

# 2.1



Manual del BOMBERO  
Control y Extinción de Incendios

## 2.1 Principios de lucha contra incendios

# 2.1

Manual del BOMBERO  
Control y Extinción de Incendios

## 2.1 Principios de lucha contra incendios



## TÍTULOS DE LA COLECCIÓN MANUAL DEL BOMBERO

### **Volumen 1 Operaciones de salvamento**

- 1.1 Rescate en accidentes de tráfico
- 1.2 Trabajos y rescates en altura
- 1.3 Rescate acuático en superficie
- 1.4 Urgencias sanitarias para bomberos

### **Volumen 2 Control y extinción de incendios**

- 2.1 Principios de lucha contra incendios
- 2.2 Incendios en interiores
- 2.3 Incendios forestales
- 2.4 Prevención de incendios

### **Volumen 3 Fenómenos naturales y antrópicos. Operaciones de ayudas técnicas**

- 3.1 Riesgos naturales
- 3.2 Riesgo en accidentes con materias peligrosas
- 3.3 Redes de distribución e instalaciones
- 3.4 Principios de construcción y estabilización de estructuras

### **Volumen 4 Uso de recursos operativos**

- 4.1 Equipos de protección respiratoria
- 4.2 Medios de extinción. Operaciones e instalaciones con mangueras
- 4.3 Bombas. Hidráulica básica para bomberos
- 4.4 Vehículos de los S.P.E.I.S
- 4.5 Manejo de herramientas y equipos

### **Volumen 5 Organización y desarrollo profesional**

- 5.1 El Sistema Vasco de Atención de Emergencias
- 5.2 Seguridad y salud laboral
- 5.3 Aspectos legales de la intervención. Responsabilidades, deberes y derechos
- 5.4 Psicología de emergencias

Edición: Junio 2011.

Tirada: 1.800 ejemplares.

© Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco.  
Departamento de Interior.

Internet: [www.arkauteakademia.euskadi.net](http://www.arkauteakademia.euskadi.net)

Edita: Academia de Policía del País Vasco.  
Carretera Gasteiz-Irún Km. 5. 01192 Arkaute - Álava.

Dirección proyecto: Hilario Sein Narvarte. Asesor de la Academia de Policía del País Vasco.

Autores: Eusebio Cabo Goikouria. Sargento. Excmo. Ayto. de Bilbao. Área de Protección Civil y Bomberos.  
Jesús García Larragán. Oficial. Excmo. Ayto. de Bilbao. Área de Protección Civil y Bomberos.  
Koldo Barrenechea Azpiroz. Oficial. Excmo. Ayto. de Bilbao. Área de Protección Civil y Bomberos.

Coordinación Editorial: Javier Elorza Gómez. Subinspector del Servicio de Extinción de Incendios  
y Salvamento de la Diputación Foral de Bizkaia.

Diseño: Bell Comunicación, S. Coop.

Impresión:

ISBN de la Obra Completa: 978-84-615-1638-4 / ISBN del Volumen 2: 978-84-615-1634-6 / ISBN de este libro: 978-84-615-1721-3

D.L.:

## Aurkezpena

**N**iretzat aparteko ohorea da Suhiltzaileen eskuliburu bezalako argitalpen liburu bat aurkeztea. Aspalditik, larrialdiekin zerikusia duten profesionalak asko hitz egin dute "euskarazko eskuliburu" baten inguruan. Izan ere, etorkizuneko suhiltzaileentzat eta elkargo osoarentzat liburu hori zen erreferentzia liburu.

"Hasierako edo lehen liburu hori" Eusko Jaurlaritzako Larrialdien Zuzendaritzan argitaratu zen; hain zuzen ere, niretzat urte askotan lanean harrotasunez ibilitako tokia. Nire ibilaldi profesional luze honetan ziurtatu ahal izan dut "euskarazko eskuliburu" guztiek errespetatu duten tresna bat izan dela.

Eskuliburu berri honetan aurrekoaren mamia agertzen bada ere, hau askoz gehiago da. XXI. mendearen beharrazane erantzuten die. Eta, Arkauteko Ikastegiko zuzendaria naizen aldetik, nire gogobetea adierazten dut guztiek egindako lanagatik.

Ertzaintzaren sorreran ospe handia gordetzen duen Ikastegia da gurea eta, segurtasunean eta larrialdietan prestakuntza osoa ematera bideratutako Ikastegia dugu.

Eta azken esparru honetan, denbora marka baten barruan, luzaroan etsi-etsian oroitutako egitasmo bat bete ahal izan dugu: eguneratutako eta maila tekniko altuko Suhiltzaileen eskuliburu bat izatea, gizarteak arriskuaren aurrean dituen beharrianak eta betekizunak erantzun behar izateko, gero eta konplexuago eta teknifikatuago dagoen lanbide baterako.

