



Pablo Andrés Hitado Escudero

PARTE 1

# TEORÍA DEL FUEGO

Manual de incendios

Coordinadores de la colección

Agustín de la Herrán Souto  
José Carlos Martínez Collado  
Alejandro Cabrera Ayllón



Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.

Edición r1 2015.10.05

manualesbb@ceisguadalajara.es  
www.ceisguadalajara.es

Tratamiento  
pedagógico, diseño y  
producción







# CAPÍTULO

# 1

## Caracterización

# 1. CONCEPTOS BÁSICOS

El descubrimiento del fuego ha sido de gran utilidad para la evolución de la humanidad, con contribuciones tan positivas para el ser humano como la mejora en la calidad de vida o el desarrollo tecnológico. Sin embargo, su pérdida de control, como ocurre en los incendios, puede tener consecuencias fatales. Para dominar y controlar el fuego, para evitar que el incendio se produzca y para extinguirlo en el caso de que llegue a suceder, es necesario conocer qué es el fuego.

## 1.1. COMPOSICIÓN DE LA MATERIA

Para conocer cualquier tipo de combustión en profundidad es importante estudiar la atmósfera. La atmósfera está compuesta por una mezcla de gases: oxígeno (21 %), nitrógeno (79 %) y otros gases (0,02 %) como el dióxido de carbono, neón, criptón, xenón, etc.

Los gases inertes son gases no reactivos bajo determinadas condiciones de presión y temperatura. Los más comunes son el nitrógeno y los gases nobles, que poseen una configuración eléctrica totalmente estable, por lo que no reaccionan con ningún otro elemento.

### 1.1.1. MOLÉCULAS Y ÁTOMOS

La materia está constituida por moléculas, formadas a su vez por átomos, que asimismo están integrados por neutrones, protones y electrones. Este conjunto de elementos conforma la materia de la que están hechos los cuerpos.

Una molécula es la combinación de un grupo de átomos. Cuando se agrupan dos o más clases de átomos, se denominan compuestos.

- **Átomo.** De dimensiones sumamente reducidas, son las partículas fundamentales de la composición química de la materia. Están formados por un núcleo compacto, compuesto por protones y neutrones, alrededor del cual se mueven los electrones.
- **Electrón.** Es una partícula subatómica con una carga eléctrica elemental negativa. Se representa habitualmente con el símbolo  $e^-$ .

- **Protón.** Es una partícula con carga positiva. El número de protones incluidos en el núcleo es el que determina el número atómico de un elemento, tal y como se expresa en la tabla periódica de los elementos.
- **Neutrón.** Es una partícula subatómica contenida en el núcleo atómico. Carece de carga eléctrica (imágenes 1 y 2).

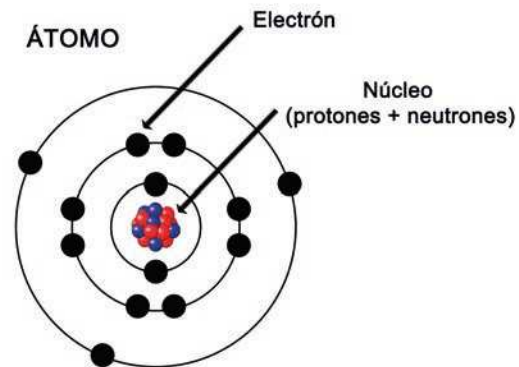


Imagen 1. Átomo

### 1.1.2. SUSTANCIAS Y FÓRMULAS QUÍMICAS BÁSICAS

Se denomina sustancia a cualquier variedad de materia que posea unas características definidas y reconocibles y cuya composición química sea invariable. Existen dos tipos de sustancias:

- Simples o elementos químicos
- Compuestas o compuestos químicos

Por ejemplo, la molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno (2) y uno de oxígeno (1). Su fórmula química es  $H_2O$  ( $H+H+O$ ). (imagen 3)

Una fórmula química expresa el número de átomos de los distintos elementos en la molécula, pero no siempre indica su distribución.

Por ejemplo, la fórmula química del butano es  $C_4H_{10}$ . Es decir, contiene cuatro átomos de carbono y diez átomos de hidrógeno, como se aprecia en la siguiente ilustración (imagen 4).

### Enlace covalente de carbono e hidrógeno

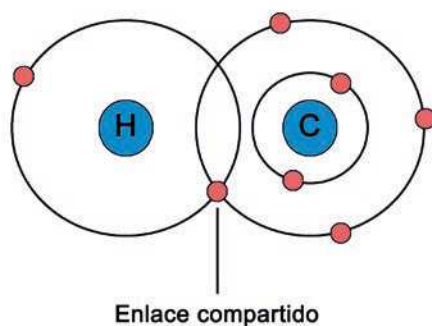


Imagen 2. Enlace covalente

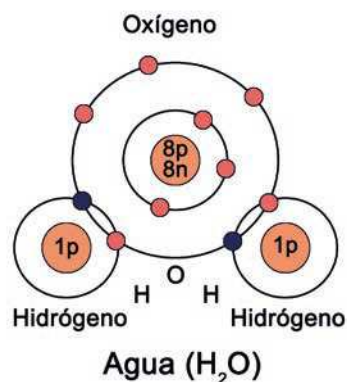


Imagen 3. Agua

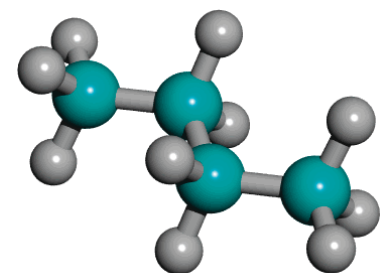


Imagen 4. Estructura del butano



## 1.2. REACCIONES

Una reacción es el cambio que experimenta un elemento o compuesto, como por ejemplo los combustibles en el proceso de la combustión. Pueden ser de tres tipos: físicas, químicas o nucleares.

### 1.2.1. REACCIONES FÍSICAS

Una reacción física se produce cuando **cambia el estado** de la materia.

Por ejemplo, el agua al evaporarse y cambiar de líquido a gas cambia de estado; es decir, los cambios físicos modifican las propiedades de la materia, pero no forman una nueva.

Las moléculas que forman los **reactivos** (elementos originales de partida) son iguales a las moléculas que forman los **productos** (elementos resultantes).

Por ejemplo:

Hielo (H<sub>2</sub>O) - Vapor de agua (H<sub>2</sub>O)

### 1.2.2. REACCIONES QUÍMICAS

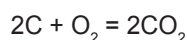
Una reacción química se produce cuando **cambia la composición química** del elemento.

Por ejemplo, en la descomposición de una naranja se modifica su estructura química. Los cambios químicos provocan la modificación profunda de todas las propiedades de un cuerpo y lo transforman en una nueva sustancia.

Una reacción química es un proceso por el cual una o más sustancias (reactivos), se transforman en otras sustancias con propiedades diferentes (productos de la reacción).

Por ejemplo, el oxígeno del aire reacciona con el hierro y produce óxido de hierro.

Los **elementos** que forman las moléculas, tanto en los reactivos como en los productos, **se conservan** en la nueva sustancia. En el ejemplo siguiente se puede ver que las sustancias que forman los **reactivos** no son iguales a las sustancias que forman los **productos**, aunque conserve sus elementos. Dos átomos de carbono reaccionan con un átomo de oxígeno para formar una sustancia nueva, el dióxido de carbono.



### 1.2.3. REACCIONES NUCLEARES

Una reacción nuclear es un proceso de **combinación y transformación** de las partículas y núcleos atómicos. Puede ser endotérmica o exotérmica, en función de si precisa energía para producirse o si la desprende.

Cuando un átomo radiactivo se desintegra, las partículas que están en su interior (neutrón, protón y electrón) originan otras partículas. Las partículas alfa y beta y la radiación gamma son las más características en un fenómeno de radiación nuclear.

El decaimiento de un átomo radiactivo se expresa como una reacción química y se indica el número atómico y el número másico de cada una de las especies de la reacción.



${}^{14}_7\text{N}$  (14 es el número másico y 7 es el número atómico)

Estas reacciones se llaman reacciones nucleares y tienen características distintas de las reacciones químicas comunes, tal y como se detalla en la siguiente tabla (tabla 1) (cf. Educarchile, 2014):

**Tabla 1.** Características de las reacciones

| Reacciones químicas   | Reacciones nucleares  |
|---|---|
| Los átomos se reordenan por la ruptura y formación de enlaces químicos.   | Los elementos o los isótopos de un elemento generan otro elemento al cambiar la constitución del núcleo del átomo.  |
| En la ruptura y formación de los enlaces solo participan los electrones.  | En las reacciones pueden participar protones, neutrones, electrones y otras partículas elementales.   |
| Las reacciones van acompañadas por la absorción o liberación de cantidades de energía relativamente pequeñas.<br>CH <sub>4</sub> +O <sub>2</sub> →CO <sub>2</sub> +2 H <sub>2</sub> O+200 kcal. | Las reacciones van acompañadas por la absorción o liberación de enormes cantidades de energía.<br>${}^3_7\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He} + 23000000 \text{ kcal.}$ |
| La temperatura, presión y concentración de los reactantes y catalizadores son factores que determinan la velocidad de una reacción.   | Las velocidades de reacción generalmente no se ven afectadas por la temperatura, la presión o los catalizadores.  |

En una reacción nuclear los **elementos** que forman los **productos** son **diferentes** a los elementos originales de partida (**reactivos**).

Las partículas con carga eléctrica se pueden acelerar con campos eléctricos y magnéticos (aceleradores de partículas) con el objeto de facilitar el choque y la reacción al impactar a gran velocidad con el blanco. Los neutrones, así como otras partículas neutras, no se pueden acelerar dado su carácter neutro.

Existen dos tipos de reacciones nucleares: fusión nuclear y fisión nuclear.

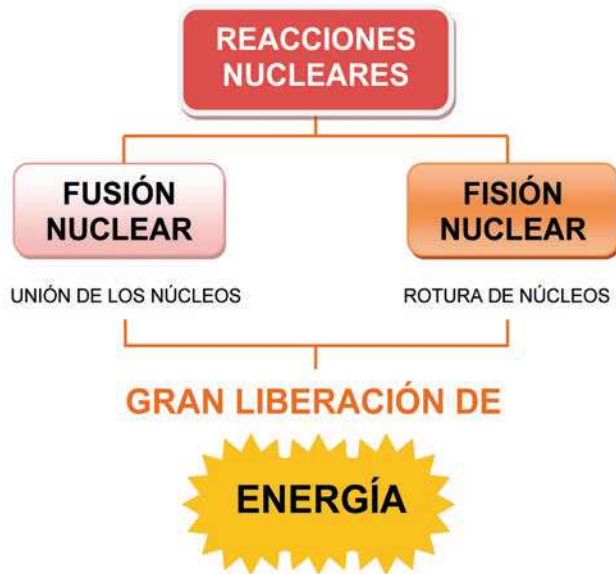


Imagen 5. Reacciones nucleares

### a) Fisión nuclear

La fisión nuclear es una reacción en la que un núcleo pesado, al ser bombardeado con neutrones, se convierte en inestable y se descompone en dos núcleos de un tamaño del mismo orden de magnitud, con gran desprendimiento de energía y la emisión de dos o tres neutrones.

Estos neutrones, a su vez, pueden ocasionar más fisiones al interactuar con nuevos núcleos fisionables, que emitirán nuevos neutrones y así sucesivamente. Este efecto multiplicador se conoce con el nombre de **reacción en ca-**

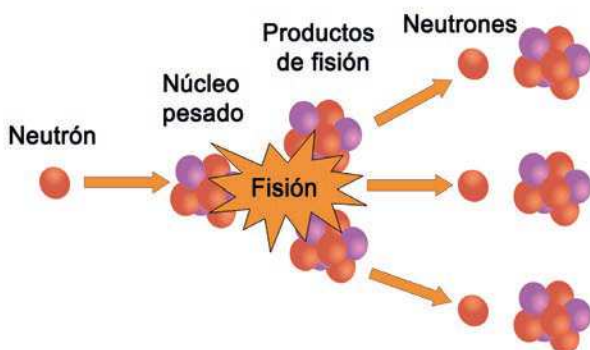


Imagen 6. Fisión nuclear

**dena.** En una fracción de segundo, el número de núcleos que se han fisionado libera una energía un millón de veces mayor que la obtenida al quemar un bloque de carbón o explotar un bloque de dinamita de la misma masa.

Debido a la rapidez con la que tiene lugar la reacción nuclear, la energía se desprende mucho más rápido que en una reacción química.

### b) Fusión nuclear

La fusión nuclear es una reacción en la que dos núcleos de átomos ligeros se unen para formar otro núcleo más pesado. Generalmente esta unión va acompañada de la emisión de partículas. Esta reacción nuclear libera o absorbe gran cantidad de energía en forma de rayos gamma y también de energía cinética de las partículas emitidas.

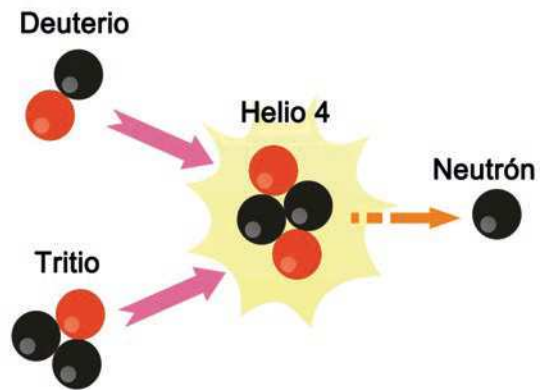


Imagen 7. Fusión nuclear

## 2. TEORÍA DEL FUEGO

### 2.1. DEFINICIÓN Y NORMATIVA

La norma **UNE 23026** es una norma española que define el **fuego** como una combustión caracterizada por la emisión de calor, humo y llamas. La misma norma define la **combustión** como una reacción química exotérmica de oxidación en la que se combina un elemento que arde (**combustible**) y otro que produce la combustión (**comburente**) –generalmente el oxígeno en forma de  $O_2$  gaseoso– y en la que se desprende calor (exotérmica), luz, humo y gases.

La norma **UNE 23026**, aunque antigua, se sigue aplicando en España con respecto a la definición de fuego pero existen otras normativas vigentes, como la **UNE-EN ISO 13943:2001**, aplicada en Europa y que anula la norma, o la **NFPA**, aplicada en Estados Unidos y empleada como referencia en varios países latinoamericanos: Argentina, Colombia, México, Puerto Rico, República Dominicana, Venezuela y Perú.

El fuego es una combustión, y lo que aplica al fuego aplica también al incendio. Una combustión es un proceso químico-físico que se manifiesta cuando un cuerpo se une al

oxígeno y desprende calor. La velocidad del proceso determina si se trata de una simple oxidación o una violenta explosión.

El fuego no es más que una reacción de oxidación-reducción fuertemente exotérmica.

## 2.2. REACCIONES ENDOTÉRMICAS Y EXOTÉRMICAS

En las reacciones químicas la energía se conserva. En una reacción se consideran dos fases diferenciadas: primero los enlaces químicos de los reactivos se rompen, después se reordenan para formar nuevos enlaces. Esta operación requiere cierta cantidad de energía, que será liberada si el enlace roto vuelve a formarse.

Los enlaces químicos con alta energía se conocen como enlaces fuertes, pues precisan un esfuerzo mayor para romperse. Si en el producto se forman enlaces más fuertes que los que se rompen en el reactivo, se libera energía en forma de calor, lo que se denomina reacción exotérmica. Se produce con desprendimiento de calor porque las sus-

tancias resultantes de la reacción tienen menos energía que las que dieron lugar a la misma. Esa energía sobrante se manifiesta en forma de calor. En caso contrario, la energía es absorbida y la reacción se denomina endotérmica.

Debido a que los enlaces fuertes se crean con más facilidad que los débiles, son más frecuentes las reacciones exotérmicas espontáneas.

Un ejemplo de ello es la combustión de los compuestos del carbono en el aire para producir  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , que tienen enlaces fuertes. Pero también se producen reacciones endotérmicas espontáneas, como la disolución de la sal en el agua.



En resumen:

- Si en la reacción química aumenta la energía interna del sistema, significa que ha absorbido energía, lo que se denomina reacción endotérmica.
- Si en la reacción química disminuye la energía interna del sistema, significa que se ha desprendido energía, lo que se denomina reacción exotérmica.

## 2.3. REACCIÓN REDOX

Las reacciones redox o reacciones de óxido-reducción son aquellas en las que hay movimiento de electrones desde una sustancia que cede electrones (**reductor**) a una sustancia que capta electrones (**oxidante**). La sustancia que cede electrones se oxida, la que los gana se reduce.

La oxidación es el proceso mediante el cual un determinado elemento químico cede electrones, lo que se traduce en un aumento de su índice de oxidación. La reducción es el proceso mediante el cual un determinado elemento químico capta electrones, lo que se traduce en una disminución de su índice de oxidación.

Que la sustancia que se oxida pierda electrones y que la sustancia que se reduce gane electrones puede inducir a confusión, ya que reducir implica perder algo, no ganarlo. Pero precisamente lo que se está ganando son electrones, que tienen carga negativa.

La sustancia, molécula o ión que, al reaccionar, se oxida reduce a la sustancia con la que reacciona porque le cede electrones, y se denomina **agente reductor**. La sustancia, molécula o ión que, al reaccionar, se reduce oxida a la sustancia con la que reacciona porque le quita electrones, y se denomina **agente oxidante**.

El fuego es una combustión en la que intervienen un oxidante y un reductor; el **oxidante** es el **comburente** y el **reductor** es el **combustible**. La reacción química que se produce entre dos elementos, sustancias o cuerpos en la que uno se oxida a costa del otro que se reduce es fuertemente exotérmica.

Los procesos de oxidación y reducción siempre van unidos, ya que para que uno se oxide (gana oxígeno) el otro debe reducirse (pierde oxígeno). La oxidación que se produce en el combustible significa pérdida de electrones, la reducción que se produce en el comburente es un proceso de ganancia de electrones.

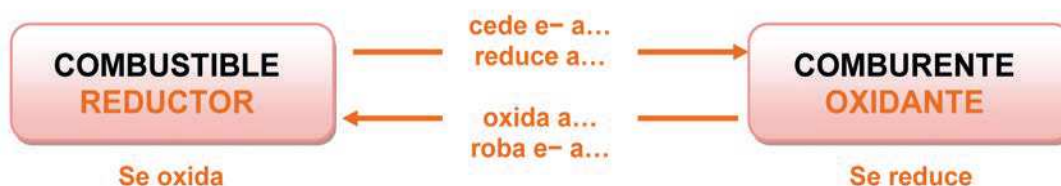


Imagen 8. Reacción redox

## 3. COMBUSTIONES

### 3.1. DEFINICIÓN Y NORMATIVA APLICADA

La **combustión** es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de puntos en forma de calor y luz, que se manifiesta visualmente por el fuego.

Como ya se ha comentado, la norma **UNE 23026** define combustión como una reacción exotérmica de una sustancia combustible con un oxidante, fenómeno generalmente acompañado de una emisión lumínica en forma de llamas o de incandescencia con desprendimiento de humos y de productos volátiles.

Existen otras definiciones de combustión. Por ejemplo, la norma sobre calidad y gestión de la calidad **ISO 13943** define la combustión como una reacción exotérmica de una sustancia con la participación de un oxidante, que generalmente emite efluentes acompañados de llamas y/o luz visible.

Los tipos más frecuentes de combustible son las materias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno.

En una reacción completa todos los elementos que forman el combustible se oxidan completamente. Los productos

que se forman son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el agua, el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) (sólo si el combustible contiene azufre) y, en ocasiones, óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), en función de la temperatura, la cantidad de oxígeno en la reacción y, sobre todo, la presión.

En la combustión incompleta, debido a que el comburente y el combustible no están en la proporción adecuada, los productos que se queman pueden no reaccionar con el mayor estado de oxidación y dar como resultado compuestos como el monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ). Además, puede generarse carbón.

Las principales características de la combustión son las siguientes:

- Es un proceso químico de oxidación-reducción (reactivos  $\rightarrow$  productos).
- Generalmente de cinética rápida.
- De carácter fuertemente exotérmico.
- La velocidad de la reacción determina la cantidad de calor producida.
- Se trata de una reacción autoalimentada (cuando hay reacción en cadena).
- Los reactivos se llaman combustible y comburente.

