combustión les resulta más favorable reaccionar con estas nuevas sustancias, que con combustible o comburente, y en las nuevas reacciones que tienen lugar entre ellos ya no se generan nuevos radicales, sino sustancias estables. El resultado es que se consumen todos los radicales de la combustión y se interrumpe la misma por completo.

2.5 Efectividad de la extinción

El inicio de una combustión requiere la presencia, en las proporciones y condiciones apropiadas, de los tres componentes del Triángulo del Fuego. Si la combustión es en forma de llama, para que luego esta reacción tenga continuidad, es imprescindible el adecuado funcionamiento de la reacción en cadena, completando así el Tetraedro del Fuego.

Al margen de qué método de extinción opere, una vez que la combustión se ha detenido por actuar sobre uno de los componentes del Tetraedro del Fuego, para que después ésta no se reinicie es imperativo que al menos uno de los componentes del Triángulo del Fuego esté ausente o disminuido por debajo de los niveles mínimos necesarios para iniciar de nuevo la combustión. Este posterior reinicio dependerá del método de extinción actuante, del tipo de combustible y del entorno.

2.6 Combinación de métodos

En función del tipo de combustible y de las características del entorno habrá veces en las que un único método sea suficiente para la extinción (por ejemplo, enfriamiento con agua en un fuego de madera), mientras que otras convendrá combinar varios métodos, por ejemplo usando un agente extintor que actúe con dos o más métodos (caso del polvo ABC sobre sólidos) o empleando más de un agente extintor (por ejemplo, un primer ataque con polvo que actúa fundamentalmente por inhibición, y un segundo con agua que actúa fundamentalmente por enfriamiento).

3 AGENTES EXTINTORES

Son las sustancias que, proyectadas sobre el fuego, actúan sobre él, extinguiéndolo. Empleando como criterio los posibles estados de agregación, los agentes extintores se pueden clasificar en tres grandes grupos: sólidos, líquidos y gaseosos. Dentro de esta clasificación los más frecuentes son los siguientes.

3.1 Agentes extintores sólidos

Dentro de este grupo se encuentran los polvos químicos y los polvos especiales para metales.

3.1.1 Polvos químicos

Los polvos químicos se clasifican en polvos químicos secos (polvos BC) y polvos químicos polivalentes (polvos ABC) debido a diferencias en sus cualidades y composición.

Básicamente se componen de sales finamente divididas, con tamaño de partículas de entre 10 y 20 micras, a las que se agregan diferentes aditivos para evitar su apelmazamiento y dotarles de mayor fluidez y estabilidad. El polvo carece de presión propia, por lo que para proyectarlo se utiliza un gas inerte a presión, siendo los más habituales el nitrógeno y el dióxido de carbono.

Generalmente los polvos BC o químicos secos están formados por bicarbonato sódico o potásico, o por sulfato potásico, y, los polvos ABC o químicos polivalentes, a base de fosfato monoamónico o diamónico.



Figura 6. Extintor de polvo polivalente (ABC). Fuente: CBCM

- **¿Cómo actúan?:** Ambos trabajan fundamentalmente por **inhibición**, actuando sobre la reacción en cadena. Este trabajo se complementa con cierto efecto de **enfriamiento**, ya que tanto el propio producto como el gas impulsor absorben calor, dificultando además la transmisión de la radiación gracias a la nube de polvo que se forma. Finalmente actúan por **sofocación**, a causa del desplazamiento del oxígeno que produce el gas impulsor, con un efecto incrementado en el caso particular de los polvos ABC, en los que la descomposición del producto crea una capa pegajosa sobre los combustibles sólidos que los separa físicamente del comburente⁶, siendo por ello *mucho más apropiado* para este tipo de fuegos, especialmente si forman brasa, que el polvo BC.

Tienen una baja conductividad eléctrica por lo que, con las debidas precauciones, pueden ser usados en presencia de tensión hasta los límites reflejados en la etiqueta del envase. No son tóxicos, aunque pueden dificultar la visión e incluso la respiración en caso de ser aplicados en grandes cantidades.

⁶ La magnitud y duración de este efecto tiene sus limitaciones, pudiendo haber reencendido posterior si la masa combustible es grande y mantiene la temperatura suficiente o está en contacto con algún elemento caliente, por lo que en general es recomendable rematar con agua o, al menos, disponer de ella como prevención.