Ikastegiaren bateratzeko zeregina ere nabarmendu behar dugu. Udaletakoak, Aldundietakoak eta Partzuergoetakoak diren Suhiltzaileen Zerbitzuen egituratzeak berak ezinbestekoak egiten du guztien erantzukizunak eta ahaleginak biltzean etengabeko ahalegina eta ahalegin tinkoa izatea.

Eskuliburu hau talde-lanaren emaitza da, Euskadiko Suhiltzaileen Zerbitzu guztien lankidetzat izan dugun lanaren emaitza. Lan horretan izan dira ondorengoak: Bilboko suhiltzaileak, Vitoria-Gasteizkoak, Donostia-San Sebastiánkoak, Bizkaikoak, Gipuzkoakoak eta Arabakoak; baita ere, Eusko Jaurlaritzako Larrialdi Zerbitzuetako kideak eta egiaztatutako adituak.

Eta garrantzitsuagoa duguna, egileen konpromisoa nabarmendu nahi dut, inolako interesik gabe euren onena, jakinduria eta eskarmentua eman baitizkiote elkargo osoari.

Kalitate handiko lana eskaintzen dizuegula uste dugu. Lan honekin gozatzea espero dugu.

## Presentación

**P**resentar un libro como esta edición del Manual de Bomberos es para mí un honor especial. Desde hace muchos años, todos los profesionales relacionados con las emergencias han hablado del "manual vasco". Era el libro de referencia para los futuros bomberos y también de ayuda para todo el colectivo profesional.

Este "libro de cabecera" se editaba en la Dirección de Emergencias del Gobierno Vasco, en la que he tenido el orgullo de trabajar durante muchos años. En mi amplia trayectoria profesional he podido comprobar cómo el "manual vasco" era respetado por todos.

Este nuevo manual lleva la esencia del anterior, pero va mucho más allá. Responde a las necesidades del siglo XXI. Y como Directora de la Academia de Arkaute me siento satisfecha del trabajo que entre todos hemos llevado a cabo.

Una Academia que atesora un reconocido prestigio en la creación de la Ertzaintza, camina hacia la formación integral en seguridad y emergencias.

Y es en este último campo donde, en un tiempo récord, hemos podido concretar un proyecto largamente añorado: disponer de un Manual de Bomberos actualizado y de alto nivel técnico, para una profesión cada vez más compleja y tecnificada, que debe responder a las exigencias y requerimientos de una sociedad frente al riesgo.

Hay que destacar el papel aglutinador de la Academia. La propia vertebración de los Servicios de Bomberos dependientes de Ayuntamientos, Diputaciones y Consorcios hace imprescindible un esfuerzo constante e intenso en la articulación de responsabilidades y esfuerzos comunes.

Este manual es el fruto de un trabajo coral, en el que hemos contado con la colaboración y la cooperación de todos los Servicios de Bomberos de Euskadi: Bomberos de Bilbao, de Vitoria-Gasteiz, de Donostia-San Sebastián, de Bizkaia, de Gipuzkoa y de Araba, así como de miembros de los Servicios de Emergencia del Gobierno Vasco y contrastados expertos.

Y lo que es más importante, quiero destacar el compromiso de los autores que han participado desinteresadamente para dar lo mejor de sí mismos, su conocimiento y experiencia a todo el colectivo.

Confiamos en ofrecer os un trabajo de gran calidad. Esperamos que disfrutéis con él.



**Elena Moreno Zaldibar**

Euskal Herriko Polizia Ikastegiaren Zuzendaria  
Directora de la Academia de Policía del País Vasco



# ÍNDICE

|                                                                 |          |
|-----------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. CONCEPTOS BÁSICOS DEL FUEGO</b>                           | <b>8</b> |
| 1.1 INTRODUCCIÓN                                                | 8        |
| 1.2 CONCEPTOS QUÍMICOS BÁSICOS                                  | 9        |
| 1.2.1 Reacciones químicas de oxidación-reducción                | 9        |
| 1.2.2 Comburente y combustible                                  | 9        |
| 1.2.3 Energías de reacción                                      | 9        |
| 1.2.4 Tetraedro del fuego                                       | 10       |
| 1.3 ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DE LA COMBUSTIÓN                  | 11       |
| 1.3.1 Combustible                                               | 11       |
| 1.3.2 Comburente                                                | 17       |
| 1.3.3 Energía de activación                                     | 17       |
| 1.3.4 Reacción en cadena                                        | 18       |
| 1.4 COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES FRENTE AL CALOR Y AL FUEGO | 19       |
| 1.5 TIPOS DE FUEGOS:                                            | 22       |
| 1.5.1 Según el tipo de combustible                              | 22       |
| 1.5.2 Según el tipo de radiación luminosa                       | 23       |
| 1.6 TRANSMISIÓN DE CALOR                                        | 24       |
| 1.6.1 Conducción                                                | 24       |
| 1.6.2 Convección                                                | 25       |
| 1.6.3 Radiación                                                 | 26       |
| 1.7 PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN                                     | 27       |
| 1.7.1 Gases de combustión                                       | 27       |
| 1.7.2 Llamas                                                    | 27       |
| 1.7.3 Calor                                                     | 28       |
| 1.7.4 Humo                                                      | 28       |