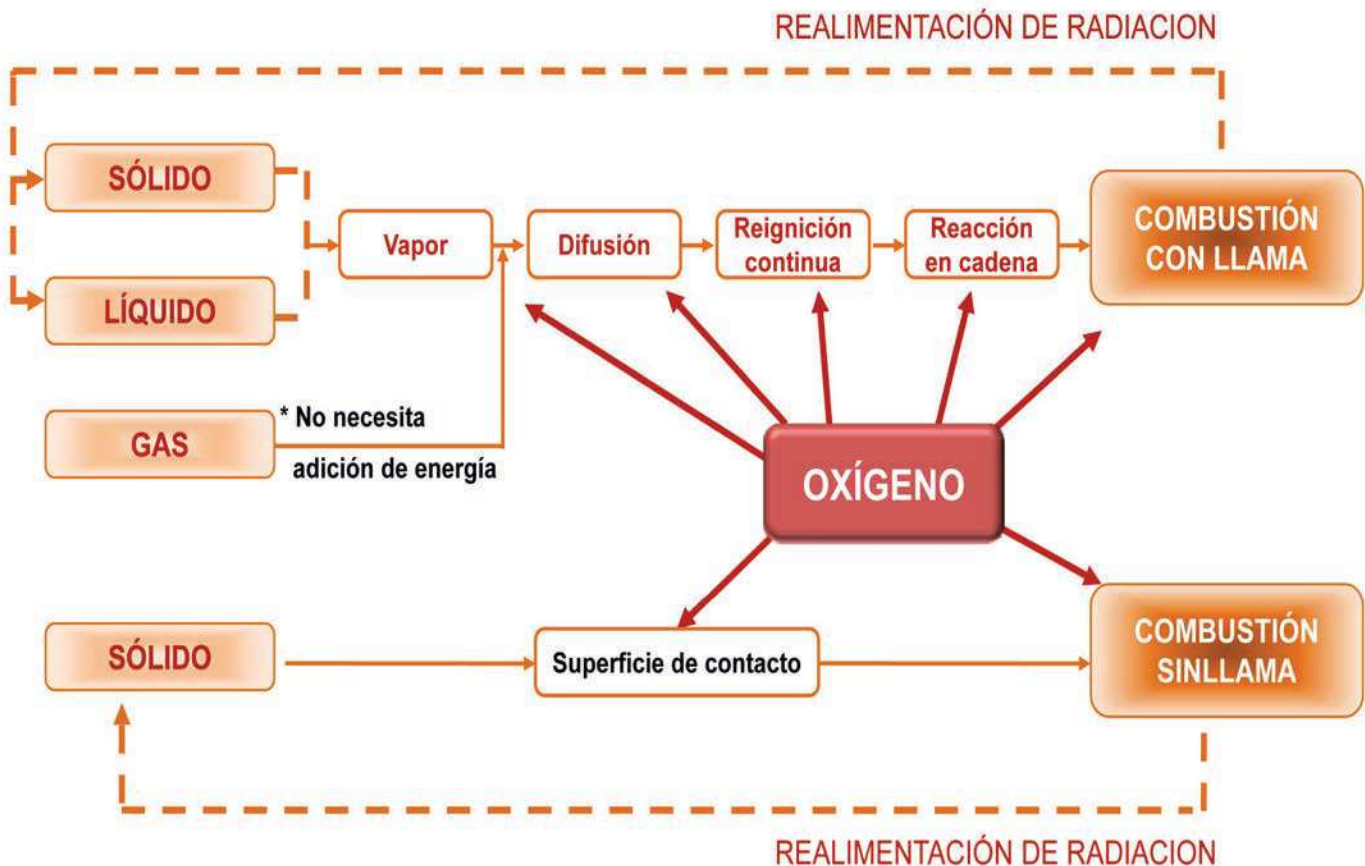


Imagen 9. Esquema combustión



- Los productos obtenidos son calor, humo, gases de combustión y radiación luminosa (no tiene por qué haber llamas).
- El comburente (oxidante) suele ser oxígeno atmosférico.
- El combustible (reductor) puede estar en fase sólida, líquida y/o gaseosa.
- La combustión en fase sólida generalmente produce incandescencia.
- La combustión en fase líquida o gaseosa generalmente produce una llama visible.
- Los dos modos de combustión (con y sin llama) pueden tener lugar separada o conjuntamente.

### 3.2. TIPOS DE COMBUSTIONES

Existen dos tipos principales de combustiones:

- Combustiones de aportación
- Combustiones de propagación

#### 3.2.1. COMBUSTIONES DE APORTACIÓN

Las combustiones de aportación son aquellas en las que la masa reactiva se va incorporando al frente de reacción. Se dividen en:

- Combustión con llama
- Combustión latente
- Combustión incandescente
- Combustión espontánea

##### a) Combustión con llama

Es una combustión que se desarrolla íntegramente en **fase gaseosa** y que produce **calor, luz y gases**.

La combustión con llama se representa con un tetraedro en el que cada uno de sus lados corresponde a cada uno de los cuatro requisitos básicos. Se describe en detalle en el apartado "Triángulo y tetraedro del fuego".

##### b) Combustión latente

Es una reacción exotérmica de oxidación lenta en la que no se aprecia luz y generalmente se revela por un aumento de la temperatura o por humo. Produce calor, no tiene llama y se propaga en combustibles porosos.

La norma **ISO 13943** la define como aquella combustión de un material sin presencia de llama o luz visible.

Muchos materiales pueden sufrir una combustión latente, como por ejemplo el carbón, la celulosa, la madera, el algodón, el tabaco, la turba, el humus, los jabones sintéticos, los polímeros carbonizados (incluida la espuma de poliuretano) y algunos tipos de polvo.

##### c) Combustión incandescente

Es una combustión sin llama, con emisión de luz visible y que produce calor y luz. Tiene manifestación visible en forma de ascuas.

La norma **ISO 13493** la define como una combustión de un material en fase sólida, sin llama pero con emisión de luz desde la zona de combustión.

##### d) Combustión espontánea

Es aquella combustión que se inicia sin aporte de calor externo.

#### 3.2.2. COMBUSTIONES DE PROPAGACIÓN

Son aquellas combustiones también denominadas de premezcla.

En las combustiones la velocidad de reacción puede ser distinta y por eso se habla de distintos tipos de combustión. En función de las velocidades de combustión es posible definir tres tipos:

- **Combustión Lenta.** Menos centímetros por segundo. Se da cuando el combustible tiene poco aporte de oxígeno.
- **Combustión Viva o Normal.** Más centímetros por segundo. Se da cuando el combustible tiene buen aporte de oxígeno.
- **Combustión Instantánea.** Dependiendo de la velocidad, puede ser:
  - Rápida. Más metros por segundo. Deflagraciones.
  - Muy Rápida. Más kilómetros por segundo. Detonaciones.

Una explosión es una súbita liberación (lo suficientemente rápida para que la energía se disipe mediante una onda de choque) de gas a alta presión (superior a la de la atmósfera circundante en el momento de la liberación) en el ambiente. Un proceso rápido de oxidación o reacción de descomposición puede generar una explosión de origen químico, que puede ser:

- Una **deflagración**: onda de combustión cuyo frente avanza a velocidad subsónica.
- Una **detonación**: onda de combustión cuyo frente avanza a velocidad sónica o supersónica y lleva asociada, por tanto, una onda de choque.

### 3.3. PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

Cuando se produce una reacción química exotérmica con la suficiente velocidad de reacción para que se pueda identificar como un incendio o un fuego, se establece una ecuación con unos elementos que reaccionan y cambian sus características químicas para dar lugar a unos productos o elementos diferentes.

Ninguno de los elementos iniciales se destruye, sino que todos son transformados en mayor o menor medida. Aun cuando se encuentren dispersos, los productos de la combustión son iguales en peso y volumen a los elementos del combustible de la combustión.

En definitiva, se puede decir que se cumple el famoso principio de la ciencia que asevera que "la materia ni se crea ni se destruye, tan sólo se transforma".

### 3.3.1. Humo

El humo está constituido por partículas físicas sólidas y líquidas en suspensión en el aire (principalmente vapor de agua) de diferente tamaño y color, incompletamente quemadas, que son arrastradas por corrientes de convección de aire (el aire caliente asciende). A la adecuada proporción de calor y oxígeno el humo es inflamable.

Las partículas, polvo rico en carbono de tamaños comprendidos entre 0.005 y 0.01 milimicras y denominado hollín, se producen cuando arde la mayoría de los materiales orgánicos en condiciones de combustiones incompletas. La producción de estas sustancias carbonosas es acusada en la combustión de prácticamente todos los derivados del petróleo. Dentro del humo también se encuentran otras partículas además del hollín, como las cenizas (residuos inorgánicos en polvo, resultado de una combustión completa) o las escorias (aglomerado sólido de residuos provenientes de una combustión total o parcial y que puede ser una fusión parcial o completa de material o de residuos).

El humo es el principal factor de riesgo en el desarrollo de un incendio. Tiene efectos irritantes sobre las mucosas y provoca lagrimeo en los ojos, lo que dificulta la visión. A su vez evita el paso de la luz, lo que complica las tareas de extinción y salvamento así como las de evacuación de las personas afectadas. Además puede llegar a ser inflamable y/o explosivo cuando se dan las condiciones adecuadas.

En igualdad de condiciones, unos materiales emiten más humo que otros. Los líquidos inflamables emiten, por lo general, un denso humo negro.

Es muy difícil saber qué está ardiendo por el color del humo, ya que la percepción luminosa depende de múltiples factores externos ajenos al proceso de combustión.

#### a) Humo blanco

El color blanco indica que los combustibles arden libremente, con gran presencia de  $O_2$ , y que el humo está compuesto principalmente de vapor de agua.

Su origen puede ser productos vegetales, forrajes, fósforos, algunos piensos, etc.



Imagen 10. Humo blanco

#### b) Humo negro

El color negro indica fuegos de gran carga térmica, normalmente con poco aporte de oxígeno, generado por fibras sintéticas, polímeros, cauchos o productos derivados del petróleo.

Su origen puede ser fibras artificiales, cauchos, poliéster, gasóleo, gasolina, petróleo, plásticos, etc.



Imagen 11. Humo negro

#### c) Humo de color

- a) **Amarillo:** su origen puede ser sustancias químicas que contienen azufre, con formación de ácidos clorhídricos.
- b) **Amarillo verdoso:** su origen puede ser sustancias químicas que contienen cloro.
- c) **Violeta:** su origen puede ser sustancias químicas que contienen yodo.
- d) **Azul:** este color está asociado a hidrocarburos.

### 3.3.2. LLAMAS

La llama es un gas incandescente cuya temperatura es variable y depende de factores como el tipo de combustible y la concentración de comburente.

La norma **ISO 13943** define la **llama** como la zona de combustión en **fase gaseosa**, usualmente con emisión de luz. La llama es un fenómeno propio de la combustión, que se manifiesta como fenómeno luminoso acompañado de una producción de calor. El grado de luminosidad o intensidad de la llama dependerá de la naturaleza del combustible y de la aportación del comburente.

Los combustibles gaseosos y líquidos (y la mayoría de los sólidos) arden siempre con llama. Los combustibles sólidos se descomponen mediante la **pirólisis**, emitiendo **gases inflamables** que son los que **realmente arden**. Las llamas se producen siempre en la fase gaseosa.

El color de la llama depende de la composición química del combustible y de la cantidad de oxígeno presente. Si la proporción de oxígeno es elevada, las llamas son de color amarillo luminoso y son oxidantes. Si la proporción de oxígeno es baja, las llamas son de color azul, reductoras y más energéticas.

En las combustiones sin llama, la radiación luminosa emitida se conoce como incandescencia o ascuas. Esta radiación es de mayor longitud de onda y, por tanto, de menor energía.

En la **mayoría** de los **incendios** se producen **llamas**, aunque hay excepciones: por ejemplo, la combustión del coque.

Las llamas provocan principalmente reacciones de histeria y nerviosismo en las víctimas. En ocasiones producen deslumbramientos en el trabajo propio del bombero, lo que al igual que el humo impide la correcta percepción del entorno del fuego.

Las zonas de la llama son:

- Zona Interna.** Zona fría y oscura, no hay combustión por falta de oxígeno.
- Zona Media.** Zona muy luminosa, la falta de oxígeno hace que la combustión sea incompleta.
- Zona Externa.** Zona poco luminosa, en la que las temperaturas alcanzan sus valores máximos. La



Imagen 12. Llama

combustión tiene lugar en esta parte, al estar plenamente en contacto el combustible con el comburente y producir una combustión completa.

Las temperaturas de la llama dependen de la naturaleza del combustible que arde y de los productos resultantes de la combustión. En la práctica las temperaturas de la llama alcanzan de **1800° C a 2200° C**. Sólo la llama oxiacetilénica supera estas temperaturas.

### 3.3.3. CALOR

Los **incendios** son reacciones químicas exotérmicas que **desprenden calor**.

No hay que confundir calor con temperatura, ni tampoco con el “sentido de calor” que pueda percibir una persona en un momento dado. Los condicionantes ambientales, los del propio trabajo y, sobre todo, los personales distorsionan mucho ese sentido.

La temperatura es una manifestación de la energía (calor) que poseen todos los cuerpos y depende del movimiento de las moléculas (a mayor movimiento, excitación, agitación o velocidad de traslación de los electrones, mayor temperatura adquiere el cuerpo).

Los cuerpos no tienen calor, sino temperatura. La energía existe en varias formas. El calor es el proceso mediante el cual la energía se transfiere de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura.

#### a) Calor y temperatura

El **calor** es consecuencia de los **movimientos** fluidos de las moléculas que, en el seno de la materia, entrec chocan constantemente. Cuanto mayor es la energía cinética de las moléculas, mayor es la violencia de los choques y mayor el calor que se desprende. Esto se debe a que los cuerpos tienden a adoptar la forma de menor energía y ceden el exceso al ambiente que los rodea.

Es posible medir el calor, ya que los cambios de estado calorífico de los cuerpos se manifiestan por su temperatura o por su estado físico.

#### • Calor de combustión

Se llama calor de combustión de una sustancia al calor que se desprende cuando reacciona con el oxígeno a volumen y presión constante. Es el proceso más importante por el cual se genera energía calorífica.

El calor de combustión de un material es la cantidad de calor liberado por unidad de volumen y masa cuando se quema por completo. Su unidad es la caloría o el julio, según se hable de energía térmica o energía mecánica.

**El calor es la suma de la energía cinética de todas las moléculas de un cuerpo.**

Las cinco categorías de la energía calorífica son: **eléctrica, mecánica, química, nuclear y solar.**

La conductividad calorífica es la propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor a través de ellos. Las principales fuentes de calor son el sol y los combustibles (sólidos, líquidos y gaseosos).

#### • Temperatura

La **temperatura** es una **propiedad física** del estado de los cuerpos. A medida que aumenta la energía cinética de un sistema, se observa que aumenta su grado térmico; es decir, que su temperatura es mayor.

Al poder determinarse como una sensación térmica, palpable por el sentido del tacto, se puede apreciar cuándo un cuerpo está más caliente que otro, e incluso medir al determinar el paso de calor de un cuerpo a otro.

Para poder medir la temperatura se utilizan los termómetros. Existen en la actualidad diferentes escalas termométricas (centígrada, Réaumur, Fahrenheit, Kelvin, etc.).

#### • Diferencia entre calor y temperatura

Podemos decir que el calor es una energía producida por la interacción de las moléculas de la materia, mientras que la temperatura es la manifestación del grado de calor que alcanzan los cuerpos (estado térmico de los cuerpos). Cuando se aplica calor a un material, el principal efecto que se observa es un cambio de temperatura.

El calor de un cuerpo es la suma de la energía cinética (en movimiento) de todas sus moléculas. La temperatura de un cuerpo es la energía cinética media de sus moléculas.

#### b) Unidades de calor

El calor se mide en calorías.

La caloría es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de un gramo de agua y es variable de unas sustancias a otras (dato tomado con el agua entre 14,5° y 15,5° de temperatura a una presión atmosférica normal).

Como la caloría es muy pequeña habitualmente se utilizan otras unidades, como la kilocaloría (1.000 calorías) o la megacaloría (1.000.000 calorías o 1.000 kilocalorías).

Por ejemplo, ¿qué cantidad de calor se necesita para llevar un litro de agua de 20° de temperatura a 100° de temperatura?

Un litro de agua pesa aproximadamente un kilogramo y para llegar a los 100 grados hay un salto de 80° C.  $1 \text{ cal/gr} \times 1000 \text{ gr} \times 80 \text{ }^\circ\text{C} = 80.000 \text{ calorías} = 80 \text{ kilocalorías}$ . Un litro de agua a 20° de temperatura le roba 80 kilocalorías al fuego sobre el que se arroja para convertirse en vapor de agua.

La caloría, basada en el calor específico del agua, es una unidad de energía del sistema técnico de unidades ya en desuso. En el uso científico actual la **unidad de energía** es el **julio**.

#### 1 caloría (cal) equivale exactamente a 4,1868 julios (J)

El julio es la unidad de calor en el Sistema Internacional y se define como "la energía o trabajo realizado por una unidad de fuerza (1 newton) al mover un cuerpo un metro de longitud".

1 julio = 0,24 calorías

1 caloría = 4,185 julios

El Watio es una medida de potencia o flujo de energía. La cantidad de calor liberada en un incendio se puede expresar en Kilowatios o Megawatios.

1 W = 1 J/s

#### c) Calor específico

El calor específico es la capacidad de una sustancia para tomar energía en forma de calor, y se define como la cantidad de calor necesaria para elevar 1° C la temperatura de un cuerpo de un gramo. El calor específico es distinto para cada sustancia y varía ligeramente con la temperatura. Cuanto mayor calor específico tenga un cuerpo, mayor será su efecto refrigerante.

Tabla 2. Calor específico

| Sustancia     | c [J/(g°C)] | c [cal/(g°C)] |
|---------------|-------------|---------------|
| Agua          | 4,182       | 1,0           |
| Aire seco     | 1,009       | 0,241         |
| Aluminio      | 0,896       | 0,214         |
| Bronce        | 0,385       | 0,092         |
| Cobre         | 0,385       | 0,092         |
| Concreto      | 0,92        | 0,22          |
| Hielo (a 0°C) | 2,09        | 0,5           |
| Plomo         | 0,13        | 0,031         |
| Vidrio        | 0,779       | 0,186         |
| Zinc          | 0,389       | 0,093         |

#### d) Capacidad calorífica

La capacidad calorífica de un cuerpo se define como la cantidad de calor necesaria para elevar 1° C la temperatura de dicho cuerpo. Se representa con C. Se puede calcular en función de la masa y el calor específico del cuerpo con la fórmula:

$$C = \text{Masa} \cdot \text{Calor específico}$$

#### e) Escalas de temperatura

La unidad de temperatura es el grado, pero existen varias escalas. Todas se basan en dos puntos fijos:  **fusión del hielo y ebullición del agua**.

Los termómetros son los aparatos que miden la temperatura. Pueden construirse con un tubo adherido a un bulbo con cierto líquido (suele ser mercurio) cuya variación de volumen por la temperatura es conocida. Por aumento o disminución de temperatura, el líquido sube o baja por el tubo de vidrio transparente, convenientemente graduado.

Gases, líquidos y sólidos se dilatan con el calor. Los gases también se dilatan por la presión, y los sólidos son poco sensibles a la temperatura. Por ese motivo se emplean preferentemente líquidos para la confección de termómetros, excepto para medir fríos extremos.



### Tipos de escalas

- a) Celsius o centígrada 0°- 100° C
- b) Réaumur: 0°- 80° RC
- c) Fahrenheit: 32°- 212° F
- d) Absoluta o Kelvin: 273° - 373° K

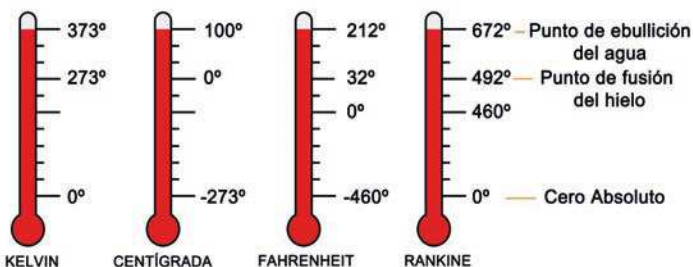


Imagen 13. Tipos de escala

La escala Fahrenheit sólo se usa en países de habla inglesa, y la escala Réaumur ya no se utiliza. La escala absoluta o Kelvin coincide con el llamado cero absoluto (equivale en la escala Centígrada a 273° negativos o bajo cero). Es una temperatura tan baja que en ella un gas cualquiera deja de ejercer presión y sus moléculas quedan completamente inmóviles (energía cinética nula).