Son muy rápidos y penetrantes debido al tamaño de sus partículas, lo cual resulta ventajoso a la hora de extinguir, pero limita su uso en presencia de elementos delicados o de precisión (ordenadores u otros equipos electrónicos) que no estén perfectamente aislados del ambiente a los que puede dañar incluso aunque se encuentren a cierta distancia, debido a la gran capacidad de dispersión del polvo.

- **Adecuados para:** La diferencia fundamental entre polvo BC y ABC en cuanto a indicación de uso se refiere, es que el polvo ABC, como en sus siglas se indica, es mucho más apropiado para fuegos sólidos que el polvo BC, gracias a su mayor efecto adicional de sofocación. Sin embargo, el BC es más adecuado ante presencia de tensión eléctrica ya que es bastante peor conductor eléctrico que el ABC. El uso de los dos es correcto para fuegos de líquidos inflamables, aunque en este caso el BC adquiere la condición de excelente. Ante fuegos de gases los dos tienen un buen comportamiento.

3.1.2 Polvos especiales para metales

Algunos metales como son el sodio, magnesio, potasio, aluminio, litio, zirconio, uranio, etc., y otros muchos cuando se presentan finamente divididos, pueden arder produciendo lo que se conoce como fuegos de tipo D, cuya extinción en general es complicada, si bien son fuegos poco habituales que suelen estar localizados en el ámbito industrial, cuyos establecimientos dispondrán normalmente del agente extintor adecuado.

Estos agentes suelen estar compuestos por diferentes sales a las que se añaden aditivos para mejorar su eficacia, trabajando principalmente por sofocación y enfriamiento. Algunos de estos compuestos son tan específicos que sólo son eficaces ante la combustión de un determinado metal.

Como ejemplos de los más conocidos se pueden citar: Lith-x (principalmente para litio, válido para magnesio, sodio y potasio), Na-x (para sodio metálico), Met-l-x (para magnesio, sodio y potasio), Cloruro Eutéctico Ternario (TEC) (para pequeños fuegos de uranio o plutonio), Pirene G-1 o metalguard (eficaz con muchos tipos de metales, incluyendo metales radiactivos), polvo de cobre (muy efectivo en incendios de litio y otros metales), etc. La arena seca puede dar también buen resultado.

Algunos deben usarse con especial precaución, como el Boralón, cuya descomposición puede producir pequeños focos secundarios (se genera metanol, líquido inflamable).

Normalmente no se proyectará agua sobre este tipo de fuegos, a no ser que se quiera acelerar la combustión, ya que se llegan a alcanzar temperaturas tan elevadas que pueden producir la disociación de la molécula de agua, con lo que se termina aportando oxígeno (comburente) e hidrógeno (poderoso combustible) al incendio.

3.2 Agentes extintores líquidos

3.2.1 Agua

Es el principal agente extintor por sus propiedades, abundancia, versatilidad de uso y bajo costo. Se trata de un líquido altamente estable, de gran peso específico (1 litro pesa 1 kg), incoloro, inodoro e insípido.

- **¿Cómo actúa?:** Trabaja principalmente por **enfriamiento**, dados su elevado calor específico (el empleado para elevar la temperatura) y latente (el empleado para realizar el cambio de estado):
 - **Calor específico:** **1 cal/g.°C**. Se necesita 1 caloría para elevar 1 grado la temperatura de 1 gramo de agua.
 - **Calor latente de vaporización:** **540 cal/g**. Se necesitan 540 calorías por gramo de agua para realizar el cambio de estado de líquido a gas (lo cual, a la presión de 1 atmósfera, sucede a 100°C).

Tal como se observa, la mayor absorción de calor se da al realizar el cambio de estado, lo cual, para una misma masa de agua, se ve más favorecido cuanto más superficie de evaporación se exponga, es decir, cuanto más pequeña sea la gota⁷.

También trabaja por **sofocación**, ya que el agua aumenta unas 1700 veces su volumen al pasar de estado líquido a gaseoso, consiguiendo el desplazamiento del oxígeno. Este efecto se puede conseguir también cuando cubrimos el combustible por inundación, separándolo físicamente del comburente.