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2. TEORÍA DEL FUEGO</b>                                | <b>30</b> |
| 2.1 CONCEPTOS PREVIOS                                     | 30        |
| 2.2 COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA SEGÚN SU ESTADO FÍSICO   | 32        |
| 2.2.1 Estado gaseoso                                      | 32        |
| 2.2.2 Estado líquido                                      | 32        |
| 2.2.3 Estado sólido                                       | 33        |
| 2.3 PIRÓLISIS                                             | 33        |
| 2.4 INFLAMABILIDAD DE LOS GASES DE INCENDIO               | 34        |
| 2.4.1 Límites de inflamabilidad                           | 34        |
| 2.4.2 Factores que influyen en el rango de inflamabilidad | 35        |
| 2.5 FUENTES DE IGNICIÓN                                   | 36        |
| 2.6 TIPOS DE LLAMA                                        | 37        |
| 2.6.1 Llamas de difusión                                  | 37        |
| 2.6.2 Llamas de pre-mezcla                                | 37        |
| <b>3. PROCESOS DE COMBUSTIÓN EN UN INCENDIO</b>           | <b>39</b> |
| 3.1 FORMACIÓN DE LOS GASES DEL INCENDIO                   | 39        |
| 3.2 PRODUCTOS DE LA PIRÓLISIS                             | 40        |
| 3.3 GASES Y OTROS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN              | 40        |
| 3.3.1 Gases inflamables del incendio                      | 40        |
| 3.3.2 El color de los gases de incendio                   | 41        |





|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. PRINCIPIOS DE LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS</b>       | <b>44</b> |
| 4.1 ELIMINACIÓN DEL COMBUSTIBLE                         | 44        |
| 4.2 SOFOCACIÓN O INERTIZACIÓN                           | 45        |
| 4.3 ENFRIAMIENTO                                        | 45        |
| 4.4 INHIBICIÓN O ACCIÓN CATALÍTICA NEGATIVA             | 46        |
| <br>                                                    |           |
| <b>5. AGENTES DE EXTINCIÓN</b>                          | <b>48</b> |
| 5.1 INTRODUCCIÓN                                        | 48        |
| 5.2 AGUA                                                | 48        |
| 5.3 ESPUMAS                                             | 50        |
| 5.4 POLVO EXTINTOR                                      | 52        |
| 5.5 DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> )               | 53        |
| 5.6 HIDROCARBUROS HALOGENADOS (HALONES)                 | 54        |
| 5.7 AGENTES LIMPIOS                                     | 54        |
| 5.8 AGENTES EXTINTORES PARA FUEGOS DE METALES (CLASE D) | 55        |



# 1

## *CONCEPTOS BÁSICOS DEL FUEGO*

- 1.1. INTRODUCCIÓN
- 1.2. CONCEPTOS QUÍMICOS BÁSICOS
- 1.3. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DE LA COMBUSTIÓN
- 1.4. COMPORTAMIENTO FRENTE AL CALOR Y AL FUEGO DE LOS MATERIALES
- 1.5. TIPOS DE FUEGOS
- 1.6. TRANSMISIÓN DE CALOR
- 1.7. PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN



# 1. CONCEPTOS BÁSICOS DEL FUEGO

8



## 1.1 INTRODUCCIÓN

El fuego ha jugado un papel fundamental en la evolución de la humanidad. Su utilización ha sido clave para el desarrollo tecnológico y ha contribuido al avance de la sociedad.

Sin embargo cuando se pierde el control del fuego se produce el incendio, con todas las pérdidas y daños que de ello se deriva. Un incendio, por tanto, es un fuego incontrolado.



Fuego

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 la esencia del fuego.



Incendio

La norma UNE-EN ISO 13943 define **fuego** como: *combustión autosoportada que ha sido deliberadamente puesta en marcha para beneficiarse de sus efectos y que está controlada en su duración y extensión espacial*. La definición de **incendio** en la misma norma es: *combustión autosoportada que se propaga incontrolada en el tiempo y en el espacio*.

En castellano, coloquialmente no se hace esta diferenciación precisa entre fuego e incendio, y en muchos casos denominamos fuego a lo que siendo estrictos deberíamos llamar incendio.