- Para convertir de °C a °F:  $^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot 1,8 + 32$
- Para convertir de °F a °C:  $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \div 1,8$
- Para convertir de K a °C:  $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$
- Para convertir de °C a K:  $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$
- Para convertir de °F a K:  $\text{K} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32) + 273,15$
- Para convertir de K a °F:  $^{\circ}\text{F} = 1,8 (\text{K} - 273,15) + 32$

Otra forma de relacionar las escalas es realizar igualdades entre ellas y luego simplificarlas:

| Centígrada | Réaumur  | K-273       | Kelvin       |
|------------|----------|-------------|--------------|
| C-0        | R-0      | F-32        | K-273        |
| 100        | 80       | 180         | 100          |
| C          | R        | F-32        | K-273        |
| 100        | 80       | 180         | 100          |
| <b>C</b>   | <b>R</b> | <b>F-32</b> | <b>K-273</b> |
| <b>5</b>   | <b>4</b> | <b>9</b>    | <b>5</b>     |

Se han dividido los intervalos que existen en cada escala entre ebullición y fusión por un número común para simplificarlo (en este caso la división se ha hecho por 20). De esta manera quedan cuatro fórmulas o igualdades que permiten pasar de unas a otras fácilmente.



### ¿Cuántos grados Fahrenheit son 27°C?

$$F = C \cdot 1,8 + 32$$

Ejemplo:  $F = 27 \cdot 1,8 + 32 = 80,6^{\circ}\text{F}$

### f) Efectos del calor sobre los cuerpos

El calor produce sobre los cuerpos dos efectos importantes: **dilatación** y **cambios de estado**.

- **Dilatación**

La dilatación es el aumento de volumen que experimentan los cuerpos al ser calentados, en cualquier estado en que se hallen. Los gases tienen mayor poder de dilatación.

Hay excepciones, y la más importante es el agua, que al descender la temperatura de la misma de 4° C a 0° C se dilata. En el resto de intervalos se comporta normalmente.

La dilatación puede producir grandes fuerzas o modificaciones, y es tenida muy en cuenta al construir puentes, edificios, etc., sobre todo si son de estructura metálica.

Al estudiar la dilatación se encuentran tres fenómenos:

- Dilatación lineal
- Dilatación superficial
- Dilatación cúbica

#### Dilatación lineal

Es el aumento de longitud de un cuerpo al ser calentado. Su fórmula es:  $\Delta L = L - L_0$ .

La **dilatación** es directamente **proporcional** a la variación de **temperatura**.



**ΔL:** Dilatación Lineal o Variación de Largo

**L<sub>0</sub>:** Largo Inicial

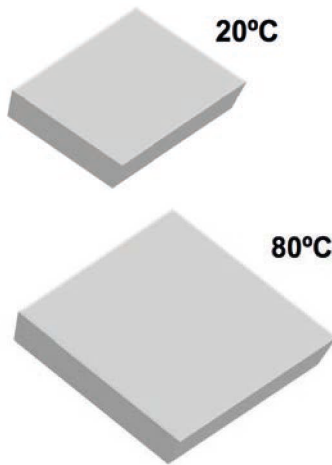
**L:** Largo Final.

**α:** Coeficiente de Dilatación lineal.

**Δt:** Variación de Temperatura.

### Dilatación superficial

Es el aumento de superficie de un cuerpo al ser calentado. En ella predomina la **variación en dos dimensiones** de un cuerpo; es decir: **el largo y el ancho**.



$$\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta t$$

$$S - S_0 = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta t$$

$$S - S_0 = S_0 \cdot 2\beta \cdot \Delta t$$

**ΔS:** Dilatación Superficie o Variación de Superficie (área)

**S<sub>0</sub>:** Superficie Inicial

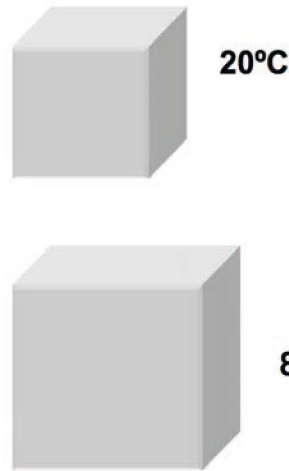
**S:** Superficie Final.

**β:** Coeficiente de Dilatación superficial.

**Δt:** Variación de Temperatura.

### Dilatación cúbica o volumétrica

Es el aumento de volumen de un cuerpo al ser calentado. Se da en aquellos sólidos que tienen tres dimensiones (alto, ancho, profundo), por ejemplo esferas, prismas y cubos.



$$\Delta V = S_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t$$

$$V - V_0 = S_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t$$

$$V - V_0 = V_0 \cdot 3\gamma \cdot \Delta t$$

**ΔV:** Dilatación Volumétrica o Variación de Volumen

**V<sub>0</sub>:** Volumen Inicial

**V:** Volumen Final.

**γ:** Coeficiente de Dilatación volumétrica.

**Δt:** Variación de Temperatura.

### • Cambios de estado

Los cambios de estado pueden ser progresivos o regresivos.

Los progresivos son aquellos en los que el cuerpo absorbe calor y se denominan:



- Fusión. Paso de sólido a líquido (ejemplo: hielo-agua).
- Vaporización. Paso de líquido a gas (ejemplo: agua-vapor-gas).
- Sublimación. Paso de sólido a gas (ejemplo: nieve-polvo-gas)

Los regresivos son aquellos en los que el cuerpo desprende calor, y se denominan:



- Solidificación. Paso de líquido a sólido (ejemplo: agua-hielo).
- Condensación (también llamada licuefacción). Paso de gas a líquido (ejemplo: gases licuados del petróleo)
- Sublimación regresiva. Paso de gas o vapor a sólido.

### 3.3.4. GASES

Gran parte de los elementos que constituyen el combustible en una combustión forman compuestos gaseosos cuando arden. La cantidad de gases que se producen en los incendios depende de los materiales presentes en la combustión.

La mayor parte de los materiales combustibles contiene carbono, que forma dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al quemarse si la concentración de aire es suficiente y la combustión es completa; puede producirse monóxido de carbono (CO) si dicha concentración es baja.

Estos dos gases, junto al vapor de agua, son los gases de combustión más abundantes en los incendios, pero también se produce amoníaco (NH<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ácido cianhídrico (HCN), óxidos de nitrógeno (NOx), ácido clorhídrico (HCl), fosgeno, etc.

Estos gases pueden ser tóxicos y producir en las personas que lo respiran incapacidad física, pérdida de coordinación, desorientación, envenenamiento e incluso la muerte.

#### a) Monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro, más ligero que el aire, que arde con llama azul. Es inflamable y explosivo en mezclas con el aire de 12.5% a 74.2%.

Se forma en la combustión incompleta de los materiales orgánicos carbonáceos, como la madera, carbón de madera o minera, petróleo y sus fracciones, gas natural y artificial o subproducto de explosivos. En toda combustión que haya déficit de oxígeno aumentará la producción de CO.

- **Vías de ingreso en el organismo**

Respiratoria, por inhalación del gas.

- **Patología**

El CO se combina con la hemoglobina (Hb) para formar carboxihemoglobina (COHb), unión que hace que la sangre pierda su capacidad transportadora de O, lo que provoca una hipoxia que puede derivar en anoxia. El CO se combina con la Hb para llegar a un estado de equilibrio según la concentración en el aire. Esta reacción será tanto más rápida cuanto más alto sea el nivel de CO atmosférico. El CO tiene mayor afinidad (260 veces mayor) por la Hb que el O.

La COHb es una reacción reversible y los glóbulos rojos aparentemente no son dañados. Cuando cesa la exposición el O suplanta al CO en la sangre y se forma nuevamente Ohb.

La cantidad de CO unida a la Hb en forma de COHb se expresa en % de saturación sanguínea.

#### b) Dióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>)

El dióxido de carbono —también denominado óxido de carbono (IV), gas carbónico y anhídrido carbónico— es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula molecular es CO<sub>2</sub>.

Es un gas no inflamable, soluble en agua, incoloro e inodoro, pero con pequeña molestia picante. Es más pesado que el aire y oxidante al contacto con el agua. No es tóxico pero sí asfixiante.

- **Vías de ingreso en el organismo y patología**

- **Ingestión:** puede causar irritación, vómitos, náuseas y hemorragias en el tracto digestivo.
- **Inhalación:** produce asfixia y causa hiperventilación. La exposición a largo plazo es peligrosa. Es asfixiante en grandes concentraciones.
- **Piel y ojos:** en contacto directo puede producir congelación.

- **Datos Importantes**

Punto de fusión: - 78 °C

Punto de ebullición: - 57 °C

Densidad relativa: (aire=1): 1,52 (una vez y media más pesado que el aire).

#### c) Cianuro de hidrógeno (HCN)

Se designa como cianuros (CN) al ácido cianhídrico, a sus sales y a los cianuros de sodio, potasio y calcio, que son los más usados en el medio laboral.

El cianuro de hidrógeno o ácido cianhídrico (HCN) también se conoce como ácido prúsico o ácido hidrocianico. En estado gaseoso es un gas incoloro más pesado que el aire, en estado líquido es un líquido blanco azulado de olor característico a almendras amargas. Es explosivo en mezclas de 5% a 40% con el aire.

- Cianuro de sodio (NaCN), sólido blanco cristalino a temperatura normal.
- Cianuro de potasio (KCN), sólido blanco cristalino, delicuescente.
- Cianuro de calcio (Ca(CN)<sub>2</sub>), terralcalino, llamado cianuro negro.

Estos tres cianuros producen HCN por acción del agua y los ácidos.

- **Vías de ingreso en el organismo (exposiciones a gases, líquidos y aerosoles líquidos)**
  - Respiratoria: importante, especialmente para el HCN.
  - Digestiva: ocasional o accidental.
  - Cutánea: importante, especialmente con las sales.



- Patología

Los cianuros producen por acción local irritación de las mucosas respiratorias y de la piel de grado mínimo a intenso (úlceras, corrosión, etc.).

La acción general es la más importante del HCN y los cianuros, que tienen gran capacidad y rapidez para formar complejos con los iones metales. Entre ellos está el Fe, que actúa como cofactor con la citocromooxidasa a nivel de la respiración celular. El CN se une con el ión del Fe e inhibe la enzima, lo que provoca una anoxia química por falta de entrega de O<sub>2</sub> a los tejidos; es decir, produce una alteración del mecanismo aeróbico.

#### d) Sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S)

El ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) es un gas inflamable (en mezclas con el aire del 4.5% al 45%), incoloro, tóxico y soluble en agua. Se le llama comúnmente ácido hidrosulfúrico o gas de alcantarilla. Es uno de los compuestos destacados como causantes de molestias por malos olores. A pesar de ello, en el organismo humano desempeña funciones esenciales.

Emana un olor característico a huevos podridos que proviene de la descomposición bacteriana de proteínas que contienen azufre. Este olor es perceptible en contenidos muy bajos, por debajo de 30 ppm (partes por millón). Desprende un olor dulce a concentraciones más altas y paralizante del olfato a nivel de 100 ppm o más. El nivel mínimo de percepción olfatoria estaría entre 0.003-0.02 ppm.

También se conoce como hidrógeno sulfurado, sulfuro de hidrógeno o hidruro de azufre.

En la industria se usa una forma líquida bajo presión.

- Vías de ingreso en el organismo
  - **Inhalación:** el sulfuro de hidrógeno es más pesado que el aire y puede causar asfixia en espacios poco ventilados, situados a niveles bajos o cerrados.
  - **Contacto con la piel:** el contacto directo con sulfuro de hidrógeno, líquido o gas, sobre la piel mojada o húmeda puede causar irritación.
  - **Contacto con los ojos:** puede causar enrojecimiento, dolor y quemaduras profundas graves.

- Patología

El ácido sulfhídrico es extremadamente nocivo para la salud. Bastan 20-50 ppm en el aire para causar un malestar agudo que lleva a la asfixia y a la muerte por sobreexposición. Por su grado de toxicidad se localiza directamente debajo del ácido cianhídrico (HCN).

- Datos Importantes

Punto de ebullición: -60 ° C

Punto de fusión: -86 ° C

#### e) Amoníaco (NH<sub>3</sub>)

El amoníaco es un compuesto químico cuya molécula está formada por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H), de acuerdo con la fórmula NH<sub>3</sub>.

También se denomina trihidruro de nitrógeno, hidruro de nitrógeno (III), azano, espíritu de Hartshorn, nitro-sil, vapore, gas de amonio o AM-FOL.

Es un gas inflamable (16% - 25% con el aire). A temperatura ambiente el amoníaco es un gas incoloro de olor muy penetrante y nauseabundo. Se produce naturalmente por descomposición de la materia orgánica y también se fabrica de forma industrial. Es fácilmente soluble y se evapora con rapidez. Generalmente se vende en forma líquida.

#### f) Formaldehído o metanal (H<sub>2</sub>C=O)

Es un compuesto químico, más específicamente un aldehído (el más simple de ellos), altamente volátil y muy inflamable, de fórmula H<sub>2</sub>C=O. Se obtiene por oxidación catalítica del alcohol metílico. Es fungicida, germicida y desinfectante.

A temperatura normal es un gas incoloro de un olor penetrante, muy soluble en agua y en ésteres. Las disoluciones acuosas al 40 % se conocen con el nombre de formol, que es un líquido incoloro de olor penetrante y sofocante. Estas disoluciones pueden contener alcohol metílico como estabilizante. Puede ser comprimido hasta el estado líquido y su punto de ebullición es -21 °C.

#### g) Cloro y clorados (CL)

El cloro es un elemento químico de número atómico 17, situado en el grupo de los halógenos (grupo VII A) de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cl.

En condiciones normales y en estado puro forma dicloro, un gas tóxico no inflamable de color amarillo-verdoso formado por moléculas diatómicas (Cl<sub>2</sub>), unas 2,5 veces más pesado que el aire, de olor desagradable y picante. Es un elemento abundante en la naturaleza y se trata de un elemento químico esencial para muchas formas de vida.

El cloro forma mezclas inflamables y explosivas con el hidrógeno y con algunos compuestos orgánicos, como hidrocarburos, alcoholes y éteres.

- Vías de ingreso en el organismo y patología
  - **Inhalación:** el cloro irrita las mucosas oculares, las de la nariz y las de la garganta. La irritación va en aumento hasta producir dolor agudo y quemante. Esta irritación aparece también en el aparato respiratorio y en el pecho; desencadena una tos refleja que puede ser intensa y, a menudo, va asociada con dolor retroesternal que puede llegar a provocar vómito con sangre según las lesiones de las mucosas. Otros síntomas frecuentes son dolores de cabeza, malestar general, ansiedad y sensación de sofocación.



El cloro reacciona con los líquidos orgánicos formando ácidos y, en altas concentraciones, actúa como asfixiante al provocar espasmos en los músculos de la laringe y tumefacción de las mucosas.

- **Contacto con la piel:** entre los individuos expuestos durante mucho tiempo a bajas concentraciones de cloro es frecuente el acné. Es conocido comúnmente como cloracné. Puede llegar a dañar el esmalte dentario.
- **Contacto con los ojos:** puede causar enrojecimiento, dolor y quemaduras profundas graves.

- Datos Importantes

Punto de ebullición:  $-34,7^{\circ}\text{C}$

Punto de fusión:  $-101,0^{\circ}\text{C}$

#### h) Flúor (F) o ácido fluorhídrico (HF)

El flúor es un gas a temperatura ambiente, de color amarillo pálido, formado por moléculas diatómicas  $\text{F}_2$ . Es el más electronegativo y reactivo de todos los elementos.

El ácido fluorhídrico (HF) es una disolución de fluoruro de hidrógeno en agua. Es un ácido débil, pero mucho más peligroso que ácidos fuertes como el clorhídrico o el sulfúrico. De los ácidos de uso corriente en los laboratorios es el más temido. Se utiliza para limpiar metales.

Las soluciones de HF son transparentes e incoloras, con una densidad similar a la del agua. La propiedad más conocida del HF es la de atacar al vidrio. También ataca esmaltes, cemento, caucho, cuero, metales (especialmente al hierro) y compuestos orgánicos.

- Vías de ingreso en el organismo y patología
  - **Inhalación:** en estado gaseoso el ácido fluorhídrico produce irritación respiratoria grave, sofocación y tos transitoria. Tras un periodo sintomático, que dura desde varias horas hasta uno o dos días, puede aparecer fiebre, tos, disnea, cianosis y edema pulmonar. Las exposiciones repetidas a concentraciones excesivas originan con los años fluorosis minusvalidante, debida al depósito de fluoruro en los huesos.
  - **Contacto con la piel:** en forma pura es altamente peligroso y causa graves quemaduras químicas al contacto con la piel. Atraviesa la piel, destruye los tejidos y huesos y es tóxico en cualquier concentración. Además provoca hipocalcemia. El HF anhidro es extraordinariamente corrosivo.
  - **Contacto con los ojos:** puede causar quemaduras profundas graves.

- Datos Importantes

Punto de ebullición:  $-188^{\circ}\text{C}$

Punto de fusión:  $-220^{\circ}\text{C}$

#### i) Dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ )

Es un gas incoloro con un característico olor asfixiante. Se trata de una sustancia reductora que con el tiempo, el contacto con el aire y la humedad, se convierte en trióxido de azufre. En condiciones normales la velocidad de esta reacción es baja.

Forma una disolución ácida al disolverse en el agua.

- Vías de ingreso en el organismo y patología
  - **Inhalación:** se delata inmediatamente al ser irritante para los ojos y el sistema respiratorio. Esto lo convierte en un "gas amigo". Es un gas incoloro. Cuando se combina con la humedad del tracto respiratorio se convierte en corrosivo, causando edemas a determinadas concentraciones. Puede provocar asfixia, tos, falta de respiración, dolor de garganta, estornudos, rinorrea, dificultad en la respiración, disnea, cianosis, dolor de pecho, traqueitis, bronquitis, náuseas, fatiga, vómitos, broncoconstricción, neumonitis, edema en la laringe/glottis, edema en las vías respiratorias superiores u obstrucción e incremento de la resistencia de la circulación del aire. Puede causar la muerte por edema pulmonar, acidosis sistémica o paro respiratorio. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas, y se agravan por el esfuerzo físico.
  - **Contacto con la piel:** el dióxido de azufre es un irritante corrosivo de la piel. En estado líquido puede provocar lesiones o quemaduras por congelación.
  - **Contacto con los ojos:** el dióxido de azufre es un irritante corrosivo de los ojos, aunque es poco común que en estado gaseoso produzca lesiones. Puede causar escozor en los ojos, lagrimeo, irritación conjuntival, enrojecimiento, dolor y quemaduras profundas graves. En estado líquido puede provocar lesiones o quemaduras por congelación. También opacidad corneal, erosión, necrosis y finalmente ceguera.

#### j) Cloruro de carboncillo o fosgeno ( $\text{COCl}_2$ )

Se produce por el contacto de las llamas sobre los productos clorados (PVC), los aislamientos de cables de instalaciones eléctricas, materiales refrigerantes como el freón, etc. Es muy tóxico.

Es un importante componente químico industrial utilizado para hacer plásticos y pesticidas. A temperatura ambiente ( $21^{\circ}\text{C}$ ) el fosgeno es un gas venenoso. Si es enfriado y presurizado se convierte en líquido y así puede ser transportado y almacenado. Cuando se libera fosgeno líquido se transforma rápidamente en gas, que permanece cerca del suelo y se propaga con rapidez. Al fosgeno también se le conoce por su denominación militar: CG.

El gas de fosgeno puede ser incoloro o puede verse como una nube que varía de blanca a amarilla pálida. En bajas concentraciones tiene un olor agradable, como a heno recién cortado o maíz verde, pero es posible que no todas las personas expuestas lo adviertan. En altas concentraciones el olor puede ser fuerte y desagradable.

El fosgeno por sí mismo no es inflamable (no se enciende ni se quema con facilidad), pero es un comburente (puede causar que prendan las sustancias inflamables que hay a su alrededor).