- **Adecuado para:** Es excelente en fuegos de tipo A, sobre todo en los que está presente la brasa (madera, papel, tejidos, etc.). En cuanto a fuegos tipo B en general tiene baja eficacia, aparte de múltiples inconvenientes y riesgos añadidos:
 - Proyectada sobre el combustible aumenta el volumen de la mezcla inflamada, pudiendo desplazar el incendio o causar el desbordamiento de depósitos.
 - Muy baja o nula eficacia con combustibles no miscibles en agua y con bajo punto de ignición, como la gasolina.
 - Puede resultar extremadamente peligrosa utilizada a chorro si el punto de ignición del combustible es mayor de 100°C, al producirse un cambio brusco de estado y generar derrames o proyecciones de combustible ardiendo. Este riesgo se da también con determinados combustibles con punto de inflamación inferior a 100°C si el fuego se prolonga en el tiempo (el combustible puede acumular calor hasta alcanzar dicha temperatura).
 - No es efectiva en fuegos de tipo C, aunque pulverizada se puede usar para disolver atmósferas de gases inflamables.
 - No se debe usar en fuegos de tipo D (metales), al reaccionar violentamente.
 - Riesgo de electrocución en fuegos con presencia de tensión eléctrica por su gran conductividad.

Las propiedades del agua pueden verse mejoradas, y muchas de sus limitaciones corregidas, mediante aditivos, como por ejemplo espesantes, humectantes, retardantes, anticongelantes, etc. Estos aditivos aparte de poder mejorar la eficacia pueden hacer factible su uso en fuegos en los que a priori el agua no es apropiada (fuegos de hidrocarburos, con presencia de tensión eléctrica, etc.).

⁷ Aunque la gota pequeña favorece la capacidad extintora del agua, habrá veces en las que esto no interese, por ejemplo, cuando se quieren obtener grandes alcances o cuando la generación de vapor no convenga o suponga un riesgo.

Estas limitaciones en el uso también pueden verse mejoradas por la forma de proyectar el agua, como sucede con las instalaciones de extinción por nebulización, en las que se produce una microgota (60 a 200 micras) a partir de equipos de agua a alta presión (del orden de hasta 200 bares). De esta forma el agua trabaja por enfriamiento, sofocación y dificultando la transmisión por radiación, siendo eficaz en fuegos de tipo A, B y C, y resultando inocua para equipos y personas, no conductor de la electricidad y apto en la protección de sistemas electrónicos. Se usa muy poca agua, evitando los daños secundarios que ésta causa.

Aparte de su uso como agente extintor, el agua tiene usos preventivos, como refrigeración de depósitos de combustible, protección de la radiación térmica (en forma pulverizada) de objetos e intervinientes, dilución de mezclas inflamables, abatimiento de gases, etc.

3.2.2 Espumas

Formadas por la mezcla de espumógeno, agua y aire. En una primera etapa empleando un proporcionador se mezcla el espumógeno y el agua dando lugar a la mezcla espumante y, en una segunda que tiene lugar en lanza o en un generador específico, se incorpora el aire para obtener la espuma.

Sus posibles usos y eficacias dependen de sus características específicas, siendo las principales la proporción de espumógeno respecto al agua, el índice de expansión, el drenaje del agua, la fluidez, la adherencia, la resistencia al calor, etc.

- **¿Cómo actúan?:** por **enfriamiento** gracias al agua que contienen, y por **sofocación** separando el combustible del oxígeno. La barrera física que crean aparte de impedir el acceso del oxígeno también evita la emanación de vapores, teniendo un efecto equivalente a **eliminar el combustible**.
- **Adecuadas para:** fuegos de tipo A y B. En fuegos tipo C no son prácticas, no debiendo emplearse en fuegos tipo D o si existe riesgo de electrocución. Sus principales usos son:
 - Extinción o cubrición preventiva de derrames de combustibles líquidos, habiendo espumas especialmente adaptadas a la extinción de hidrocarburos (espumas AFFF) y / o líquidos polares (espumas antialcohol).
 - Incendios en espacios confinados (garajes, sótanos).
 - Preventivo en aterrizajes forzosos.
 - Inundación grandes volúmenes (túneles).

3.3 Agentes extintores gaseosos

Los más usuales son el dióxido de carbono, los halones, el nitrógeno y las mezclas de gases. Generalmente actúan por **sofocación**, pudiendo trabajar también por otros métodos como la **inhibición**, dependiendo del agente concreto del que se trate.