Hay muchas definiciones de fuego en la literatura especializada. Una de las más utilizadas en nuestro sector es la concepción de fuego como un proceso de reacciones químicas, fuertemente exotérmicas de oxidación-reducción, en las que participan una sustancia combustible y una comburente, que se produce en condiciones energéticas favorables y en el que se desprende calor, radiación luminosa, humo y gases de combustión.

En el párrafo anterior aparecen una serie de conceptos que conviene definir a su vez para poder comprender el fenómeno del fuego y llegar al desarrollo de la teoría físico-química que lo describe. Las definiciones se han enfocado desde el punto de vista de su relación con el fuego exclusivamente.

## 1.2 CONCEPTOS QUÍMICOS BÁSICOS

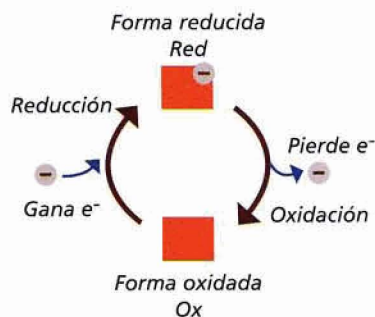
### 1.2.1 REACCIONES QUÍMICAS DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN

Las reacciones químicas de oxidación-reducción son aquellas en las que se produce un intercambio de electrones entre un oxidante que los gana, y un reductor que los pierde.

Para que se produzca una reacción de óxido-reducción es, por lo tanto, necesaria la presencia de un agente oxidante y de un agente reductor.

El agente oxidante más común es el oxígeno del aire, aunque existen otras sustancias que actúan como oxidantes al liberar oxígeno con facilidad, como por ejemplo el nitrato sódico ( $\text{NaNO}_3$ ) o el clorato potásico ( $\text{KClO}_3$ ). Algunos compuestos contienen oxígeno en sus moléculas, de tal forma que su oxidación puede realizarse sin aporte exterior de oxígeno.

El agente reductor será cualquier materia que no se encuentre en su estado de máxima oxidación, y la variación de este estado dependerá de su composición química.



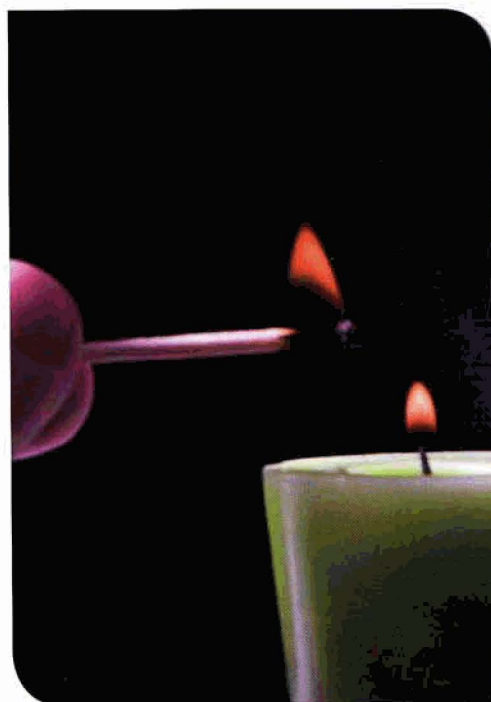
### 1.2.2 COMBURENTE Y COMBUSTIBLE

Como se ha visto, en una reacción de óxido-reducción intervienen un oxidante y un reductor. En terminología de incendios, el oxidante se denomina **comburente** y el reductor **combustible**.

Las reacciones que tienen lugar entre ambos se denominan **combustiones**.

### 1.2.3 ENERGÍAS DE REACCIÓN

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



*Para que se inicie una reacción de combustión es necesaria la aportación de una energía de activación*

La energía necesaria para que la reacción se inicie se denomina *energía de activación*, y es proporcionada por las fuentes de ignición.

El *calor de reacción* es la energía que se gana o se pierde cuando tiene lugar una reacción.



En una reacción endotérmica, los productos que se forman contienen más energía que los reaccionantes. Para que la reacción continúe, es necesario un aporte constante de energía.

En una reacción exotérmica, los productos que se forman contienen menos energía que los reaccionantes. El diferencial de energía se puede desprender de varias formas, pero por lo general lo hacen en forma de calor. Cuando la cantidad de energía que se desprende en una reacción es muy elevada, se emite radiación luminosa o llamas.

En un fuego se producen reacciones de ambos tipos, siendo más importantes las exotérmicas.

En una reacción exotérmica, parte de la energía se disipa al ambiente, provocando los efectos térmicos derivados del incendio, y el resto revierte en forma de calor sobre los reactivos, aportando la energía de activación necesaria para que el proceso continúe.

10

#### 1.2.4 TETRAEDRO DEL FUEGO

Aunque los procesos de combustión son muy complejos, se pueden representar mediante un triángulo en el que cada uno de sus lados representa a uno de los tres factores esenciales para producir un fuego: combustible, oxidante y energía, tal como se representa en la figura 1.