- Vías de ingreso en el organismo y patología
  - **Inhalación:** el principal efecto del fosgeno se da en los pulmones. Cuando se inhala y alcanza los espacios alveolares se convierte en cloruro de hidrógeno, y después en ácido clorhídrico y monóxido de carbono cuando llega a los pulmones. Produce sensación de quemazón, opresión torácica, dolor de garganta, tos, dificultad respiratoria y jadeo.
  - **Contacto con la piel:** en estado líquido provoca lesiones y quemaduras por congelación.
  - **Contacto con los ojos:** produce enrojecimiento, dolor y visión borrosa.

- Datos importantes

Punto de ebullición: 8 °C

Punto de fusión: -118 °C

#### k) Aldehído acrílico o acroleína

Es un líquido incoloro o amarillo, de olor desagradable. Se disuelve fácilmente en agua y se evapora rápidamente cuando se calienta. También se inflama con facilidad. Se pueden formar pequeñas cantidades de acroleína y dispersarse por el aire.

- Vías de ingreso en el organismo y patología
  - **Inhalación:** la exposición a la acroleína ocurre principalmente al respirarla. El humo de cigarrillo y los gases del tubo de escape de los automóviles contienen acroleína. La información disponible indica que inhalar grandes cantidades daña los pulmones y puede producir la muerte. La inhalación de cantidades más bajas puede producir lagrimeo de los ojos, ardor de la nariz y la garganta y reducción del ritmo respiratorio.
  - **Contacto con los ojos:** produce enrojecimiento, dolor y lagrimeo.

- Datos importantes

Punto de ebullición: 52,5° C

Punto de fusión: - 87,7° C

## 4. ¿QUÉ ES UN FUEGO Y QUÉ ES UN INCENDIO?

El **DRAE** (Diccionario de la Real Academia Española) define el fuego como calor y luz producidos por la combustión.

El **DRAE** define el incendio como un fuego grande que destruye lo que no debería quemarse.

### FUEGO + SERIE DE CARACTERÍSTICAS = INCENDIO

La norma **UNE 23026** define el fuego como una combustión caracterizada por una emisión de calor, humo y llama

La norma **ISO 13943** define el **fuego** como una **combustión** autosoportada que ha sido deliberadamente puesta en marcha para beneficiarse de sus efectos y que está **controlada** en su duración y su extensión espacial.

La misma norma **ISO 13943** define el **incendio** como una **combustión** que se propaga incontroladamente en el tiempo y en el espacio, una combustión de aportación **incontrolada**.

## 5. TRIÁNGULO Y TETRAEDRO DEL FUEGO

Los **incendios** se producen cuando coinciden un producto inflamable (**combustible**), un producto que favorece la combustión (**comburente**) y una fuente con suficiente energía de activación (**calor, chispa, llama**).

Cuando se dispone de estos tres factores en las proporciones correctas ocurre la combustión. Estos tres factores (combustible, comburente y calor) se representan a menudo mediante un triángulo, el **triángulo del fuego**. La supresión de uno de los lados del triángulo (un factor) hace imposible que se produzca un incendio (o lo extingue si ya existe).

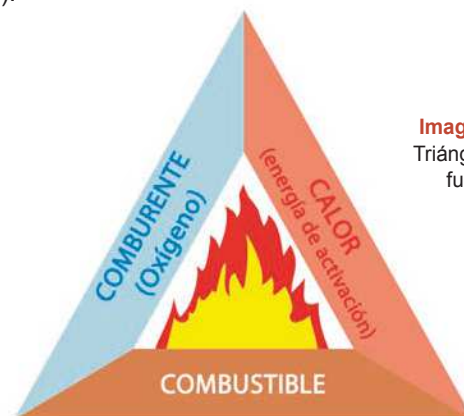


Imagen 14.  
Triángulo del fuego



El triángulo de fuego (combustible, comburente y calor) fue una representación aceptada durante mucho tiempo. Sin embargo, una observación más precisa del fenómeno del fuego hizo necesaria la inclusión de un cuarto factor, de una cuarta variable, que por estar íntimamente relacionada con todas las anteriores dio lugar al denominado **tetraedro del fuego**: las **reacciones en cadena**.

La reacción de combustión, como se ha visto anteriormente, genera unos productos de combustión (humos, gases, residuos sólidos) y mucho más calor que el precisado inicialmente. Cuando este calor generado se reinvierte en promover el desarrollo de nuevas reacciones químicas en cadena el proceso de combustión se vuelve incontrolable, y si no se elimina alguno de los tres factores concurrentes que determinan la posibilidad del incendio este no se extingue.

Es por ello que la posibilidad de estas reacciones en cadena constituye un cuarto factor, junto a los tres citados anteriormente, que permite el fenómeno de la progresión espontánea del incendio y su propagación en el espacio y en el tiempo y que forma, como se ha indicado, el llamado **tetraedro del fuego** (un tetraedro y no un cuadrado para expresar la relación inherente de cada lado con los demás). Las acciones capaces de impedir las reacciones en cadena son eficaces para limitar la propagación del incendio y facilitar su extinción.

Con este esquema sólo se quiere indicar que de la misma forma que si se retira una cara el poliedro desaparece, al suprimir uno de los factores el fuego se extingue.



Imagen 15.  
Tetraedro del  
fuego

## 5.1. COMBUSTIBLE

Se define como combustible cualquier sustancia capaz de arder en presencia de una energía de activación; es decir, cualquier sustancia capaz de combinarse con un comburente en una reacción rápida y exotérmica.

El grado de inflamabilidad de los combustibles condiciona la fuente de inflamación necesaria para que se produzca un incendio. Las sustancias inflamables y las fácilmente inflamables pueden llegar a inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin necesidad de una fuente de inflamación o tras un breve contacto con una de ellas.



Los combustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos, aunque independientemente de su estado inicial siempre entran en combustión en estado gaseoso (pirólisis, pirogenación). Cuando el combustible es sólido o líquido, es necesario un aporte previo de energía para llevarlo al estado gaseoso.

La ignición de un combustible, y por tanto la peligrosidad del mismo, depende de varios factores que se pueden analizar por medio de unas constantes físicas propias de cada combustible que se detallan a continuación.

### 5.1.1. TEMPERATURA MÍNIMA A LA QUE EMITE VAPORES INFLAMABLES

#### a) Punto de inflamación (*Flash Point*)

Es la temperatura mínima a la que un combustible emite suficientes vapores susceptibles de inflamarse si entran en contacto con una fuente de ignición. Si no hay fuente de ignición no arderá.

También se define como la mínima temperatura en °C a 760 mm de Hg a la que una sustancia combustible en contacto con el aire desprende la suficiente cantidad de vapor para que la mezcla vapor-aire sea susceptible de inflamarse, mediante el aporte a la misma de una energía de activación externa.

#### b) Punto de ignición o de incendio (*Ignition Point*)

Es la temperatura mínima a la cual un combustible emite suficientes vapores susceptibles de inflamarse y de mantener la inflamación (sigue ardiendo aunque se retire la fuente) si entran en contacto con una fuente de ignición. Suele estar unos grados por encima del punto de inflamación.

#### c) Punto de autoinflamación

Es la temperatura mínima a la cual los vapores emitidos empiezan a arder sin necesidad de aporte de fuente de ignición (en condiciones normales).

También se define como la mínima temperatura en °C a 760 mm de Hg a la que una sustancia sólida, líquida o gaseosa en contacto con el aire arde espontáneamente sin necesidad de ningún aporte energético a la mezcla.

#### d) Punto de autoignición (*Autoignition Point*)

Es la temperatura mínima a la que debe calentarse un combustible en presencia de oxígeno para que se produzca su inflamación y se sostenga la combustión sin el aporte de una energía de activación o un foco de ignición externos.

**5.1.2. CONCENTRACIÓN DE VAPORES COMBUSTIBLE/COMBURENTE**

No todas las mezclas combustible/comburente son susceptibles de entrar en combustión. Existen unos límites de inflamabilidad que se detallan a continuación:

- Límite superior de inflamabilidad (LSI). Es la máxima concentración de vapores combustibles mezclados en el aire capaz de entrar en combustión. Por encima del LSI no se produce la combustión por falta de comburente.

- Límite inferior de inflamabilidad (LII). Es la mínima concentración de vapores combustibles mezclados en el aire capaz de entrar en combustión. Por debajo del LII no se produce la combustión por falta de combustible.

El intervalo entre ambos límites se denomina rango de inflamabilidad. En él existen dos puntos de gran importancia:

- Punto ideal de combustión (PIC). Es el punto en el que la combustión se produce en las mejores condiciones.
- Punto estequiométrico (PE). Es el punto en el que se genera una explosión si la reacción se produce (la velocidad de reacción es máxima).



Imagen 16. Inflamabilidad

Tabla 3. Rangos de inflamabilidad

| SUSTANCIA           | L.I.I. | L.S.I. |
|---------------------|--------|--------|
| AMONIACO            | 16     | 25     |
| MONÓXIDO DE CARBONO | 15,5   | 74     |
| METANO              | 5      | 15     |
| ALCOHOL ETÍLICO     | 4,3    | 7,1    |
| CLORURO DE VINILO   | 3,6    | 33     |
| ETANO               | 3      | 14,4   |
| ACETILENO           | 2,5    | 81     |
| ACETONA             | 2,5    | 19,3   |
| PROPILENO           | 2,4    | 11     |
| PROPANO             | 2,2    | 9,5    |
| BUTANO              | 1,8    | 8,4    |
| PENTANO             | 1,5    | 7,8    |
| GASOLINA            | 1,5    | 7,6    |
| BENCENO             | 1,4    | 7,1    |
| AGUARRÁS            | 1,1    | 6      |
| GASOIL              | 0,6    | 6,5    |

Tabla 4. Temperaturas de inflamación y autoinflamación

| COMBUSTIBLE     | TEMPERATURA | TEMPERATURA     |
|-----------------|-------------|-----------------|
|                 | INFLAMACIÓN | AUTOINFLAMACIÓN |
| Poliamida       | 420 °C      | 425 °C          |
| Polietileno     | 345 °C      | 490 °C          |
| Aceite          | 232 °C      | 343 °C          |
| Madera          | 225 °C      | 280 °C          |
| Glicerina       | 160 °C      | 370 °C          |
| Gasoil          | 60 °C       | 330 °C          |
| Alcohol etílico | 18 °C       | 425 °C          |
| Acetona         | -18 °C      | 540 °C          |
| Gasolina        | -39 °C      | 285 °C          |
| Butano          | -60 °C      | 287 °C          |
| Propano         | -104 °C     | 450 °C          |
| Gas natural     | -180 °C     | 482 °C          |
| Metano          | -188 °C     | 537 °C          |
| Hidrógeno       | -259 °C     | 580 °C          |



## 5.2. COMBURENTE

Aunque un comburente es cualquier agente oxidante capaz de oxidar un combustible, en una reacción rápida y exotérmica este término se suele aplicar a mezclas de gases en las cuales el oxígeno esté en proporción suficiente para que en su seno se inicie y desarrolle la combustión, ya que el oxígeno molecular ( $O_2$ ) es el agente oxidante más común.



El oxígeno, contenido aproximadamente en un 21% en volumen (23% si se considera en peso) en el aire, es el comburente más común en todos los fuegos e incendios.

Por otro lado, algunos compuestos tales como la nitrocelulosa, al contener en su composición ambos agentes oxidante y reductor, pueden sufrir combustión sin más aporte externo que la energía de activación. Para que se desarrolle la combustión habitualmente es necesaria la presencia de una proporción mínima de oxígeno en el ambiente (por debajo del 15% generalmente el fuego se apaga). Esta proporción mínima se determina por medio del ensayo del índice crítico de oxígeno.

## 5.3. ENERGÍA DE ACTIVACIÓN. CALOR

Para que un fuego se inicie es necesario que los reactivos (comburente y combustible) se encuentren en unas condiciones favorables en las que pueda producirse la reacción.

La energía de activación aportada por los focos de ignición tiene diversos orígenes:



La energía mínima necesaria para que la reacción se inicie se denomina energía de activación, y la proporcionan las fuentes de ignición, que pueden ser las llamas abiertas, superficies calientes, chispas eléctricas, brasas (cigarrillos), etc.

- Origen químico (cualquier reacción exotérmica provoca calor, que puede ser el origen de un incendio).
- Origen mecánico (los choques o roces entre metales generan calor y chispas, que pueden aportar la energía necesaria para iniciar un incendio).
- Origen eléctrico (el paso de una corriente eléctrica provoca calor, causa de numerosos incendios).
- Origen térmico o directo.
- Origen biológico, como por ejemplo el calor que desprende la fermentación.
- Origen natural o atmosférico (como por ejemplo los rayos)

En contacto con materias orgánicas ciertos ácidos fuertes oxidantes (por ejemplo, ácido sulfúrico o nítrico) pueden causar combustiones y provocar incendios sin necesidad de una fuente de ignición adicional. Cuando se encuentra directamente afectada por el fuego la materia comburente libera oxígeno y da como resultado una combustión auto-sostenida, incluso en una atmósfera sin oxígeno.

La existencia de un comburente no es peligrosa por sí misma, pero en un incendio aumenta el peligro y la virulencia del mismo.

Tabla 5. Comburente

| Aire                     | Composición del aire (Comburente) |     |              |      |
|--------------------------|-----------------------------------|-----|--------------|------|
|                          | % en volumen                      |     | % en peso    |      |
|                          | Real                              | Uso | Real         | Uso  |
| Nitrógeno                | 78,03                             | 79  | 75,45        | 76,8 |
| Oxígeno                  | 20,99                             | 21  | 23,2         | 23,2 |
| Argón                    | 0,94                              | 0   | 1,3          | 0    |
| CO <sub>2</sub>          | 0,03                              | 0   | 0,05         | 0    |
| Otros                    | 0,01                              | 0   | despreciable | 0    |
| Peso molecular (kg/kmol) |                                   |     | 28,967       | 29   |

Un foco puede provocar la ignición si la magnitud e intensidad de su energía es suficiente para aumentar la temperatura del combustible por encima de su punto de ignición.

El aporte energético se efectúa fundamentalmente de las siguientes formas:

- **Llamas.** Las llamas son una fuente segura de ignición para la mezcla de vapor inflamable y aire que se encuentre dentro de su margen de inflamabilidad. Para ello, las llamas deben ser capaces de calentar el vapor hasta su temperatura de ignición en presencia de aire. En algunos líquidos y sólidos será necesario que la llama permanezca durante un tiempo y a una temperatura suficiente para volatilizar el material combustible e inflamar los vapores emitidos. Una vez iniciada la ignición, el calor radiado por los vapores perpetúa el proceso de combustión.
- **Chispas eléctricas, estáticas y de fricción.** Las chispas deben tener suficiente energía para poner en ignición la mezcla de vapor inflamable y aire. Las chispas producidas por instalaciones eléctricas comerciales tienen una temperatura superior a la de las llamas y generalmente son capaces de producir la ignición de las mezclas inflamables.
- **Superficies calientes.** Las superficies calientes pueden convertirse en fuentes de ignición siempre y cuando tengan dimensión y temperatura suficientes.
- **Brasas.** Las brasas, una vez apagadas las llamas, en los momentos finales de la combustión de la madera, producen calor por radiación.

## 5.4. REACCIONES EN CADENA (REC)

Los procesos mediante los cuales progresa la reacción en el seno de la mezcla comburente/combustible suelen transcurrir mediante reacciones en cadena (REC), reacciones químicas complejas que sólo aparecen cuando hay combustión con llama. La reacción en cadena está asegurada y es inherente a la mayoría de los combustibles siempre que el aporte energético sea suficiente y exista mezcla comburente/combustible.



La reacción en cadena consiste en el automantenimiento de la combustión por la eliminación de los radicales libres (hidroxilos). Una vez puesta en marcha progresa por sí misma y proporciona una energía mayor que la inicial, lo que provoca un número creciente de roturas de enlaces de carbono (C) y oxígeno (O<sub>2</sub>).

En muchos casos una mezcla de productos reactivos no reacciona si no se aporta una energía de activación o si no se induce una disminución de la energía necesaria para que tenga lugar la reacción.

La reacción en cadena está asegurada a nivel molecular cuando la energía desprendida por la reacción de un número de moléculas es suficiente para activar un número igual o mayor de ellas.

A partir del momento en que el proceso es capaz de aportarse a sí mismo la suficiente cantidad de energía como para mantener una emisión de gases constantes (radicales libres), el proceso se entenderá como automantenido. Cuando se alcanza este estadio se conoce comúnmente como tetraedro del fuego.

La velocidad de reacción en cadena se duplica con una elevación de 10 °C y se puede multiplicar por un millón o más ante un aumento de 200°C. Para que esto ocurra deben existir grandes cantidades de combustible y de oxígeno.

## 5.5. AGENTES PASIVOS

Para que la combustión ocurra deben estar presentes el combustible, el calor y el oxígeno (triángulo de fuego) y, adicionalmente, la reacción en cadena (tetraedro de fuego). Sin embargo existe un factor añadido que afecta tanto al triángulo como al tetraedro, denominado agentes pasivos. Los agentes pasivos o pasivos, como comúnmente se los denomina, están presentes en cualquier proceso de combustión y no toman parte en la reacción química de combustión. Pero el hecho de que absorban o roben la energía (calor) afecta al comportamiento del fuego.

Ejemplos de agentes pasivos:

- Gases no inflamables: dióxido de carbono y vapor de agua.

- Hollín: partículas de carbón.
- Agua: temperatura y humedad.
- Nitrógeno: un componente del aire (un 79% del mismo en volumen. aproximadamente) que permanece inerte a través de la combustión.

### Sustancias combustibles e inflamables

Para entender la diferencia entre sustancias combustibles e inflamables primero es necesario explicar el proceso de **pirólisis**.

Se define la **pirólisis** como la **descomposición** de una sustancia por el **calor**. Todas las sustancias, si se les aplica calor, se descompondrán desde su estado sólido o líquido al estado vapor. Se debe al efecto que provoca el calor cuando se aplica sobre las moléculas: estas lo absorben y pierden estabilidad de forma progresiva a medida que se descomponen a través de los diferentes estados de la materia. Pero en función de las características físico-químicas de la sustancia, cambian las condiciones de entorno; esto es, la cantidad de calor o energía que hay que proporcionar a la sustancia para que se descomponga y, por lo tanto, comience su proceso de pirólisis.

Existe una **temperatura mínima** a partir de la cual la sustancia emite los suficientes vapores como para **encenderse** (la sustancia no se quema por sí sola, en realidad es el vapor lo que se quema cuando existe la combinación adecuada con oxígeno). Esta temperatura es el punto de ignición o encendido, la temperatura a la cual un combustible líquido produce vapores suficientes como para mantener la combustión una vez iniciada.

El **punto de ignición** suele estar unos pocos grados por encima del **punto de inflamación** (temperatura a la cual un combustible líquido emana vapores suficientes como para formar una mezcla inflamable con el aire alrededor de la superficie).

Sustancias combustibles e inflamables son aquellas que se pueden quemar. Es en función del punto de ignición o del punto de inflamación, generalmente, por lo que diferenciamos una sustancia combustible de otra inflamable.

De forma genérica puede decirse que:

- Una sustancia combustible es aquella que tiene un punto de ignición bajo y es capaz de mantener el fuego.
- Una sustancia inflamable es aquella sustancia combustible que tiene facilidad para emitir gases que ardan (inflamables). Esto sucede en función de:
  - El flujo de calor que recibe el material.
  - La constitución del material (la posibilidad de que los gases puedan salir al exterior).
  - El punto de inflamación del material.

## 6. TIPOS DE LOS INCENDIOS

Los incendios pueden clasificarse en función de multitud de parámetros.

La norma que regula la clasificación de los incendios es la EN 2 (antigua norma derogada UNE- 23010), y los clasifica:

- Según la naturaleza del combustible.
- Por la forma del foco.
- Por la superficie afectada.
- Por la situación o forma de manifestarse.

### 6.1. SEGÚN LA NATURALEZA DEL COMBUSTIBLE

#### 6.1.1. FUEGOS CLASE A

Son fuegos originados por combustibles sólidos que tienen un alto punto de fusión. Producen brasas y normalmente tienen origen orgánico, compuesto entre otros por carbono e hidrógeno (madera, carbón, paja, tejidos y, en general, materiales carbonáceos).

Estos fuegos retienen el oxígeno en su interior y forman brasa. Se denominan fuegos profundos.