3.3.1 Dióxido de carbono

Compuesto que en condiciones físicas normales de presión y temperatura se encuentra en estado gaseoso, con una densidad relativa de 1,53 respecto al aire, o lo que es lo mismo, un 50% más denso que el aire, por lo que tiende a ocupar las capas más bajas. Es un gas asfixiante, al desplazar

el oxígeno, lo que se debe tener en cuenta al usarlo en recintos cerrados. No necesita ser presurizado, pues el propio gas hace las veces de agente propulsor. Es incoloro, insípido e inodoro, aunque al ser proyectado aparece con un color blanquecino, con una textura parecida a la nieve, debido a que parte del gas pasa directamente a estado sólido, de aquí el nombre de nieve carbónica. Esta “nieve” enseguida se sublima, pasando de estado sólido a estado gaseoso y absorbiendo gran cantidad de calor en este proceso.



Figura 7. Extintor de CO₂. Fuente. CBCM

- **¿Cómo actúa?:** principalmente por **sofocación**, desplazando el comburente, y por **enfriamiento**. Dada la baja temperatura que alcanza al salir proyectado (unos -79°C) se debe tener cuidado y no aplicarlo directamente sobre la piel, ya que podría producir quemaduras por congelación. A pesar de esta capacidad de enfriamiento, una vez dispersado, puede existir reencendido, sobre todo en los combustibles que acumulan mucho calor (fuegos de grasas y aceites, por ejemplo).

Se emplea tanto en extintores portátiles como en sistemas fijos de extinción.

- **Adecuado para:** fuegos de clase A y B y, al ser un muy mal conductor, apropiado en presencia electricidad (con precaución y respetando los valores reflejados en la etiqueta). No es apto, por ineficaz, para fuegos de tipo C. Tampoco lo es para fuegos tipo D, puesto que como pasa con el agua, la alta temperatura que genera este tipo de combustión disocia la molécula produciendo carbono y oxígeno aumentando la violencia de la combustión.

Al ser un gas tiene una gran capacidad de penetración, aunque a la vez también de dispersión, limitando su capacidad de sofocación en espacios abiertos. No produce daños al no dejar restos, aunque por su baja temperatura una descarga directa podría afectar a los equipos delicados.

3.3.2 Nitrógeno

Se trata de la sustancia más abundante en la atmósfera, en la cual se encuentra en un 79%, aproximadamente. Es un gas incoloro, inodoro, e insípido, no tóxico y muy estable, de una

densidad levemente más baja que el aire (0,97) por lo cual, tenderá a ocupar lentamente las capas más altas. Trabaja por **sofocación**, desplazando el aire y, por tanto, el oxígeno, aunque por sí sólo no se suele utilizar como agente extintor, sino más bien como elemento de prevención en casos de desgasificación e incluso de llenado de recipientes que contengan o sirvan de transporte de productos inflamables (inertización), como cisternas, canalizaciones o depósitos de combustible. Se suele usar de manera generalizada como agente impulsor de otros productos extintores (polvo, halones, agua, etc.).

3.3.3 Hidrocarburos halogenados (halones)

Son gases derivados de determinados hidrocarburos de cadena corta (alcanos), habitualmente metano (1 átomo de carbono) o etano (2 átomos de carbono), al que se sustituye un átomo o más de hidrógeno por un halógeno (flúor, cloro, bromo o yodo), invirtiendo completamente sus propiedades físicas y químicas, pasando de ser combustibles a eficaces extintores.



Figura 8. Sistema de extinción fijo con halón 1301. Fuente: CBCM.

Se les puede designar por su nombre químico o más sencillamente mediante la nomenclatura de los halones.

Ambos son muy estables químicamente. Deben presurizarse (por ejemplo, con nitrógeno), pues su presión de vapor no es suficiente como para conseguir una proyección adecuada sobre el fuego. No son corrosivos, ni apenas tóxicos (no son tóxicos en sí, pero sí lo pueden llegar a ser los gases de su descomposición al entrar en reacción con la combustión, por lo que se debe proceder a una ventilación adecuada después de su utilización).

- **¿Cómo actúan?:** por **inhibición de la reacción en cadena y por sofocación**, desplazando o diluyendo el comburente. Su eficacia en exteriores es muy limitada y más teniendo en cuenta su elevado coste, que convierte en más adecuados a otros agentes extintores.

Al ser gases poseen gran capacidad de penetración sin producir residuos corrosivos ni grandes cambios de temperatura, con lo cual es muy apropiada su utilización sobre equipos electrónicos o delicados y, además, no son conductores.