Esta representación se aceptó durante mucho tiempo. Sin embargo muchos fenómenos anómalos no podían explicarse completamente mediante este triángulo. Para poder explicar tales fenómenos, es necesario incluir un cuarto factor: la existencia de reacciones en cadena.



Figura 1. Triángulo del fuego

Para ello se ha propuesto una nueva representación de las condiciones necesarias para que se produzca un fuego, en forma de tetraedro, reproducido en la figura 2.

La razón para emplear un tetraedro y no un cuadrado es que cada uno de los cuatro elementos está directamente en conexión con los otros tres. El retirar uno o más de los cuatro elementos del tetraedro hará que éste esté incompleto y, por consiguiente, el resultado será la extinción de la reacción.



Figura 2. Tetraedro del fuego.



## 1.3 ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DE LA COMBUSTIÓN

Como hemos visto, para que se inicie y mantenga un fuego es necesaria la coexistencia de los cuatro elementos del tetraedro del fuego, representado en la figura 2.

El análisis a priori, en un escenario de riesgo, de cada uno de estos cuatro elementos permitirá determinar su peligrosidad relativa respecto a la probabilidad de inicio, a la propagación y a las consecuencias de un incendio.

### 1.3.1 COMBUSTIBLE

Se define como combustible cualquier sustancia capaz de arder, es decir, capaz de combinarse con un oxidante en una reacción rápida y exotérmica. Podemos citar como ejemplos:

- Carbón.
- Monóxido de carbono.
- Muchos compuestos ricos en carbono e hidrógeno, como los hidrocarburos.
- Elementos no metálicos fácilmente oxidables, tales como el azufre y el fósforo.
- Materiales que contengan celulosa, tales como madera, textiles, etc.
- Metales, como aluminio, magnesio, titanio, circonio.
- Metales alcalinos, como el sodio, potasio, etc.



*La madera es un combustible universal.*



*La gasolina es el combustible por excelencia en la automoción*



*El carbón ha sido el combustible más utilizado en la industria del siglo XX.*

#### 1.3.1.1 PELIGROSIDAD DE UN COMBUSTIBLE RESPECTO A SU POSIBLE IGNICIÓN

Todos los combustibles arden, o entran en combustión, en fase gaseosa. Cuando el combustible es sólido o líquido, es necesario un aporte previo de energía para llevarlo al estado gaseoso.

La peligrosidad respecto a su ignición depende de una serie de variables:

- Proporción combustible-comburente (oxidante)
- Temperatura mínima a la que el combustible emite suficientes vapores para alcanzar dicha concentración.
- Energía de activación que es necesario aportar a la mezcla para que se inicie el proceso y se desarrolle la reacción en cadena.

Estas variables se pueden analizar por medio de unas constantes físicas, propias de cada combustible.

Las más importantes son:

### Límites de inflamabilidad (o de explosividad)

Para que sea posible la ignición, debe existir una concentración de combustible suficiente en una atmósfera oxidante. Una vez que se inicia la combustión es imprescindible un aporte continuo de combustible y de oxidante para que se mantenga.

Pero no todas las mezclas combustible-comburente (oxidante) son susceptibles de entrar en combustión, sino que solamente reaccionarán algunas proporciones de mezcla determinadas. Se definen los límites de inflamabilidad como los límites extremos de concentración de un combustible en mezcla con un oxidante. El límite superior de inflamabilidad es la máxima concentración de vapores de combustible en el aire, por encima de la cual no se produce la combustión; y el límite inferior de inflamabilidad es la mínima concentración de vapores de combustible, en mezcla con el aire, por debajo de la cual no se produce la combustión.

Estas concentraciones se expresan en porcentaje en volumen de vapores de combustible en mezcla con oxidante. Los valores que aparecen en la bibliografía se suelen dar en porcentaje de vapores de combustible en mezcla con aire.

La más pobre de estas concentraciones se denomina **Límite Inferior de Inflamabilidad (LII)**. La más rica de las concentraciones se denomina **Límite Superior de Inflamabilidad (LSI)**.

Las concentraciones intermedias entre ambos límites están incluidas en el Intervalo o Rango de Inflamabilidad, y son todas las mezclas capaces de entrar en combustión.

Por debajo del LII la mezcla es demasiado pobre en combustible para arder, y por encima del LSI la mezcla es demasiado pobre en oxidante.

Ambos límites, en condiciones ambientales normales de presión y temperatura, no se ven afectados sensiblemente por pequeñas variaciones de las mismas, pero cuando el aumento de temperatura es elevado, se amplía el intervalo de inflamabilidad.

En la bibliografía americana se les suele dar también el nombre de límites de explosividad. Ambas denominaciones son compatibles puesto que el hecho de que la mezcla se inflame o explote depende de otras circunstancias, y no solamente de la concentración.