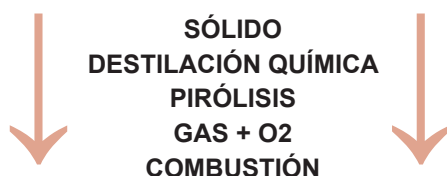
- **Pirólisis**

¿Arden los combustibles sólidos?

Los combustibles sólidos no arden. La llama es un fenómeno visible de la combustión en fase gaseosa; es decir, arden los vapores que se originan como consecuencia de la descomposición por el calor de los combustibles sólidos.

La pirólisis es una descomposición química de una materia producida por una elevación de la temperatura, sin reacción con el oxígeno.

En la pirólisis no interviene el oxígeno, ya que no hay todavía combustión. Al reaccionar los vapores que provienen de la pirólisis del combustible sólido con el oxígeno es cuando se produce la oxidación; es decir, la combustión.



La norma **ISO 13943** define la pirólisis como aquella parte del proceso de descomposición química irreversible causado por el incremento de la temperatura. La pirólisis puede estar acompañada por descomposición debida a otras acciones, por ejemplo ataques químicos.

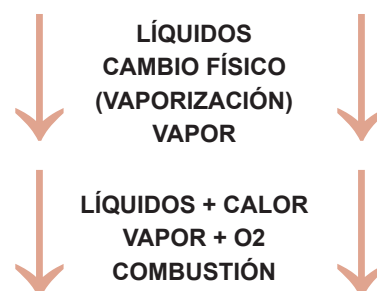
#### 6.1.2. FUEGOS CLASE B

Provocados por combustibles líquidos o sólidos con bajo punto de fusión. Previamente debe tener lugar la evaporación. Se consideran líquidos también aquellos combustibles que, aun siendo sólidos, se licuan antes de alcanzar su temperatura de ignición (algunos plásticos). No producen brasas.

- **Vaporización**

¿Arden los combustibles líquidos?

Los combustibles líquidos no arden. La llama es un fenómeno visible de la combustión en fase gaseosa; es decir, arden los vapores generados por acción del calor.



#### 6.1.3. FUEGOS CLASE C

Son los fuegos de gases; es decir, combustibles en fase gaseosa (no las combustiones de los gases producidos en la evaporación de los combustibles sólidos o líquidos). Producidos o generados por sustancias gaseosas, tales como propano, butano, metano, hexano, gas ciudad, gas de hulla, etc.







#### 6.1.4. FUEGOS CLASE D

Son fuegos originados por metales. Es un tipo de fuego muy especial y de muy difícil y peligrosa extinción. Da lugar a reacciones químicas complejas y normalmente el fuego de este tipo de metales es capaz de desplazar el hidrógeno del agua, lo que provoca explosiones por combustión de este gas. Su extinción necesita agentes extintores específicos, ya que el uso del agua está prohibido en casi todos los casos. En algunas clasificaciones vienen denominados por la letra **M**.

#### 6.1.5. FUEGOS CLASE F

Corresponde con la denominación Americana Clase **K**. Son fuegos originado por aceites de cocina y grasas.

**Resumen de la “Clasificación de los fuegos” según la Normativa Europea de clasificación de incendios en función del combustible (EN 2: 1992):**

|   |   |
|---|---|
| <br><b>A</b> | <h2>CLASES DE FUEGO</h2> <p><b>Clase A:</b> son los fuegos de materiales sólidos, generalmente de naturaleza orgánica, cuya combustión se realiza normalmente con formación de brasas.<br/>Ejemplo: madera, carbón, tela, papel, cartón, paja, plástico, caucho, etc.</p>   |
| <br><b>B</b> | <p><b>Clase B:</b> son los fuegos de líquido o de sólidos licuables.<br/>Ejemplo: gasolina, petróleo, alcohol, gasóleo, alquitrán, grasas, ceras, parafinas, etc.</p>   |
| <br><b>C</b> | <p><b>Clase C:</b> son los fuegos de gases.<br/>Ejemplo: acetileno, butano, metano, propano, gas natural, gas ciudad, hidrógeno, propileno, etc.</p>  |
| <br><b>D</b> | <p><b>Clase D:</b> son los fuegos de metales.<br/>Ejemplo: aluminio en polvo, potasio, sodio, magnesio, etc.</p>  |
| <br><b>E</b> | <p><b>Clase F:</b> son los fuegos derivados de la utilización de ingredientes para cocinar (aceites y grasas vegetales o animales) en los aparatos de cocina.</p>   |
| <br><b>F</b> | <p>Se extingue la antigua clase E (fuegos eléctricos), no reconocida por la normativa vigente debido a que la electricidad no es un combustible. En este grupo quedaba incluido cualquier combustible que arda en presencia de cables o equipos eléctricos bajo tensión. Si esta no existiera (o se hubiera cortado la corriente), el combustible definiría la clase de fuego (generalmente pasa a ser de clase A).</p> |

## 6.2. POR LA FORMA DEL FOCO DE INCENDIO

Por la forma del foco o según la distribución de la materia, los incendios se pueden clasificar en:

- Foco plano.
- Foco vertical.
- Foco alimentado.

### 6.2.1. FOCO PLANO

Cuando el incendio se manifiesta sobre el plano horizontal con predominio dimensional sobre el vértice y la disposición del producto que arde no queda oculta a la observación directa del incendio desde cualquier punto (incendios de combustibles líquidos, charcas o sólidos dispersos y próximos).

### 6.2.2. FOCO VERTICAL

Cuando el incendio se manifiesta en varios planos horizontales o inclinados y verticales, o cuando varias zonas en combustión quedan ocultas a la observación (pacas de paja, apilamientos, etc.).

### 6.2.3. FOCO ALIMENTADO

Cuando el incendio plano o vertical es mantenido por la aportación de combustibles procedentes de depósitos no afectados, aljibes, pozos, tuberías, etc. (escapes de gas).

## 6.3. POR LA SUPERFICIE AFECTADA

Esta clasificación sólo es de utilidad en los incendios forestales. Se pueden especificar las siguientes clasificaciones:

**Tabla 6.** Clasificación por superficie afectada

| GRADO | DENOMINACIÓN                            | SUPERFICIE EN LLAMAS |
|-------|---|----------------------|
| I     | Hasta 4 m <sup>2</sup>                  | Pequeño              |
| II    | De 4 a 10 m <sup>2</sup>                | Mediano              |
| III   | De 10 a 100 m <sup>2</sup>              | Grande               |
| IV    | De 100 a 1.000 m <sup>2</sup>           | De envergadura       |
| V     | De 1.000 a 5.000 m <sup>2</sup>         | De envergadura       |
| VI    | De 5.000 a 10.000 m <sup>2</sup> (1 Ha) | De envergadura       |
| VII   | De 1 a 25 Ha                            | De envergadura       |
| VIII  | De 12 a 100 Ha                          | De envergadura       |
| IX    | De 100 a 500 Ha                         | De envergadura       |
| X     | Más de 5.000 Ha                         | De envergadura       |

A partir de 100 m<sup>2</sup> se considera de envergadura si la altura de las llamas es superior a la diagonal media de la superficie horizontal afectada. Si no se cumple esto último, el fuego se considera grande, aunque la superficie activa de llamas sea superior a 100 m<sup>2</sup>.



## 6.4. POR LA FORMA EN QUE SE DESARROLLAN

### 6.4.1. EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE REACCIÓN

La velocidad de reacción es la cantidad de reactivos transformados en productos por unidad de tiempo. La velocidad de propagación de una llama es la velocidad de avance del frente de reacción; es decir, la velocidad lineal que separa la zona no destruida de los productos de reacción. Para el butano la velocidad de propagación es de 0,9 m/s y para el acetileno 14 m/s. En base a este parámetro las reacciones de oxidación-reducción se clasifican en:

- **Combustión lenta y muy lenta:** se conoce con el nombre de oxidación. La energía que desprende es muy pequeña y se disipa en el ambiente sin producir un aumento local de temperatura (no existe reacción en cadena). No hay emisión de luz y muy poca emisión de calor. Por ejemplo el amarilleado del papel sometido al calor, la oxidación del hierro, etc.
- **Combustión simple, normal o rápida:** en algunas bibliografías consideran rápida como instantánea o muy rápida. Son oxidaciones moderadamente rápidas, cuya velocidad del frente de reacción es apreciable visualmente y se mantiene inferior a 1 m/s. La energía desprendida es apreciable. Hay desprendimiento de calor, luz y llamas (fuego): una parte se disipa en el ambiente y otra se emplea en mantener la reacción en cadena y activar la mezcla comburente-combustible. Los incendios normales siguen esta combustión.
- **Combustión instantánea o muy rápida:** el caso más típico es la explosión. El término explosión se aplica de una forma genérica a aquellos fenómenos que conllevan la aparición de ondas de presión; es decir, cuando una combustión produce "sobrepresiones". Suelen causar fenómenos destructivos, pero no es condición indispensable para que se trate de explosión. Los especialistas en explosiones por reacción química denominan explosiones a las combustiones que por su velocidad de propagación ( $> 1\text{ m/s}$ ) producen aumentos de presión, provoquen o no fenómenos destructivos. Las deflagraciones y detonaciones son por tanto consideradas explosiones. Generalmente las explosiones surgen si se permite que el combustible y el oxidante lleguen a mezclarse íntimamente antes de la ignición (existe una mezcla previa). En consecuencia, la reacción de la combustión avanza rápidamente porque no hay necesidad de poner en contacto previamente al combustible y al oxidante.

### Explosiones

Las explosiones pueden ser deflagraciones o detonaciones.

#### a) Deflagraciones o combustiones deflagrantes

Son aquellas combustiones en las que la velocidad del frente de reacción es superior a 1 m/s, pero inferior a la velocidad del sonido ( $< 340\text{ m/s}$  o subsónica) en el

medio en que se producen. Ya aparecen fenómenos de sobrepresiones como consecuencia de la generación de gases y de las temperaturas en la reacción. La onda de presión suele estar comprendida entre cinco y diez veces la presión original. Estas ondas se mantienen paralelas entre sí, sin discontinuidades, generando efectos sonoros.

Hay que tener en cuenta que estas presiones son sólo diez veces superiores a la inicial. Si el recinto estuviera cerrado y no se permitiera la liberación de sobrepresión, la deflagración podría convertirse en una detonación de consecuencias mucho más graves. Normalmente todas las explosiones que se producen son de tipo deflagración, porque siempre se rompe algún cristal, tabique, etc., que permite la evacuación de la presión de forma natural. Son ejemplos de deflagraciones los vapores de líquidos inflamables, las mechas lentas, etc.

#### b) Detonaciones o combustiones detonantes

Son combustiones muy rápidas o instantáneas en las que la velocidad de propagación del frente de reacción es superior a la velocidad del sonido en el medio ( $> 340\text{ m/s}$  o supersónica). Las sobrepresiones que se originan están comprendidas entre veinte y cuarenta veces la inicial, incluso cien veces.

Aquí el frente de llamas acompaña y va a la misma velocidad que el frente de presiones. La detonación provoca efectos sonoros y destructivos muy superiores a la deflagración, y hay que tener en cuenta que en ambas se producen enormes elevaciones de temperatura, lo que provoca los incendios que normalmente acompañan a las explosiones. Son ejemplos de detonaciones las producidas por explosivos industriales detonantes y la combustión de mezclas aéreas de gases y vapores en especiales circunstancias.

### 6.4.2. EN FUNCIÓN DE LA PROPAGACIÓN DEL OXÍGENO

#### c) Combustión completa

La combustión es completa cuando el suministro de oxígeno es abundante (21%) y produce  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . El humo producido es blanco o gris pálido. El combustible se combina totalmente con el oxígeno sin dejar más productos residuales que anhídrido carbónico y vapor de agua.

#### d) Combustión incompleta

La combustión es incompleta cuando hay escasez de oxígeno (comburente) o existen partículas incombustibles y se produce  $\text{CO}$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . El monóxido de carbono es ávido de oxígeno, lo que constituye una amenaza de explosión en caso de ventilación súbita del espacio. El humo producido es negro o muy oscuro y está muy caliente.

### 6.4.3. EN FUNCIÓN DE LA EMISIÓN O NO DE LLAMAS

La combustión con o sin llama está asociada a una determinada velocidad de reacción.

#### a) Combustión con llamas

Los líquidos y gases inflamables arden siempre con llama (la mayor parte de los plásticos sólidos pueden considerarse como líquidos inflamables solidificados, que como tales funden antes de su combustión). La llama está relacionada con velocidades de combustión relativamente altas.

Aproximadamente dos terceras partes del calor liberado del objeto quemado pasan al ambiente circundante en forma de calor, y una tercera parte en forma de radiación (que contribuye a la combustión). La energía liberada por el objeto y la temperatura del ambiente tienden a igualarse en función del tiempo. Si la temperatura ambiente es alta, el fuego aumenta, y si es baja, el fuego disminuye o se ralentiza.

#### b) Combustión sin llamas

Es el caso de algunos sólidos. El carbono puro y algunos metales fácilmente oxidables arden sin llama (magnesio, aluminio, zirconio, uranio, sodio, potasio, etc.) y con temperaturas característicamente altas que oscilan entre 1500 y 2000 ° C. Se llama también incandescencia. No se produce reacción en cadena, por lo que se puede representar con el triángulo de fuego.

### 6.5. SEGÚN EL LUGAR DONDE SE DESARROLLAN

#### c) Fuegos interiores

Tienen lugar en el interior de los edificios sin manifestarse al exterior. Sin aporte de oxígeno, consumen el del interior creando brasas y una elevada presión de gases tóxicos y combustibles.



Imagen 18. Fuego interior

#### a) Fuegos exteriores

Los que tienen manifestación visible al exterior del edificio. Son los que se producen en los materiales del exterior del edificio o los que se originan en el interior y se manifiestan con llamas al exterior por puertas o ventanas. Se alimentan por el oxígeno del aire exterior, por lo que se propagan rápidamente.



Imagen 19. Fuego exterior

#### b) Por la actividad desarrollada en el recinto

Se asocian generalmente al tipo de peligro relacionado con el uso. En función del mismo se podrían considerar, entre otros:

- Viviendas y oficinas
- Industrias
- Garajes y aparcamientos
- Hospitales y residencias de 3ª edad
- Locales de espectáculos y reunión
- Comercios
- Almacenes
- Vía pública (mobiliario urbano, etc.)
- Recintos de gran volumen



Imagen 20. Fuego exterior en industria

## 6.6. POR SU MAGNITUD

### 6.6.1. CONATO

Es un pequeño incendio que puede ser sofocado rápidamente con extintores estándar. Es conveniente conocer cómo usar un agente extintor y conocer los tipos de extintores. Así se podrá extinguir un conato y evitar que se convierta en un incendio mucho más destructivo.

### 6.6.2. INCENDIO PARCIAL

Estos fuegos abarcan parte de una instalación, casa o edificio. Este fuego es muy peligroso y podría extenderse y descontrolarse, lo que lo convertiría en un incendio total. En estos casos ya no sirve enfrentarse al fuego con extintores. Hay que salir a una zona segura y esperar a los equipos de emergencia especializados.

### 6.6.3. INCENDIO TOTAL

Es el incendio que se encuentra totalmente fuera de control y afecta completamente a una casa, edificio o instalación. Es casi imposible combatirlo y lo que intentarán los bomberos es que no se extienda a otros edificios colindantes.

## 7. EVOLUCIÓN DE LOS INCENDIOS

Dentro de la evolución de un incendio se definen cuatro fases:

- Inicio
- Desarrollo
- Propagación
- Extinción

### 7.1. INICIO

Para que el fuego se inicie son esenciales combustibles, un comburente y una energía de activación.

Con los tres factores del fuego comienza el incendio, que produce una liberación de energía en forma de calor que es suficiente para mantener la reacción en cadena.

### 7.2. DESARROLLO

El incendio se desarrolla libremente porque el contenido de oxígeno posibilita la combustión completa de los materiales involucrados. La temperatura ambiente sube y, por radiación y conducción, se inflaman otros elementos que no estaban afectados por el fuego. La temperatura ambiente sube de forma acelerada (por ejemplo, en el techo de un cuarto puede superar los 700°). En poco tiempo empieza a disminuir la concentración de oxígeno en el aire. Cada vez se genera más monóxido de carbono, gas inflamable y asfixiante, así como otros gases inflamables que no combustionan por falta de oxígeno.

Es lo que se denomina fase latente del incendio. Esta fase es muy peligrosa, ya que anticipa la combustión súbita generalizada (CSG). La sobrepresión hará que salten cristales u otros elementos, de forma que se facilita la entrada de aire fresco y la aportación de oxígeno, que es lo que necesita el fuego latente para que se produzca la combustión.

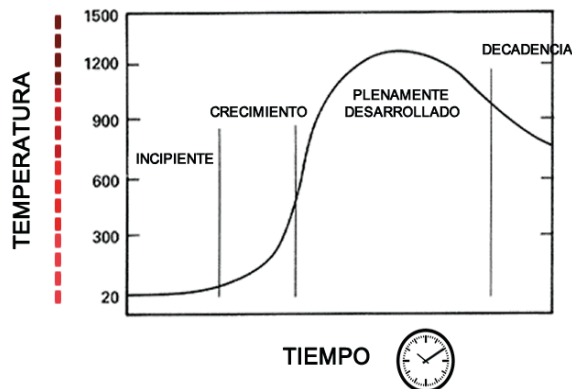


Imagen 21. Desarrollo incendio

### 7.3. PROPAGACIÓN

El incendio alcanza grandes dimensiones y en esta fase el calor se transmite por todos los medios. Por convección se generan corrientes de humo y gases calientes que buscan cualquier resquicio para continuar su camino. La radiación actúa de forma relevante en esta fase, ya que cuanto más calientes están los cuerpos más radiación se transmite.

### 7.4. EXTINCIÓN

Puede producirse de forma natural –si todo el combustible se agota porque ya se ha quemado, el incendio se apaga solo porque ya no hay nada que pueda arder–, aunque cuando se habla de extinción se hace referencia a la extinción provocada por la acción del hombre. En la actuación de los Bomberos se deben seguir unas pautas conocidas.

## 8. TRANSMISIÓN DE LOS INCENDIOS

Siempre que existe una diferencia de temperatura la energía (calor) se transfiere de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. Esta transmisión se puede definir como el paso de calor de los cuerpos más calientes a los que lo están menos, con el fin de estabilizar el sistema energético y conseguir un equilibrio de temperaturas.

La transferencia de calor determina la ignición, combustión y extinción de la mayoría de los incendios. La magnitud de la transferencia térmica es, por lo tanto, la cantidad de calor por unidad de tiempo.

El calor se transmite por los tres métodos siguientes:

- Conducción.
- Convección.
- Radiación.



## 8.1. CONDUCCIÓN

La transferencia de calor por contacto molecular directo entre dos cuerpos –fundamentalmente sólidos aunque también se manifiesta en líquidos y gases– se llama conducción. Por ejemplo, una tubería de vapor en contacto con una pieza de madera transfiere su calor a la madera por contacto directo; en este ejemplo, la cañería es el conductor.

### LEY DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

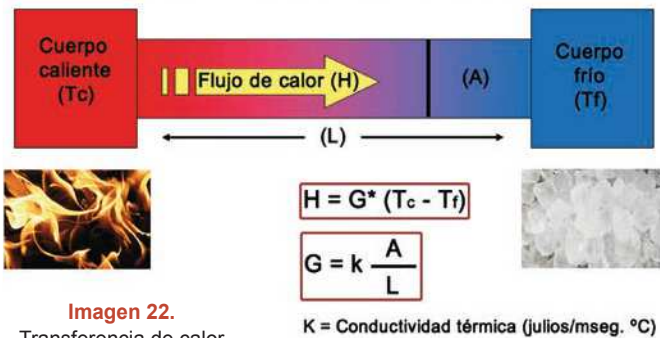


Imagen 22.  
Transferencia de calor



Cuando un cuerpo se calienta las moléculas que reciben directamente el calor (energía) aumentan su vibración cuando chocan con las que la rodean, y transmiten energía cinética-calorífica a sus vecinas, y así sucesivamente a través del material. De esta forma la energía de la agitación térmica se transmite por el material de una partícula a otra aunque cada molécula permanezca en su posición inicial.

En el vacío absoluto no se transmite el calor por conducción, ya que es necesaria la existencia de materia para que haya conducción.

La conducción de calor a través del aire u otros gases es independiente de la presión, dentro del margen normal de presiones. Se acerca a cero solamente a presiones muy bajas.