- **Apropiados para:** fuegos tipo A y B, sobre todo si existe riesgo de presencia eléctrica. No son adecuados para el tipo C y no se deben utilizar sobre fuegos de metales (D). Su gran

inconveniente, y razón por la que se están eliminando, es por los daños medioambientales que provocan, al atacar a la capa de ozono⁸.

3.3.4 Mezclas de gases

3.3.4.1 Mezclas de gases inertes

Son mezclas, en diferentes proporciones, de nitrógeno, argón y dióxido de carbono. Se emplean en instalaciones fijas de extinción para proteger recintos, trabajando por **sofocación**. La descarga inunda el local haciendo disminuir la concentración de oxígeno a niveles aún respirables pero lo suficientemente bajos como para producir la extinción del fuego. No son tóxicos ni dañinos para el medio ambiente, no son corrosivos ni conductores. Esta tecnología se ha desarrollado sobre todo para sustituir a las halones siendo, como ellos, muy apropiados para proteger salas con aparatos electrónicos de todo tipo o con contenidos delicados o de gran valor (archivos, bibliotecas, museos, etc.).

3.3.4.2 Mezclas de gases halogenados

Se trata de compuestos químicos orgánicos que en su composición contienen átomos de cloro, flúor o yodo. Sus características son similares a las de los halones, siendo menos eficaces que éstos, aunque menos agresivos contra la capa de ozono (aun así, algunos serán retirados en el futuro por este motivo).

Todos ellos trabajan por **inhibición y / o absorción de calor**, necesitando presurizarse algunos de ellos con nitrógeno para garantizar una velocidad de descarga adecuada.

Tanto las mezclas de gases inertes como las mezclas de gases halogenados han servido para sustituir a los halones, existiendo otras técnicas alternativas para este fin como son la nebulización o los aerosoles de polvo.

3.4 Elección del agente extintor

Se realizará en función del tipo de fuego, de las dimensiones del incendio y de las características del escenario (presencia de bienes valiosos o delicados, presencia de personas, riesgo eléctrico, etc.).

Determinadas actividades, como la industria, la aviación, museos, etc., dispondrán in situ del agente más adecuado, muchas veces formando parte de sistemas fijos de extinción (es el caso de los rociadores, nebulizadores, sistemas de extinción por halón, sistemas de extinción por mezcla de gases, monitores fijos de espuma, etc.). En el resto de situaciones en las que se deba escoger se hará la elección atendiendo en primer lugar a la seguridad (por ejemplo, presencia de electricidad) y después a la eficacia. En situaciones muy complejas (presencia de explosivos, determinadas mercancías peligrosas, grandes complejos químicos, etc.) puede convenir el asesoramiento de expertos para realizar la elección del agente extintor.

⁸ El desarrollo del reglamento CE 2037/2000 marcó el 31 de diciembre del 2003 como fecha límite para la retirada y reciclado de estos agentes salvo en las excepciones desarrolladas en la misma norma, principalmente en el ámbito militar y de aviación.

| Fuego Agente | A | B | C | D | Fuegos con electricidad |
|---|-----|-----|------------------|---|----------------------------|
| Polvo BC | X | XXX | XX | | XX ⁽¹⁾ |
| Polvo ABC | XX | XX | XX | | X ⁽¹⁾ |
| Polvo especial Metales | | | | X | |
| H ₂ O | XXX | | X ⁽²⁾ | | |
| Espumas | XXX | XX | | | |
| CO ₂ | X | X | | | XXX |
| Halones | X | X | | | XXX |
| X → Aceptable XX → Adecuado XXX → Excelente | | | | | |
| En blanco → No adecuado o poco eficaz (1) → Consultar hasta qué tensión (2) → Pulverizada diluye nubes de gas | | | | | |

Figura 9. Tabla orientativa de los principales agentes extintores. Fuente: CBCM.

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2005). *Clases de fuego*. (UNE-EN 2:1994/A1:2005).

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2018). *Seguridad contra incendios. Vocabulario* (UNE-EN ISO 13943).

Fernández Morales, H. (2025). *Extinción de incendios urbanos e industriales I y II*. CBCM.

Leyva Quijada, J. (2018). *Naturaleza del fuego*. CBCM.

Leyva Quijada, J. (2018). *Métodos de extinción y agentes extintores*. CBCM.

Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (2017). *Reglamento de instalaciones de protección contra incendios* (Real Decreto 513/2017).

Villanueva Muñoz, J.L. (1984). *Métodos de extinción y agentes extintores*. (NTP 99). INSHT.