Los datos de límites de inflamabilidad y explosividad que aparece en tablas de diferentes autores pueden no coincidir exactamente, debido principalmente a las diferencias en las condiciones de partida de los ensayos.

| GASES               | LII                  | LSI        | LIQUIDOS (vapor)   | LII                  | LSI  |
|---------------------|----------------------|------------|--------------------|----------------------|------|
|                     | % en volumen en aire |            |                    | % en volumen en aire |      |
| HIDRÓGENO           | 4,0                  | 75,0       | TOLUENO            | 1,2                  | 7,1  |
| METANO              | 5,0                  | 15,0       | ALCOHOL ETIL.      | 3,3                  | 19,0 |
| PROPANO             | 2,1                  | 9,5        | ACETONA            | 2,6                  | 13,0 |
| BUTANO              | 1,8                  | 8,4        | BENCENO            | 1,3                  | 7,9  |
| ACETILENO           | 2,5                  | 81,0 (100) | AGUARRÁS           | 1,2                  | 6,0  |
| AMONIACO            | 15,0                 | 28,0       | SULFURO DE CARBONO | 1,2                  | 44,0 |
| ETILENO             | 2,7                  | 36,0       | GASOLINA           | 1,3                  | 7,1  |
| MONÓXIDO DE CARBONO | 12,5                 | 74,0       |                    |                      |      |

Tabla 1.- Límites de inflamabilidad de algunos gases y vapores de líquidos comunes. (Manual SFPE)



### Punto de encendido \* (según norma UNE-EN ISO 13943)

Es la mínima temperatura (°C) a la que una sustancia combustible, en presencia del aire, emite suficiente cantidad de vapor para que la mezcla sea susceptible de inflamarse, en presencia de un foco de ignición o por el aporte de una energía de activación externa. Este término suele aparecer en la bibliografía inglesa bajo el nombre de *flash-point*, y en la bibliografía en castellano se identifica frecuentemente con el punto o temperatura de inflamación.



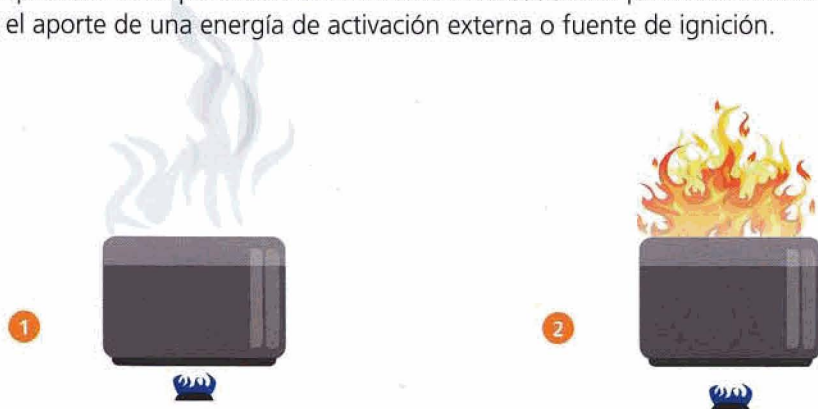
### Punto de inflamación \* (según norma UNE-EN ISO 13943)

Existe otra temperatura específica y es aquella a la que un combustible emite vapores con suficiente velocidad para propiciar la combustión continuada. Dicha temperatura se denomina punto de inflamación (*fire point* en inglés), y suele estar unos grados por encima del punto de encendido.



### Temperatura de ignición espontánea o de autoignición

Es la mínima temperatura a la que debe calentarse un combustible en presencia de aire para producir su ignición espontánea, sin el aporte de una energía de activación externa o fuente de ignición.



| COMPUESTOS         | Flash Point (°C) |
|--------------------|------------------|
| ALCOHOL ETÍLICO    | 18,2             |
| TOLUENO            | 4,4              |
| ACETONA            | - 18,0           |
| BENCENO            | - 11,0           |
| AGUARRÁS           | 38,0             |
| SULFURO DE CARBONO | - 38,0           |
| GASOLINA           | - 43,3           |
| GASOIL             | 60               |

Tabla 2. Puntos de encendido o flash point de diversos líquidos.(Manual NFPA)

| GASES     | Temperatura autoignición (°C) | LÍQUIDOS        | Temperatura autoignición (°C) | SÓLIDOS            | Temperatura autoignición (°C) |
|-----------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| Acetileno | 305                           | Acetona         | 335                           | Polietileno        | 349                           |
| Amoniaco  | 630                           | Alcohol Etílico | 423                           | Poliestireno       | 488 – 496                     |
| Etileno   | 425                           | Benceno         | 560                           | PVC                | 454                           |
| Propano   | 450                           | Tolueno         | 480                           | Poliamida (Nyl)    | 424                           |
| Metano    | 538                           | Aguarrás        | 232                           | Resinas fenólicas  | 571 – 580                     |
| Hidrógeno | 595                           | Sulfuro Car.    | 102                           | Papel de periódico | 230                           |
|           |                               | Gasolina        | 450                           | Madera de Pino     | 280                           |
|           |                               | Gasoil          | 330                           |                    |                               |