Algunos de los factores que afectan a la conducción térmica son:

- La superficie (S) de contacto, que condiciona el contacto molecular entre dos materiales que se encuentran a diferente temperatura. A mayor superficie, mayor contacto molecular entre los cuerpos y mayor transferencia de calor del caliente al frío.
- La diferencia de temperaturas ( $T_1 - T_2$ ), que implicará un mayor flujo de calor de un elemento a otro. La conducción del calor sólo tiene lugar cuando las distintas partes del cuerpo se encuentran a temperaturas diferentes.
- El espesor es un factor fundamental, ya que un mayor espesor de la materia fría supondrá una menor eficiencia del traspaso de calor por conducción.
- La relación superficie/volumen será mayor cuanto más fino esté dividido el combustible, y por lo tanto

sea mayor la posibilidad de paso del calor por conducción. Cuando hablamos de combustible forestal, por ejemplo, si el entramado de los arbustos y del resto de combustibles vegetales es muy cerrado, el traspaso de calor por convección o contacto molecular entre ellos será mayor, y mayor la eficiencia del paso de calor por conducción.

- La conductividad térmica (K), o capacidad de conducción del calor de una materia, es la medida del valor del flujo de calor a través de una unidad de superficie de material con un gradiente unidad de temperatura. Gradiente de temperatura, en unidades, significa que en la dirección del flujo de calor la temperatura cae un grado por unidad de distancia. La unidad típica de conductividad térmica es el  $J / (cm \cdot seg. °C)$ . La conductividad térmica es una propiedad física de cada sustancia y puede variar ligeramente en función de la temperatura y de las características particulares del material, como por ejemplo la humedad.
- Cuanto mayor es el grado de disgregación (menor densidad) de la materia, menor es la capacidad de conducción. El calor se transmite mejor en los sólidos que en los líquidos, y en los líquidos mejor que en los gases. Los mejores aislantes térmicos comerciales consisten en pequeñas partículas o fibras de sustancias sólidas cuyos intersticios están ocupados por aire.
- El calor específico de un material es la cantidad de calor que absorbe para elevar su temperatura un  $°C$ . De forma que cuanto mayor sea el calor específico de la materia fría, más calor tendrá que suministrarle la materia caliente para alcanzar el equilibrio de temperaturas; o lo que es lo mismo, más se tardará en alcanzar ese equilibrio.

## 8.2. CONVECCIÓN

En un medio fluido circulante (gas o líquido) el calor se transmite por convección.



La convección es la forma en que se transmite el calor en los líquidos y en los gases cuando las masas calientes de aire ascienden y las frías descienden. Es decir, cuando un líquido o un gas se calienta se expande, y así se vuelve menos denso y tiende a subir de nivel y desplazar el volumen más frío (y con más oxígeno) hacia abajo.

Como en la conducción, debe existir materia para que sea posible la convección.

El fenómeno está regulado por la diferente densidad del fluido según su temperatura, y el resultado final es el equilibrio térmico de un sistema perfectamente aislado, en reposo. De este modo, si dos sólidos están envueltos por un fluido, tienden a igualar sus temperaturas por convección.

Así, el calor generado por una estufa es distribuido por una habitación calentando el aire inmediato por conduc-



ción. La circulación del aire caliente por toda la habitación lleva el calor, por convección hasta los puntos más distantes, y el calor del aire se transmite a los objetos por conducción (una estufa caliente por convección y conducción).

El aire caliente se expande y se eleva, y por esta razón la transferencia de calor por convección ocurre en sentido ascendente. En la mayoría de los casos el calor que se está transmitiendo por convección tendrá una dirección vertical. Es posible que el aire pueda llevarlo en cualquier otra dirección, y puede conseguirse que las corrientes de aire transfieran el calor por convección en muchas direcciones, por ejemplo utilizando un ventilador o soplante.

La convección convierte los combustibles aéreos en disponibles y es la responsable de que los incendios de superficie puedan transformarse en fuegos de copas en el caso forestal.

El aire caliente, al ascender, deja un vacío que es llenado por aire fresco, y realimenta con oxígeno el foco calorífico. Además, el aire caliente puede arrastrar partículas en ignición (pavesas o ascuas) y contribuir así a la propagación del fuego.

La expansión de un fuego por convección probablemente tiene más influencia que los otros métodos a la hora de definir la estrategia de intervención.

La transmisión del calor por convección tiene varias aplicaciones: se usa en calentadores de agua, chimeneas, ventiladores y extractores de aire, etc.

Los principales factores que afecta a la transmisión de calor por convección son:

- Las variaciones de la densidad del gas (aire) o fluido que experimenta con los cambios de temperatura.
- La pendiente. El efecto combinado de la convección y de la pendiente acelera la desecación y calentamiento de los combustibles situados por encima del foco calorífico, lo que favorece la propagación cuesta arriba del fuego. Por el contrario cuesta abajo la convección no funciona, y se transmite calor solamente por radiación. Debido a ello, el fuego progresa mucho más lento cuesta abajo.
- La compacidad de la capa de combustibles. En una capa muy compacta la convección no actúa, al haber muy poco aire interpuesto.

### 8.3. RADIACIÓN

La radiación es una forma de energía que se desplaza a través del espacio o de los materiales en forma de ondas electromagnéticas, como la luz, las ondas de radio o los rayos X.



La radiación es el proceso de transmisión del calor por medio de ondas electromagnéticas, que se propaga de un cuerpo a otro tanto en un medio material como en ausencia de este, como por ejemplo el calor del sol, que atraviesa el espacio y calienta la tierra.

Todas las formas de energía radiante se propagan en línea recta a la velocidad de la luz (en el vacío) y en dirección radial y sentido hacia el exterior considerando el foco de origen. Al tropezar con un cuerpo, son absorbidas, reflejadas o transmitidas.

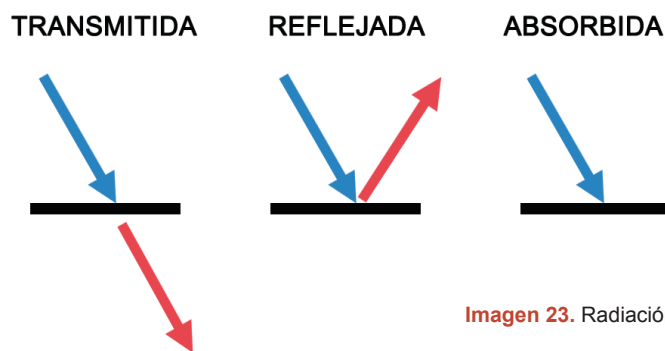


Imagen 23. Radiación

El calor radiado viaja por el espacio hasta ser absorbido por un cuerpo opaco.

Las emisiones resultantes de un proceso de combustión ocupan principalmente la región del infrarrojo (longitudes de onda superiores a la longitud de onda del rojo). Nuestros ojos ven solamente una fracción mínima emitida en la región visible.

Un ejemplo corriente de radiación es la llama de una vela. El aire calentado por la llama se eleva mientras el aire frío se mueve hacia abajo en dirección a la llama para alimentarla con oxígeno, lo que mantiene la combustión. Si se acerca la mano a la llama se experimenta una sensación de calor. Esta energía se denomina radiación o calor radiante.







## CAPÍTULO

# 2

## Técnicas



# 1. MECANISMOS DE EXTINCIÓN

Los mecanismos de extinción se basan en hacer desaparecer o disminuir los efectos de los factores del incendio que conforman el tetraedro de fuego: combustible, comburente, energía de activación (calor) y reacción en cadena.

## 1.1. DESALIMENTACIÓN O ELIMINACIÓN DEL COMBUSTIBLE

Consiste en la retirada parcial o total del combustible, siempre que la velocidad de retirada del mismo sea mayor que la velocidad de propagación del fuego. Cuando se logra disminuir la **concentración** de **combustible** para que los vapores generados queden por **debajo del LII** se denomina **dilución**. En este caso se rebaja la concentración de combustible y no de comburente.

Es posible desalimentar o eliminar el combustible de dos formas:

- Directa. Se separan físicamente los combustibles del foco del incendio (por ejemplo, se separa un palé de otro que está ardiendo) o se interrumpe el flujo de fluidos a través de tuberías cerrando las llaves de paso para evitar que la fuga permita la salida de gases o líquidos al exterior.
- Indirecta. Se dificulta la propagación del incendio refrigerando otros combustibles que se encuentran en el área de influencia del foco o interponiendo elementos incombustibles que dificulten que estos entren en combustión.

### Dilución del combustible

Se lleva a cabo únicamente en combustibles **líquidos**. Para que se pueda hacer, el combustible que se va a diluir debe poderse **mezclar con el agua (polar)**. En caso contrario el líquido se propagará (y con él el fuego) hacia otros lugares hasta ese momento no afectados.

De esta forma, y ciñéndonos a la teoría del fuego, lo que se consigue es que los vapores que emanan del combustible calentado estén por debajo del límite inferior de inflamabilidad, y así desaparece el riesgo de incendio.

## 1.2. SOFOCACIÓN O ELIMINACIÓN DEL COMBURENTE

Consiste en eliminar o desplazar el **comburente**. También se puede separar el comburente de los productos en combustión o reducir la concentración del comburente (en el caso del oxígeno, por debajo del 15%).

Se trata de impedir que los vapores combustibles entren en contacto con el comburente, o bien que la concentración de este sea tan baja que no permita la combustión.

Este método de extinción se puede realizar de dos formas diferentes:

- Separación completa del comburente.
- Dilución del oxígeno.

### 1.2.1. SEPARACIÓN COMPLETA DEL COMBURENTE

Se realiza una separación completa del comburente u oxidante del combustible. Esto se consigue recubriendo el combustible que se encuentra ardiendo para impedir su contacto con el aire y lograr que no siga la reacción. En este caso se recubre el combustible con arena, espuma, polvos, o simplemente con la tapa de una sartén.

### 1.2.2. DILUCIÓN DEL OXÍGENO

Se realiza una dilución del oxígeno presente en la atmósfera que rodea al fuego. Un ejemplo claro de esto es cuando en una zona cerrada se aplica agua pulverizada, con lo que se logra no sólo que el litro de agua se enfríe, sino que este litro de agua en estado líquido se convierta en 1770 litros de vapor de agua. El volumen que ocupa ese vapor de agua se lo quita al oxígeno; o mejor dicho, desplaza al oxígeno del aire que alimentaba las llamas.

A este método de dilución del oxidante se le denomina también **inertización**. Se denomina así cuando para realizar este cometido se utilizan gases inertes como el dióxido de carbono, halones (actualmente en desuso), nitrógeno, etc. El objetivo en este método no es acabar por completo con el oxígeno, sino hacer que su proporción se reduzca por debajo de la concentración necesaria para que la combustión evolucione y se mantenga.

La inertización se logra disminuyendo e incluso eliminando la cantidad o concentración de comburente. Si durante la combustión hay producción de oxígeno, este método no es efectivo. Este sistema y el anterior están ligados y es de uso común denominar inertización a la acción preventiva consistente en la dilución del comburente previa a la iniciación del fuego. Se considera como inertización el mecanismo de extinción que genera una zona de comburente diluido y sofocación al que genera una zona sin renovación de comburente.

## 1.3. ENFRIAMIENTO

Consiste en eliminar el calor para reducir la temperatura del combustible por debajo de su punto de ignición (o de encendido), con lo que se evita que se desprendan gases inflamables.

Se consigue lanzando agua (es el agente que mayor enfriamiento produce, fundamentalmente en su paso de fase líquida a vapor, al absorber 540 calorías por cada gramo de agua) adecuadamente sobre las superficies calientes.

Es el método más empleado y suele ir acompañado de ventilación controlada, siempre y cuando el aporte de comburente sirva para rebajar la temperatura y eliminar humo y gases en la atmósfera, sobre todo en los niveles bajos, reduciendo el peligro de explosión por acumulación de vapores.

También tienen cierto efecto de refrigeración (aunque mucho menor que el agua) el CO<sub>2</sub>, los halones y, en menor medida, el polvo antibrasa ABC.



## 1.4. INHIBICIÓN O ROTURA DE LA REACCIÓN EN CADENA

También llamada acción catalítica negativa, esta acción consiste en provocar la ruptura de la reacción en cadena mediante la desactivación de los radicales libres, que son los que originan la reacción en cadena. Se interrumpe la reacción en cadena de la combustión mediante la inyección de compuestos capaces de inhibir la producción de radicales libres durante su periodo de vida. De este modo se impide la transmisión de calor entre las moléculas.

En la combustión los radicales libres son ocupados por el oxígeno, que va oxidando todas las moléculas. Cuando se proyectan agentes como halones o polvo seco, estos ocupan el radical libre impidiendo que lo haga el oxígeno, lo que evita la oxidación y por tanto la reacción en cadena.

Se trata de un método muy eficaz, pero que no es aplicable a fuegos que no tienen llama (incandescentes o de brasas). Los elementos utilizados para este método son compuestos químicos que reaccionan con los distintos componentes de los vapores combustibles, neutralizándolos. Suelen utilizarse halones y polvo químico seco.

## 2. AGENTES EXTINTORES

### 2.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Por agente extintor entendemos el producto que, aplicado sobre el fuego, provoca la extinción del incendio cuando actúa sobre uno o más de los componentes del tetraedro de fuego para eliminarlos.

No hay que confundir con el extintor, que no es más que el envase que contiene el agente. Hay que tener presente que en la extinción de un incendio inciden numerosos y variados factores, por lo que no se puede decir a priori cuál es la táctica y el agente adecuado. Será la experiencia y el estudio de todos esos factores lo que indicará los objetivos a perseguir.

Los agentes extintores se clasifican en tres grupos, en función del estado de agregación en que se encuentren en el momento de su utilización.

### 2.2. AGENTES EXTINTORES LÍQUIDOS

#### 2.2.1. AGUA (CARACTERÍSTICAS Y MECANISMOS DE EXTINCIÓN)

##### Características y propiedades

- En estado natural es un líquido incoloro, inodoro e insípido, que hierve a 100° C desprendiendo vapor y se hiela a 0° C. Alcanza su máximo volumen a 4° C.
- Tiene un alto calor latente de vaporización (540 cal / gr), un calor latente de fusión de 80 cal / gr y un



Imagen 24. Agua

calor específico de 1 cal / ° C. Si por ejemplo se quiere vaporizar un litro de agua en estado líquido a 15° C, se deben suministrar 85 kilocalorías para que se encuentre a 100° C y en estado líquido; y para poder conseguir su evaporación total se debe suministrar 539 Kilocalorías más.

- Es muy pesada. Su densidad es de 1 Kg/litro = 1 gr/cm<sup>3</sup>.
- Cuando se evapora aumenta su volumen entre 1.500 y 1.700 veces (según algunas bibliografías un litro de agua produce 1880 litros de vapor de agua).
- Su gran capacidad como disolvente. El agua es capaz de disolver muchos productos de combustión (cenizas) de forma que puede alcanzar el núcleo de la combustión.
- La escasa variación de su viscosidad con la temperatura permite que pueda bombearse con facilidad y conducirse a través de mangueras y tuberías con un margen de temperatura desde 1° C hasta 99° C.
- Su elevada tensión superficial a temperatura ordinaria le permite comportarse como un chorro sólido o como gotas finas, llamadas también "niebla".
- Su densidad razonablemente elevada confiere una cierta masa a los chorros proyectados con boquillas, lo que consigue una gran penetración.
- Su alta estabilidad molecular evita la ruptura o disociación del agua hasta temperaturas de aproximadamente 1.650° C, temperaturas superiores a las que normalmente tiene la llama.
- Temperatura crítica: 374 ° C.



Es el agente extintor más conocido, más abundante, más empleado y más barato. Su uso es muy sencillo y se remonta a tiempos muy antiguos.

##### Mecanismos de extinción

- Enfriamiento: el agua actúa principalmente por enfriamiento, debido a su elevado calor latente de vaporización y a su calor específico. Por eso roba gran cantidad de calor a los incendios. A menor tamaño de gota e igualdad de volumen, mayor será la superficie de contacto de sus moléculas (una esfera de un volumen determinado tiene menor superficie que dos que sumen su mismo volumen), y por tanto su capacidad de enfriamiento, a la par que disminuirá su conductividad eléctrica. Cuanto más vaporizada se aplica más enfría. Sólo es efectiva sobre líquidos inflamables cuyo punto de inflamación sea superior a 38° C.
- Sofocación: actúa por sofocación y logra desplazar el oxígeno que rodea al fuego debido al aumento de volumen que experimenta.
- Desalimentación: en el caso de combustibles líquidos hidrosolubles actúa



también por dilución del combustible o desalimentación, al reducir la concentración de combustible.

### 2.2.2. AGUA NEBULIZADA

Los sistemas de agua nebulizada optimizan la utilización del agua mediante su división en gotas de niebla. Con esto se consigue maximizar la superficie de intercambio de calor más aún que en el agua pulverizada, lo que facilita la refrigeración y la evaporación.

Para conseguir esta fina división se utilizan unas boquillas especialmente diseñadas y presiones de trabajo entre 4 y 200 bares.

### 2.2.3. AGUA CON ADITIVOS

Los aditivos (compuestos que se añaden al agua para mejorar sus propiedades físicas) que se emplean para mejorar la eficacia extintora se describen a continuación.

#### a) Humectantes o aligerantes

También llamados agua mojada, húmeda o pesada. Su principal misión es reducir la tensión superficial del agua para lograr mayor poder de penetración. Son muy eficaces en incendios sólidos, ya que aumentan la superficie de agua en contacto con el fuego y logran penetrar para rebajar su temperatura interior.

#### b) Espesantes o viscosantes

Consiguen aumentar la viscosidad del agua (se aumenta su tensión superficial), por lo que tarda más en escurrirse al disminuir su capacidad de fluir. Últimamente se están empleando estos productos en la lucha contra incendios forestales y para que el agua flote sobre líquidos inflamables insolubles. El agua con espesantes se adhiere y se fija más al material en ignición y forma una capa continua de mayor espesor sobre la superficie del combustible. Estos aditivos, que son tóxicos, pueden llegar a transformar el agua en un gel de elevada adherencia

La fluidez de la mezcla del agua varía desde la propia de las gelatinas delgadas o los fluidos diluidos y espesos como jarabe hasta la de los fluidos fangosos.

#### c) Agua con boratos

Es una variedad del agua con espesantes o agua ligera, a base de boratos cálcicos y de sodio. Se denomina también lechada de agua y se utiliza principalmente en fuegos forestales.

Cuando se descarga en fuegos forestales, el agua se adhiere a todo aquello con lo que entra en contacto. Al calentarse el agua se evapora, tras lo cual los cristales de borato restantes pierden su agua de hidratación y se esponjan mientras se escapa el vapor. Al continuar calentándose

estos cristales se derriten y adquieren una forma vidriosa dura. Así retienen el agua y evitan que se escurra.

Los boratos poseen propiedades químicas de retardo de la llama, además de proporcionar un recubrimiento aislante térmico. No sólo extinguen los fuegos, sino que además evitan que se propaguen a través de una zona previamente inundada. Presentan el inconveniente de que asientan muy deprisa, por lo que es conveniente usarla rápidamente tras su elaboración.

#### d) Agua con modificadores de flujo

Son productos que disminuyen las pérdidas de presión por fricción que experimenta el agua durante su conducción a elevada velocidad a través de mangueras y tuberías.

Estas pérdidas de presión en las canalizaciones se deben principalmente a dos motivos:

- La fricción entre el agua y las paredes de la manguera (que supone un 10% de la pérdida total).
- El flujo turbulento en el interior de la manguera cuando el agua circula a elevadas velocidades (que supone aproximadamente el 90% de pérdida de presión total).

El aditivo que se utiliza es el óxido de polietileno, que hace que el agua fluya de una forma no turbulenta por el interior de un circuito, por ejemplo una manguera contra incendios.

Disolviendo cuatro litros de óxido de polietileno en 23000 litros de agua, se logra aproximadamente un 70% de incremento de flujo en una manguera. Además estos aditivos también duplican la presión final en la boquilla del extremo de la manguera.

A estos aditivos poliméricos del agua se les denomina también agua rápida. Existen diversos sistemas para inyectar estos aditivos al agua, ya sea en forma de pasta concentrada o mediante mecanismos automáticos que lo adicionan en relación de uno a 6000. Las disoluciones de este compuesto facilitan la descarga de grandes cantidades de agua en un riesgo de incendio mediante mangueras con tamaños más pequeños y manejables, sin renunciar a las presiones de las boquillas y a las cantidades de agua.

#### e) Agua con modificadores de densidad

Existen dos formas de modificar la densidad del agua. Una de ellas supone la adición de aire al agua para formar una espuma aérea semiestable, más ligera que la mayoría de los líquidos combustibles e inflamables (espumas). La otra supone añadir al agua un agente emulsificante capaz de mezclarse con la capa superior del líquido en combustión para formar una emulsión de agua y combustible flotante no inflamable.

Cuando se añaden al agua cantidades pequeñas de detergentes sintéticos, la tensión superficial del agua desciende notablemente (como ocurre con los agentes humectantes). Cuando estas disoluciones detergentes se pulverizan o se dirigen hacia combustibles inflamables, se mezclan rápida-

mente con ellos para producir una suspensión del líquido en la disolución de detergente. Esto disminuye la presión de vapor del combustible hasta un punto en el que la cantidad de vapor desprendida es menor que el límite inferior de inflamabilidad, lo que detiene su combustión.

#### 2.2.4. ESPUMA (CARACTERÍSTICAS Y MECANISMOS DE EXTINCIÓN)

Las normas que regulan las distintas espumas son:

UNE 23.603. Espumas físicas extintoras.

UNE 23.600. Agentes extintores de incendios. Clasificación.

UNE EN 1568. Agentes extintores. Concentrados de Espuma. (La más actual)

En este manual no se detallarán las espumas químicas ya que están en desuso.

##### a) Espumas físicas

Las espumas son masas de burbujas rellenas de gas (aire) que se forman al combinar un espumógeno (estabilizador), agua y aire y cuya densidad relativa es menor a la del más ligero de los líquidos inflamables.

- **Espumógeno.** Agente emulsor. Concentrado líquido tensoactivo (que reduce la tensión superficial del líquido) que, disuelto en agua en la proporción adecuada, es capaz de producir soluciones espumantes generadoras de espuma mediante la incorporación de aire u otro gas de utilidad en la extinción de incendios.
- **Espumante.** Mezcla de espumógeno y agua. Emulsión o mezcla de dos líquidos insolubles entre sí de tal manera que uno de ellos se distribuye en pequeñas partículas en el otro.
- **Espuma.** Mezcla de espumante y aire. Es un agente extintor formado por un aglomerado estable de burbujas obtenido a partir del espumante por incorporación de aire u otro gas en un equipo apropiado.

##### Características y propiedades

- Cohesión o adherencia entre las diferentes burbujas para conseguir una capa resistente.
- Estabilidad o capacidad de retención del agua con el fin de conseguir el adecuado grado de enfriamiento. Se expresa mediante el tiempo de drenaje.
- Fluidez que le permite extinguir rápidamente un fuego al salvar cualquier elemento que obstaculice su extensión o desplazamiento.



Imagen 25. Espuma

- Resistencia al calor que le permite resistir los efectos del propio fuego o elementos calientes, como las paredes de un tanque, sin degradación importante de la capa.
- Resistencia a ser contaminada por el propio combustible, lo que podría llevar a la destrucción de la capa al arder el combustible captado.
- Resistencia a los combustibles polares en cuanto estos son capaces de extraer, por disolución, el agua presente en la espuma, destruyendo la capa formada. La mayoría de las espumas, excepto tipos especiales como la AFFF, se ven afectadas por los combustibles líquidos de tipo polar, al ser un producto cuya base principal es el agua. En todo caso presentan mayor resistencia a la acción de estos líquidos que el agua.
- Toxicidad nula o muy ligera. Determinados espumógenos pueden producir irritación que se suele eliminar por simple lavado con agua.
- Todas las espumas presentan una cierta conductividad eléctrica, normalmente mayor cuanto menor es su grado de expansión, por lo que no se deben utilizar en presencia de equipos con tensión, salvo determinadas aplicaciones especiales.
- Incompatibilidad con ciertos agentes (principalmente los polvos extintores), que pueden descomponerlas instantáneamente.
- No son compatibles con otros espumógenos de diferentes tipos (no se pueden mezclar), aunque sí pueden ser compatibles con las espumas obtenidas de ellos.



La espuma es el principal agente extintor para líquidos inflamables o combustibles B.

##### Mecanismos de extinción

- **Sofocación:** el principal efecto que consiguen las espumas es separar el combustible del oxígeno en la superficie del combustible. Por tanto, el método principal de actuación de las espumas es por sofocación, evitando además el desprendimiento de vapores inflamables y tóxicos procedentes del combustible. En el caso de las espumas de alta expansión el efecto de sofocación se consigue porque desplaza totalmente el aire, al ocupar la espuma todo el volumen del recinto.
- **Enfriamiento:** al ser agua uno de los componentes también actúa por enfriamiento, bajando la temperatura del combustible y de las superficies metálicas (por ser buenos conductores térmicos) que están en contacto con el mismo.

Si la espuma posee suficiente estabilidad (capacidad de retención del agua) evita que el combustible vuelva a incendiarse.

Las espumas se obtienen mezclando de forma mecánica un espumógeno, agua y aire.

Los espumógenos que forman las espumas físicas se pueden clasificar:





- Según su expansión.
- Según la naturaleza de los componentes.
- Según su función extintora.

### 1) Según su expansión

La relación entre el volumen final de espuma obtenida y el volumen original de espumante que la produce se llama coeficiente o radio de expansión (depende del espumógeno y del equipo utilizado en la producción de espuma). Su valor numérico coincide con la inversa de la densidad específica de la espuma.

Según la normativa **UNE EN 1568**, en función de su valor numérico o coeficiente de expansión las espumas pueden ser:

- Baja expansión (<20): bastante densas y con alto contenido en agua. Mismo alcance que el agua.
- Media expansión (20-200): se obtienen grandes volúmenes que llenan grandes superficies. Tiene un alcance menor que el agua (5 - 6 metros).
- Alta expansión (>200): espumas muy ligeras que llenan rápidamente grandes espacios.

La norma **UNE 23603** clasifica los espumógenos como:

- Baja expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión está comprendido entre 3 y 30.
- Media expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión está comprendido entre 30 y 250.
- Alta expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión está comprendido entre 250 y 1000.

La norma **UNE 23600** clasifica los espumógenos como:

- Baja expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión está comprendido entre 2 y 20.
- Media expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión está comprendido entre 20 y 200.
- Alta expansión: aquellos cuyo coeficiente de expansión es superior a 200.

### 2) Según la naturaleza de sus componentes

#### • De base proteínica

- Proteínicas: se obtienen por hidrólisis de proteínas naturales de origen animal (cuernos, pezuñas, pelos, etc.) Generalmente son de baja expansión y en la actualidad están en desuso. No suelen ser compatibles con los polvos extintores, ni permiten combatir fuegos de combustibles polares.
- Fluoroproteicas (FFFP): suelen ser compatibles con los polvos extintores, pero no son aptas para combatir combustibles polares.

#### • De base sintética

En ellos los tensoactivos (espumógenos) son de base sintética (detergentes).

- Sintéticos: capaces de retener el agua por más tiempo, dan mayor estabilidad frente al calor y en el contacto con hidrocarburos. Son espumógenos de alta expansión, como el B-330.
- Fluorosintéticos: sus tensoactivos son sintéticos fluorados. Son generalmente de baja expansión.
- Formadores de película acuosa (AFFF): contienen unos componentes fluorados de propiedades especiales que forman una delgada película acuosa sobre el hidrocarburo e impiden su contacto con el aire. Son de baja expansión (polivalentes) y se emplean con surtidores convencionales.

### 3) Según su función

- Para hidrocarburos.
- Para líquidos polares (líquidos con punto de ebullición muy bajo – antialcohol – no se disuelven en alcoholes).
- Polivalentes para todo tipo de combustibles líquidos (polares y no polares).

#### b) Espumas hidrocarburos halogenados

Los hidrocarburos halógenos líquidos se comportan ante el fuego igual que sus equivalentes en fase gaseosa.

Diversos problemas, derivados sobre todo de la formación de productos tóxicos en la descomposición química de materias producidas por una elevación de la temperatura sin reacción con el oxígeno, han provocado que su uso esté prohibido en muchos países.

### 2.3. AGENTES EXTINTORES SÓLIDOS (CARACTERÍSTICAS Y MECANISMOS DE EXTINCIÓN)

Son aquellos que están compuestos por sustancias en estado sólido o pulverulento (sales inorgánicas finamente pulverizadas), y que cuando se proyectan sobre materiales en combustión pueden llevar a cabo su extinción a través de diferentes métodos.

El polvo extintor está formado generalmente por varias sales (metales alcalinos, bicarbonato sódico, bicarbonato potásico, bicarbonato de urea-potasio, cloruro potásico o fosfato amónico) a las que se les agrega aditivos como fosfato tricálcico o siliconas para mejorar sus características de almacenamiento, evitar que se apelmacen y mejorar su fluidez, además de permitir la formación de costras.



La mezcla de polvos que se emplea como agente extintor se aplica por medio de extintores portátiles, monitores, mangueras manuales o sistemas fijos.

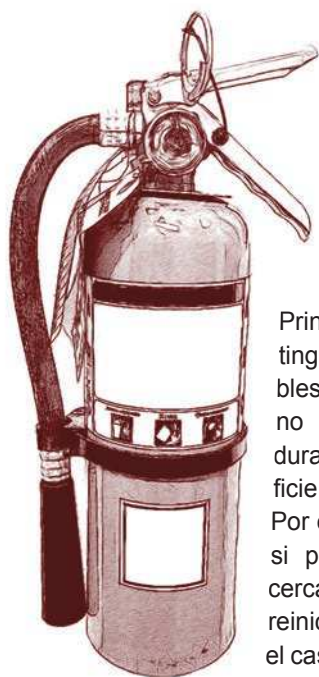
### Características y propiedades

- Los polvos extintores se aplican siempre en forma de polvo muy fino (25 a 30 micras/partícula), con lo que tienen grandes áreas superficiales específicas. Un extintor de polvo de 13,5 Kg. contiene un polvo con un área superficial global del orden de 4.500 m<sup>2</sup>. Buscan la máxima fluidez y la máxima división en finas partículas de igual dimensión, sin que exista atracción electrostática entre las partículas ni bacteriológica entre los aditivos.
- Son dieléctricos a bajas tensiones
- Son estables a temperaturas inferiores a 50° C

### Mecanismos de extinción

- Inhibición: actúan primariamente por inhibición o acción catalítica negativa (rotura de la reacción en cadena), combinándose con los radicales libres e impidiendo que estos continúen la combustión. Excepto en el caso de los de tipo D o especiales, que trabajan sólo por sofocación.
- Sofocación: actúan secundariamente por sofocación, al desplazar el oxígeno del aire de la zona de combustión y crear una costra de carbonato sódico que impide la aportación de O<sub>2</sub>. Esto ocurre con relevancia en el caso del ABC y sobre todo en los extintores de tipo D o especiales.
- Enfriamiento: puede actuar por enfriamiento, pero el resultado es despreciable.

#### 2.3.1. POLVOS CONVENCIONALES BC



También denominados polvos químicos secos o polvos BC. El principal método de extinción por el que actúan es el de inhibición, aunque también actúan sofocando cuando el bicarbonato sódico entra en contacto con el fuego (CO<sub>2</sub>).

Principalmente se usan para extinguir fuegos de líquidos inflamables y de gases. Los polvos secos no producen atmósferas inertes duraderas por encima de la superficie de los líquidos inflamables. Por esta razón debe preverse que si persisten fuentes de ignición cercanas al combustible podría reiniciarse la combustión. Este es el caso de combustiones incandescentes o de brasas.

Los agentes extintores de este tipo están compuestos por carbonato potásico, bicarbonato potásico, bicarbonato sódico y cloruro potásico. Cada uno de ellos confiere al agente unas determinadas características, que son:

- Bicarbonato sódico y bicarbonato potásico: el polvo químico seco se encuentra constituido fundamentalmente por bicarbonato sódico o potásico, que se mezcla con diversos aditivos que lo hacen hidrófugo (impiden la absorción de humedad). Esta característica es fundamental para que puedan salir por las lanzas, evitando que el polvo se apelmace y forme grumos que obturarían las boquillas de impulsión. Se utiliza para fuegos clase B y C y fuegos con presencia de tensión eléctrica hasta una tensión de 1000 voltios. Su uso no es eficaz en fuegos de la clase A. Este agente extintor no se puede utilizar con espuma porque se inutilizaría al reaccionar químicamente.
- Carbonato Potásico: este polvo es más efectivo que el bicarbonato sódico y el bicarbonato potásico. Su efectividad procede de añadir al bicarbonato potásico la urea. Este compuesto genera una serie de reacciones más potentes y eficaces que el bicarbonato potásico por sí solo.

#### 2.3.2. POLVOS POLIVALENTES ABC

También denominados antibrasa o polvos ABC. Como su propio nombre indica, son también efectivos en fuegos de la clase A, superficiales y profundos.

Este agente extintor está formado por fosfatos, sulfatos y sales amónicas. La diferencia de este polvo con el químico seco es la agregación del fosfato monoamónico (PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>NH<sub>4</sub>). Esta sal o fosfato monoamónico se descompone por las altas temperaturas y queda como una capa pegajosa resistente sobre la superficie del material combustible, impidiendo que el oxígeno siga alimentando las llamas. Es una buena forma de actuar por sofocación.

El ácido metafosfórico es un residuo pegajoso resultante de la descomposición de materiales sólidos por el efecto del calor al usar el polvo polivalente ABC. Este residuo sella las brasas, aísla el material incandescente del oxígeno y consigue un efecto extintor que no logran otras clases de polvo.

#### 2.3.3. POLVOS ESPECIALES

Es por todos conocidos la problemática que generan los fuegos de metales, sobre todo si se encuentran finamente divididos. Los fuegos de Clase D presentan muy diversas posibilidades de desarrollo (por ejemplo, la combustión del magnesio puede desarrollarse en atmósferas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o de nitrógeno (N<sub>2</sub>) y hacen inútiles los agentes extintores convencionales para lograr su control o su extinción, incluso ofrece graves riesgos de empleo. Por ejemplo el uso de agua o halones es peligroso en la extinción de fuegos de magnesio.

Además las propiedades de los metales combustibles hacen que sean diferentes sus tipos de combustión, por lo que es preciso considerar de forma particular las características de cada combustión para extinguirla de la forma apropiada. Incluso un agente adecuado para ciertos fuegos Clase D puede resultar peligroso cuando se emplea sobre el fuego de otro metal.

Los polvos especiales son productos químicos (mezclas de sales) diseñados específicamente para extinguir fuegos de metales, pero cada uno es adecuado para un tipo de fuego. Están compuestos por grafito pulverizado y carbón mineral, en función del material a extinguir. Los polvos especiales más comunes son:

- Polvo G1 o pireno
- Metal Guard
- Met- L-X
- Na X
- Lith-X

#### 2.4. AGENTES EXTINTORES GASEOSOS (CARACTERÍSTICAS Y MECANISMOS DE EXTINCIÓN)

Estos agentes se almacenan en estado líquido debido a la presión a la que se envasan, y cuando se utilizan pasan a estado gaseoso. Como todos los gases penetran en todos los lugares con gran facilidad, pero esta característica también puede ser contraproducente si se utilizan en el exterior o en zonas en las que haya una determinada presión ambiental. Los más habituales son el nitrógeno, el dióxido de carbono, los hidrocarburos halogenados y otro tipo de gases inertes.

##### 2.4.1. NITRÓGENO $N_2$

Antes apenas se utilizaba, principalmente porque al extinguir los fuegos producía cianógeno y peróxido de nitrógeno, ambos muy tóxicos y que podían causar más víctimas. Hoy en día se utiliza con más frecuencia.

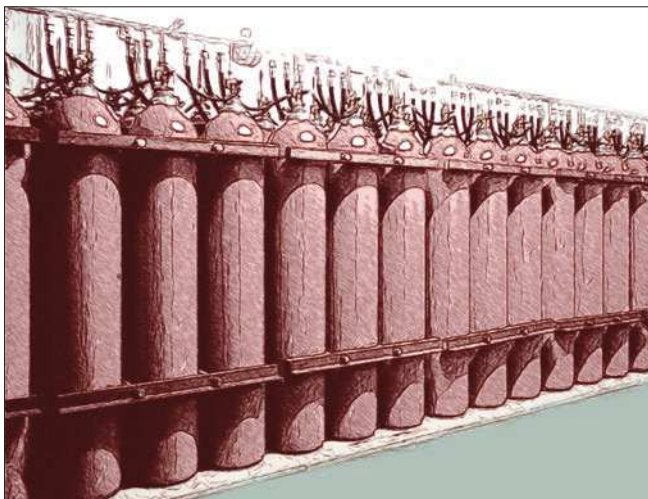


Imagen 27. Gas

#### Características y propiedades

- Es un gas incoloro, inodoro e insípido.
- Es muy estable a las altas temperaturas que se dan en los incendios (de 700 °C a 1.330 °C).
- No es tóxico pero sí asfixiante, pues desplaza el oxígeno atmosférico actuando por sofocación.

#### Mecanismos de extinción

El mecanismo primario es por sofocación, ya que desplaza el oxígeno y rebaja su concentración. El mecanismo secundario es por inhibición y enfriamiento.

##### 2.4.2. DIÓXIDO DE CARBONO O ANHÍDRIDO CARBÓNICO $CO_2$

Es el agente extintor gaseoso más utilizado.

#### Características y propiedades

- Es un gas de bajo coste.
- A temperatura ambiente es incoloro, inodoro e insípido.
- Es fácilmente licuable (por compresión y enfriamiento) y se transporta y almacena en recipientes a presión (botellas por debajo de 31 °C).
- Al extraerlo de los recipientes se convierte en gas y absorbe gran cantidad de calor (se descarga a temperaturas inferiores a -40 °C). Al expandirse se convierte en nieve a -79 °C.
- Pesa 1,5 veces más que el aire (tiene un 50% más de densidad que el aire).
- Es dieléctrico.
- Utiliza su propia presión para conducirse por tuberías.
- A volumen constante, la presión varía con la temperatura.
- No es corrosivo.
- No deja residuos.

#### Mecanismo de extinción

- **Sofocación:** mecanismo primario, al desplazar el aire o al diluir el oxígeno a concentraciones bajas.
- **Enfriamiento:** de forma secundaria pero relevante, extingue por enfriamiento debido a la gran cantidad de calor que roba al incendio al convertirse en gas (-79 °C). De hecho a los extintores de  $CO_2$  se les llama de nieve carbónica. Esta propiedad es más apreciable en fuegos superficiales.

##### 2.4.3. HIDROCARBUROS HALOGENADOS. HALONES

Son hidrocarburos en los que los átomos de elementos halógenos sustituyen a los radicales hidrógenos. La identificación de un halón viene determinada por un número que indica la composición del agente. El primer dígito indica la cantidad de átomos de carbono de la molécula, el segundo

la de átomos de flúor, el tercero la cantidad de cloro, el cuarto la de bromo y el quinto, de existir, la de yodo.

Son gases producidos industrialmente a partir del metano (CH<sub>4</sub>) y del etano (CH<sub>3</sub>). La sustitución de un átomo de hidrógeno por otro elemento (cloro, flúor y bromo) da lugar a estos compuestos halogenados (pasan de gases inflamables a agentes extintores). Los más empleados son:

- Halón 1211 (Diflúor cloro bromo metano)
- Halón 1301 (Triflúor bromo metano)

#### Características y propiedades

- Alta densidad en estado líquido.
- No dejan residuos.
- Flúor: reduce el punto de ebullición, aumenta la estabilidad y las propiedades de inertización y disminuye la toxicidad del compuesto.
- Cloro: eleva el punto de ebullición, aumenta la eficacia extintora y la toxicidad y disminuye la estabilidad.
- Bromo: proporciona en mayor grado las mismas características que el cloro. Es tóxico, sobre todo cuando se descompone por efecto de las altas temperaturas del incendio.

#### Mecanismos de extinción

El mecanismo primario es inhibición, por acción catalítica negativa (rompe la reacción en cadena), y sofocación, por desplazamiento del oxígeno del aire. De forma secundaria extingue por enfriamiento.

#### Clasificación y tipología

- Halón 1211, bromoclorodifluorometano (C F<sub>2</sub>Cl Br). En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso. Es incoloro y de olor dulce. Se utiliza fundamentalmente para medios manuales.
- Halón 1301, bromotrifluorometano (C F<sub>3</sub> Br). Compuesto incoloro e inodoro, aunque al entrar en contacto con fuego y descomponerse desprende un olor picante característico. El nitrógeno N<sub>2</sub> es soluble en Halón 1301. Es menos tóxico que el Halón 1211.