Tabla 3. Temperaturas de autoignición

### 1.3.1.2 PELIGROSIDAD DE UN COMBUSTIBLE RESPECTO A LA ENERGÍA Y PRODUCTOS EMITIDOS EN SU COMBUSTIÓN

Los factores importantes que contribuyen a la peligrosidad de un combustible una vez inflamado son:

#### Poder Calorífico

Es la cantidad de calor que puede emitir un combustible por unidad de masa, al sufrir un proceso de combustión completo. Las unidades más utilizadas para el poder calorífico son las Megacalorías por Kilo de com-

bustible (Mcal/kg). La norma UNE-EN-ISO lo define también como calor de combustión (J/kg).

Como ejemplo el alcohol etílico tiene un poder calorífico de 6,45 Mcal/kg, el propano 10,98 Mcal/kg y el tolueno 8,69 Mcal/kg

#### Reactividad

Se consideran reactivos aquellos productos que pueden sufrir reacciones de gran potencial energético por mezcla, frotamiento o contacto con productos incompatibles, y que pueden, en algunos casos, derivar en inflamación o explosión.



## Toxicidad de los productos de combustión

Toxicidad es la capacidad que tiene una sustancia de causar un efecto perjudicial sobre un organismo vivo (según norma UNE-EN ISO 13943). Algunos combustibles pueden emitir en su combustión humos y gases que por su gran toxicidad dificultan las condiciones de evacuación y extinción.

## Velocidad de combustión

La velocidad de combustión en una masa combustible es la cantidad de combustible consumida por unidad de tiempo en unas condiciones dadas. Se expresa en

kg/s. Esta velocidad aumenta a medida que disminuye la compactación del combustible, llegando a ser en ocasiones explosiva, como en el caso de algunos combustibles gaseosos o en el de ciertos sólidos finamente pulverizados.

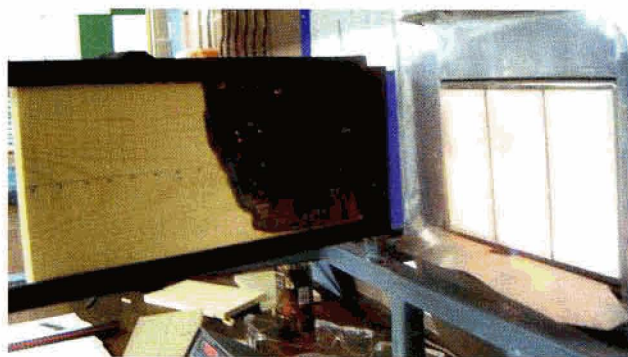
## Velocidad de propagación de la llama

Es la medida de la velocidad lineal de propagación superficial de las llamas en un combustible en una dirección determinada, e indica la capacidad de extensión y propagación de un fuego; se aplica especialmente a los combustibles sólidos utilizados como revestimientos.

| POLÍMEROS           | PRODUCTOS DE PIRÓLISIS <sup>(1)</sup>         | PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN                         |
|---------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Poliolefinas        | Olefinas. Parafinas. Hidrocarburos acíclicos. | CO - CO <sub>2</sub>                            |
| Poliestireno        | Monómeros, dímeros y trímeros de estireno.    | CO - CO <sub>2</sub>                            |
| Acrílicos           | Monómeros de acrilato                         | CO - CO <sub>2</sub>                            |
| PVC                 | CLH - Hidrocarburos aromáticos                | CLH - CO - CO <sub>2</sub>                      |
| Acetato de celulosa | CO - CO <sub>2</sub> - Acido acético          | Acido Acético - CO-CO <sub>2</sub>              |
| Policarbonatos      | CO <sub>2</sub> - Fenol                       | CO - CO <sub>2</sub>                            |
| Nylon 66            | Aminas - CO - CO <sub>2</sub>                 | CO - CO <sub>2</sub> - NH <sub>3</sub> - Aminas |
| Fenólicos PVC       | Fenol - Formaldehido                          | CO - CO <sub>2</sub> - HCOOH                    |
| Poliésteres         | Estireno. Acido benzoico.                     | CO - CO <sub>2</sub>                            |

NOTA: Pirólisis en ausencia de aire

Tabla 5. Productos de Combustión.



Ensayo de velocidad de propagación horizontal de un material

### 1.3.1.3 PELIGROSIDAD DE UN COMBUSTIBLE RESPECTO A SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas de un combustible pueden ser determinantes para el riesgo de inicio de la combustión y para su comportamiento ante el fuego.