#### 2.4.4. SUSTITUTOS DE LOS HALONES Y GASES INERTES

Debido a la contaminación que producía el uso de los hidrocarburos halogenados, la industria química ha puesto en práctica una serie de nuevos agentes extintores que poseen las principales propiedades de los halones y no tienen su grado contaminante.

El resultado ha sido la aparición de nuevos compuestos químicos denominados agentes limpios (halocarbonados), mezclas de gases inertes o técnicas alternativas a los halones, que eviten dañar o inutilizar los equipos, tengan iguales propiedades de extinción, sean inocuos para las personas si deben usarse en áreas habitadas y respeten el medio ambiente.

Los sustitutos de los halones son conocidos como agentes extintores gaseosos limpios, que como su propio nombre indica no son corrosivos, no ensucian el lugar y no son conductores de la electricidad.

Se clasifican en:

- Inergen. Nombre comercial de una mezcla de Nitrógeno, Argón y CO<sub>2</sub>.
- Argonite. Nombre comercial de una mezcla al 50% de Nitrógeno y Argón.
- Argón. Utilizado al 100%.

Los gases inertes son mezclas de gases inertes como el nitrógeno, argón y el dióxido de carbono. Lo que se pretende conseguir con esta clase de gases, al utilizarlos como agentes extintores, es disminuir la concentración del oxígeno del aire del lugar donde se ha producido el fuego, con objeto de extinguir el mismo por sofocación.

Tabla 7. Agentes extintores gaseosos limpios

| AGENTE EXTINTOR | FÓRMULA  | NOMBRE COMERCIAL          |
|-----------------|--|---------------------------|
| IG-01           | 100% ARGÓN                                     | ARGOTEC, ARGONFIRE, ARGÓN |
| IG-55           | 50% NITRÓGENO + 50% ARGÓN                      | ARGONITE                  |
| IG-541          | 52% NITRÓGENO + 40% ARGÓN + 8% CO <sub>2</sub> | INERGEN                   |

## 3. APLICACIONES, USOS, VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS AGENTES EXTINTORES

### 3.1. AGUA A (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

El agua es muy efectiva en fuegos tipo A por su gran poder de enfriamiento y se utiliza en fuegos B y C para su control, no para su extinción.

Existen diferentes formas de uso del agua en función de cómo se arroja:

- **Chorro (compacto):** es el método más utilizado, aunque no el más eficaz. Tiene como ventaja su largo alcance, pero se supone que sólo entre un 10% y un 20% del agua participa realmente en la extinción. Se utiliza únicamente en fuegos de clase A, ya que en fuegos de clase B si el líquido no es soluble flotará, rebosará y propagará el fuego (excepto en líquidos miscibles en agua o que contengan disolventes que también lo sean). Igualmente es inadecuado para fuegos eléctricos y en presencia de metales combustibles (D y E). En algunos casos el chorro compacto al impactar sobre las llamas puede incluso cortarlas o separarlas del combustible.





- **Pulverizada o neblina:** es el modo más satisfactorio y eficaz de utilizar el agua. Se emplea en fuegos de tipo A y B y se puede utilizar en presencia de corriente eléctrica E (utilizando chorros intermitentes, aunque esta aplicación exige una técnica muy depurada y lanzas especiales) y para la dispersión de nubes de gas C, o refrigerar zonas expuestas al calor en las cercanías del incendio. En modo pulverizada es en el que más potencia tiene tanto su refrigeración como su sofocación.

Existen gran cantidad de tipos de lanzas para su aplicación. Su uso en instalaciones fijas se hace por medio de rociadores o sprinklers y en función del tipo de cabeza rociadora se logra más o menos pulverización.

### Limitaciones

- Su mayor limitación es el hecho de ser conductora de la electricidad.
- Al ser más densa que la mayoría de combustibles líquidos, se deposita en el fondo de recipientes que contengan líquidos inflamables con peso específico inferior a ella (alcoholes, gasolina, aceites, etc.), lo que impide la extinción.
- El aumento de volumen que experimenta al evaporarse suele representar desventajas en la extinción si los líquidos no son solubles en agua, ya que se extiende más el incendio al flotar sobre ella el líquido que combustiona.
- Su reacción con algunas materias (Na, Al) puede producir gases o explosiones (en el panel Naranja, que clasifica el peligro e identifica las mercancías peligrosas que transporta un vehículo, aparecen marcados como X o XX + n° de peligro).
- A menos de 4 °C el agua se congela y aumenta su volumen, lo que puede causar roturas en conducciones e impedir su utilización en ese estado.
- A temperaturas muy altas (3222,2 °C), la molécula de agua se descompone en  $2H_2$ , gas combustible, y  $O_2$ , gas comburente ( $2 H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$ ), lo que genera violentas explosiones.

Otra desventaja es su gran tensión superficial y su poca viscosidad, aunque esto se soluciona con aditivos especiales.

### 3.2. ESPUMAS (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

Al margen del tipo de espumógeno hay que considerar también su índice de expansión que, junto al tipo, nos indicará su adecuación a cada caso. Aunque todas las espumas actúan en mayor o menor medida según los principios antes citados, cada una de ellas suele presentar unas características peculiares que las hacen más o menos adecuadas al tipo de fuego a combatir.

La espuma se puede aplicar de dos formas: directamente sobre el fuego (aplicación violenta) o indirectamente sobre el fuego (aplicación suave). Ambas son para fuegos

de tipo A y B. Sobre fuegos de hidrocarburos la espuma puede ser aplicada de las dos formas. Sobre fuegos de líquidos polares la espuma debe aplicarse indirectamente, para evitar la mezcla con el combustible y la destrucción de la espuma.

Las espumas se utilizan de forma variada. En la extinción de incendios pocas veces hay que cerrarse a posibilidades, por extrañas que parezcan, por lo que la espuma puede ser utilizada en incendios tan dispares como:

- Forestales, en forma de humectante.
- Sótanos de muy difícil acceso, inundándolos de espuma y extinguiendo el incendio por sofocación pura.
- Fuegos de hidrocarburos, que incluyen la cubrición preventiva de derrames.

Es el mejor agente extintor para almacenamientos de combustibles líquidos, en aeropuertos y en ciertas plantas químicas.

La diversificación del oficio de bombero implica observar la forma de actuar de algunos cuerpos especializados, como pueden ser los aeroportuarios, que utilizan la espuma como agente extintor básico e incluso la emplean sobre una pista de aterrizaje antes de que aterrice una aeronave en dificultades.

Es el agente más eficaz para fuegos de clase B. Es eficaz también en los de clase A, aunque por su precio es más conveniente la utilización del agua. En ocasiones se utiliza como medida de prevención en derrames de líquidos combustibles.

Los espumógenos para hacer espumas de media y alta expansión se suelen utilizar en porcentajes de mezcla del 1% al 3 %, los de baja y media suelen mezclarse entre el 3% y el 6%.

Hay que destacar la importancia de utilizar cada espumógeno en el porcentaje indicado por el fabricante. La utilización de espumógeno en un porcentaje mayor que el recomendado no sólo resulta antieconómico, sino que da lugar a espumas excesivamente espesas, con peor fluidez y con menor autonomía sin que mejoren sustancialmente el resto de las características.

Por otro lado, si la mezcla agua-espumógeno (espumante) resulta muy diluida se obtendrá una espuma menos estable y menos resistente al calor, con lo que se deteriorará más rápidamente, incluso sin formar una verdadera capa protectora.

Para mezclar el agua con espumas la temperatura ideal está entre 7 °C y 27 °C. La presión de punta de lanza ideal es de 3,5 bares a 10 bares, sin sobrepasar un máximo de 14 bares (7,5 bares en la bomba implican 3,5 bares en la lanza para un tendido normal; la manguera implica una pérdida de 4 bares aproximadamente).

La utilización de un espumógeno de media y alta expansión para generar espumas de baja expansión implica que la espuma resultante suele tener una pobre resistencia a la contaminación.



Como regla general de uso no se debe utilizar la espuma hasta que no se disponga del espumógeno necesario para neutralizar el siniestro. El mando intermedio debe calcular este dato y tomar las medidas oportunas.

### Limitaciones

Como en su composición interviene el agua en más de un 95% las limitaciones son prácticamente las mismas que las del agua, sin importar en este caso la viscosidad.

Es de precio elevado y hay que prever gran cantidad en almacenamiento.

### Métodos de utilización

Para la producción de espuma se necesitan equipos especiales, además de los del agua. Estos equipos son los proporcionadores, las lanzas de media y baja presión y los generadores de alta expansión. Se puede utilizar en instalaciones fijas.

### 3.3. AGENTES EXTINTORES SÓLIDOS (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

Su utilización depende fundamentalmente de su tipología.

- La aplicación primaria es para fuegos clases B y C. Extinguen todo tipo de líquidos inflamables, incluso alcoholes y otros miscibles en agua, excepto el disulfuro de carbono.
- El polvo polivalente es además antibrasa, con lo que se puede utilizar con los de clase A aunque sea mejor el agua. El BC se puede utilizar para fuegos muy superficiales.
- El polvo especial está diseñado para actuar específicamente en fuegos clase D (metales).

Todos los polvos extintores son dieléctricos, por lo que se pueden emplear en fuegos en presencia de corriente eléctrica si se toma la precaución de que la tensión no sobrepase los 1.000 voltios (baja tensión).

Ventajas de su uso:

- Es muy rápido en su actuación.
- Es compatible con el empleo de otros agentes extintores (no con espumas).
- es dieléctrico.
- No es excesivamente caro y su mantenimiento no es complicado.

Normalmente se utilizan en extintores impulsados por gas. Se pueden usar en instalaciones fijas en sistemas automáticos, pero dada su composición atrancan fácilmente las boquillas de salida y pueden provocar muchos problemas.

### Limitaciones

- Normalmente los polvos extintores no enfrían, por lo que el fuego puede reiniciarse con facilidad.

- Sólo sirven para fuegos limitados en volumen, por lo que son excelentes para el inicio de un incendio.
- No son tóxicos, pero sí abrasivos. Dejan residuos y se descomponen a altas temperaturas, por lo que no son recomendables para equipos delicados. En grandes cantidades pueden provocar trastornos respiratorios y dificultar la visibilidad.
- No se pueden utilizar con espumas porque reaccionan químicamente.

### 3.4. AGENTES EXTINTORES GASEOSOS

#### 3.4.1. NITRÓGENO (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

El nitrógeno se ha empleado muy pocas veces como agente extintor. Por la experiencia en Kuwait puede deducirse que es práctico, con técnicas de aplicación muy especiales, para fuegos en los que estén involucrados productos derivados del petróleo y para el petróleo mismo.

### Limitaciones

- Genera gases muy tóxicos al emplearlo para extinguir incendios.
- Es muy caro.

#### 3.4.2. DIÓXIDO DE CARBONO O ANHÍDRIDO CARBÓNICO CO<sub>2</sub> (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

Es muy buen agente extintor para fuegos superficiales de clase A. También es efectivo para fuegos de tipo B y C. Puede utilizarse en presencia de corriente eléctrica de alto voltaje, pero no es adecuado cuando hay implicados equipos delicados. No es efectivo en materiales que desprenden O<sub>2</sub> (metales activos o híbridos). Utilizado en fuegos de tipo D se descompone en reactivos (sodio, magnesio, potasio, etc.) y reaviva la combustión.

Ventajas de uso:

- Limpio y sin residuos de polvo
- Se licua muy fácilmente, una gran ventaja para su transporte y almacenamiento.

Se aplica en sistemas de inundación total o parcial y en extintores portátiles.

También se utiliza en extintores de todos los tamaños y en grandes instalaciones automáticas con 3 o 4 toneladas de dióxido de carbono (en estos casos por inundación total del recinto).

### Limitaciones

- Tiene poco poder de penetración y en el exterior se disipa muy rápidamente.
- Hay que tener cuidado con su uso en extintores ya que el frío que produce en la parte metálica puede causar graves quemaduras y congelaciones.
- Tiene peligro de reignición al disiparse el CO<sub>2</sub>



- Es irrespirable y puede producir asfixia por falta de oxígeno (aunque no es tóxico):
  - 2% efecto narcótico.
  - 5% puede servir como estimulante de la respiración.
  - 6% máxima concentración admisible para las personas.
  - 7-9% pérdida de conocimiento.
  - 20% causa la muerte en 20 – 30 minutos.
  - 22% concentración necesaria para la extinción de incendios (hay que evacuar antes de aplicar).
- Necesita poca concentración para extinguir (ahorra espacio con respecto al CO<sub>2</sub>).
- Funcionan los sistemas automáticos de disparo incluso con personas dentro del recinto.
- Es rápido y no es preciso acercarse al fuego, lo que representa una gran ventaja en usos domésticos.

### 3.4.3. HIDROCARBUROS HALOGENADOS. HALONES (APLICACIONES Y UTILIZACIÓN)

Se puede utilizar con éxito para extinguir fuegos clases A, B y C. También se puede utilizar en presencia de corriente eléctrica siempre que esté garantizada la imposibilidad de creación de arcos eléctricos y tiene la gran ventaja de que no daña los equipos delicados.

Su aplicación principal es para fuegos eléctricos (E) y gases inflamables (C).

Ventajas de uso:

- Muy limpio y adecuado para protección de equipos delicados.

El Halón 1301 se emplea en las instalaciones por inundación de espacios cerrados. El Halón 1211 se usa en instalaciones de aplicación local y extintores domésticos. Se impulsan por N<sub>2</sub>.

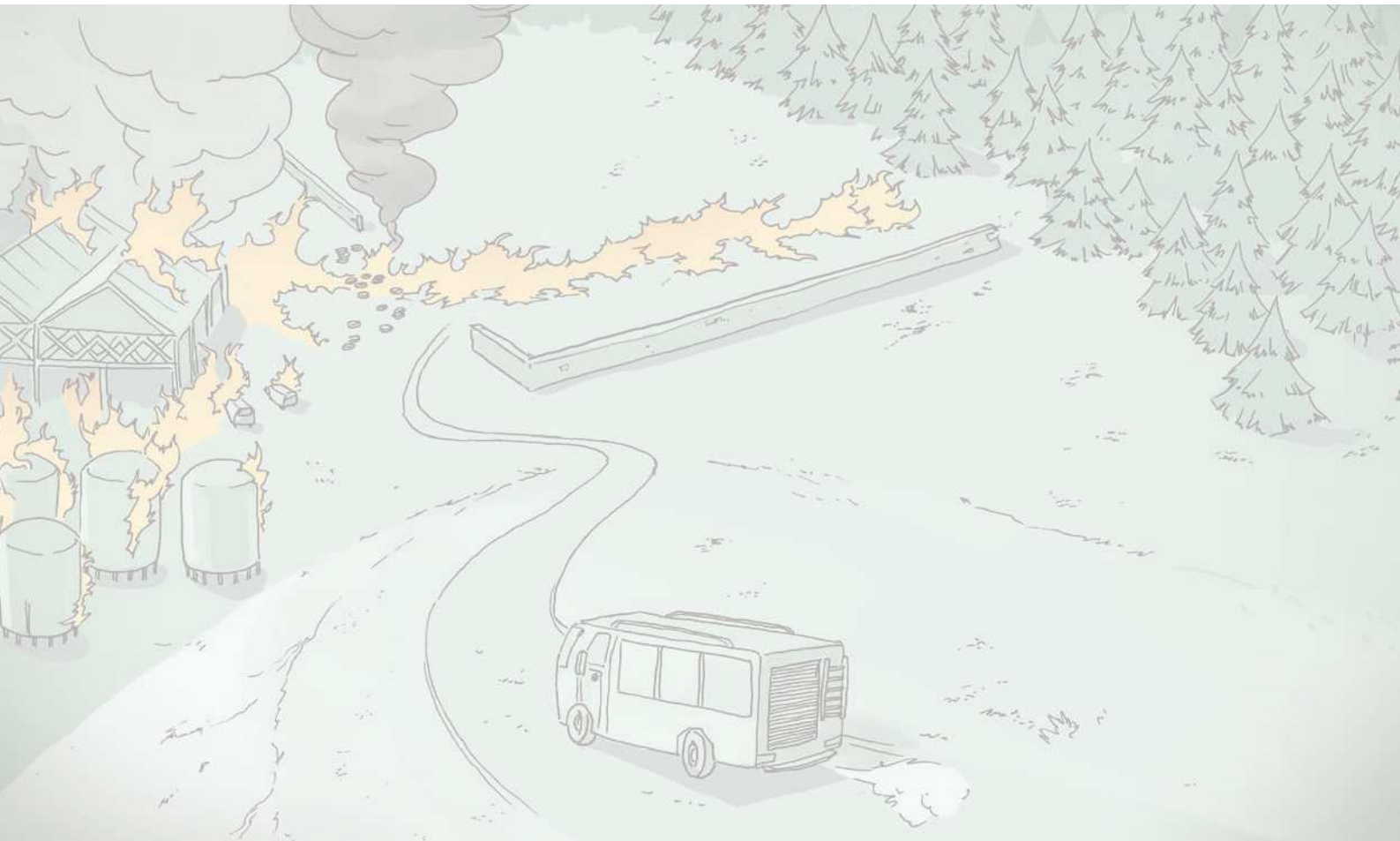
Este tipo de agente extintor tiene prohibida su fabricación por normativa europea, ya que es muy agresivo contra la capa de ozono de la atmósfera. Aún se pueden encontrar en algunas instalaciones contra incendios y en algún extintor portátil, ya que no está prohibido su uso hasta agotar existencias.

#### Limitaciones

Además de su precio la mayor limitación es que los halones perjudican gravemente la capa de ozono.

Pueden generar gases tóxicos si no consiguen extinguir el incendio en breve espacio de tiempo. Es necesario por tanto calibrar muy bien las instalaciones.

Al igual que el CO<sub>2</sub> tampoco es adecuado para fuegos profundos y se debe utilizar en interiores.





## CONVIENE RECORDAR

- El descubrimiento del fuego ha sido de gran utilidad para la evolución de la humanidad.
- El **fuego** es una combustión caracterizada por la emisión de calor, humo y llamas.
- Una **combustión** es una reacción química exotérmica de oxidación en la que se combina un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente).
- El **oxígeno** es el comburente más común en todos los fuegos e incendios.
- Mientras el fuego es una combustión controlada en el tiempo y el espacio, el **incendio** se propaga incontroladamente.
- Los incendios se producen cuando coinciden un **producto inflamable** (combustible), un **producto que favorece la combustión** (comburente) y una **fuerza con suficiente energía de activación** (calor, chispa, llama).
- Combustible, comburente y calor, junto a las reacciones en cadena, forman el **tetraedro del fuego**.
- Las **acciones** capaces de impedir las reacciones en cadena son eficaces para **limitar** la propagación del incendio y **facilitar** su extinción.
- Dentro de la evolución de un incendio se definen cuatro fases:
  - **Inicio**
  - **Desarrollo**
  - **Propagación**
  - **Extinción**
- La **transferencia de calor** determina la ignición, combustión y extinción de la mayoría de los incendios.
- El calor se transmite por **conducción, convección y radiación**.
- La **extinción de un incendio** puede producirse de forma natural, aunque cuando se habla de extinción se hace referencia a la extinción provocada por la acción del hombre.
- Los mecanismos de extinción se basan en hacer **desaparecer o disminuir los efectos de los factores del incendio** que conforman el tetraedro de fuego: combustible, comburente, energía de activación (calor) y reacción en cadena.
- Los principales **mecanismos de extinción** son: desalimentación o eliminación del combustible, sofocación o eliminación del comburente, enfriamiento e inhibición o rotura de la reacción en cadena.
- Por **agente extintor** entendemos el producto que, aplicado sobre el fuego, provoca la extinción del incendio cuando actúa sobre uno o más de los componentes del tetraedro de fuego para eliminarlos.
- El **agua** es el agente extintor más conocido, más abundante, más empleado y más barato.
- Las **espumas** son masas de burbujas rellenas de gas (aire) que se forman al combinar un espumógeno (estabilizador), agua y aire y cuya densidad relativa es menor a la del más ligero de los líquidos inflamables.
- La **espuma** es el principal agente extintor para líquidos inflamables.
- Existen también **agentes extintores sólidos y gaseosos**.