Destacaremos por su importancia las siguientes:

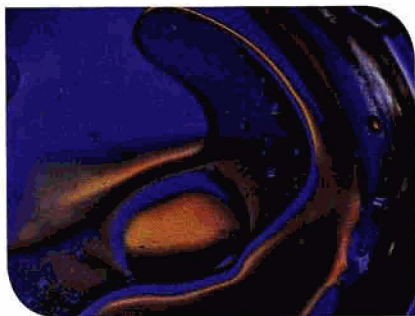
#### Densidad y estado de disgregación de un sólido

La **densidad** se define como el cociente entre la **masa** de un cuerpo y el **volumen** que ocupa. En el caso de los sólidos, en cuanto a su velocidad de combustión, no es tan importante la densidad en sí como su porosidad y estado de disgregación, es decir la relación entre la superficie de material expuesto al aire por unidad de volumen.



## Densidad de los líquidos

La densidad del agua a temperatura ambiente es aprox.  $1\text{g/cm}^3$ . Conocer la densidad de un producto es importante para determinar su flotabilidad en agua. La densidad de los compuestos orgánicos suele ser inferior a la del agua.



Esta característica es importante, ya que las densidades de los gases que puedan emitirse, afectará al diseño de la detección y ventilación, ya que en función de su densidad de vapor, los gases inflamables se desplazan hacia el suelo y niveles inferiores o hacia el techo y niveles superiores.

Cuanto mayor es la temperatura del gas, menor es la densidad; por ello, los productos calientes de la combustión se elevan hacia las capas altas de la zona en la que se encuentran.

## Viscosidad

Es la resistencia que ofrece una sustancia a fluir. Disminuye con la temperatura. Es importante para determinar, en caso de derrame de un líquido su capacidad de extenderse en una superficie o de penetrar en el terreno. Esto influye a la superficie de líquido expuesta a vaporización o a inflamación, que es lo que determinará la potencia del incendio.

Se mide en centipoises, siendo 1cp la viscosidad del agua a  $20^\circ\text{C}$ . Los hidrocarburos, como el hexano tienen una viscosidad baja (0,4 cp), mientras que ciertos aceites tienen una viscosidad elevada que puede llegar a 1.000 cp.

## Conductividad eléctrica

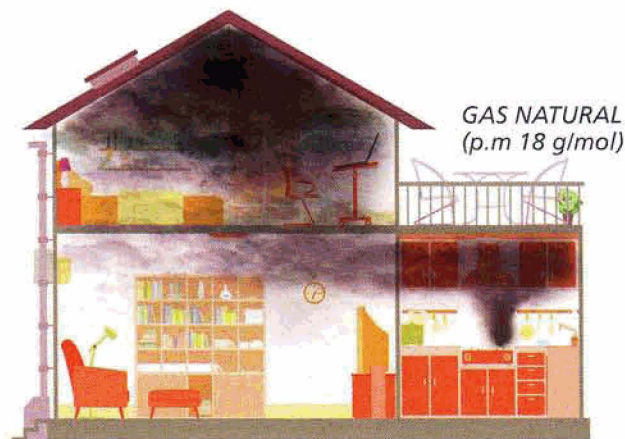
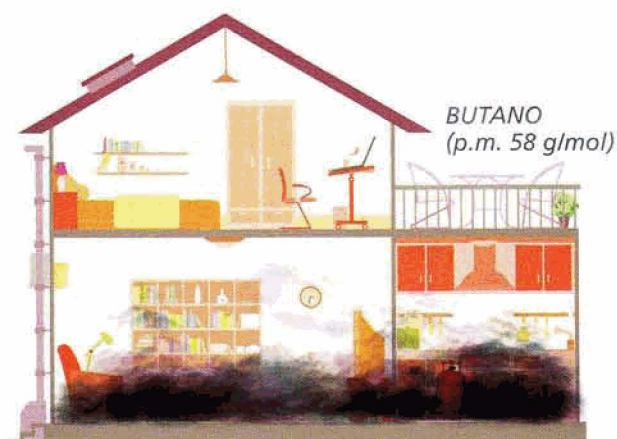
Es la facilidad que presenta una materia para permitir la circulación de corriente eléctrica. Un material puede ser aislante o conductor. Si una sustancia es poco conductora acumulará la carga estática producida debido al frotamiento mecánico.

## 16 Densidad de los gases o densidad de vapor

Tal como se usa generalmente en la tecnología de protección contra incendios, la densidad de vapor es el peso de un volumen de gas puro comparado con el de aire seco de igual volumen, en las mismas condiciones de temperatura y presión. Cuando la densidad de vapor de un gas es inferior a la unidad, quiere decir que el gas es más ligero que el aire; si la densidad de vapor es superior a la unidad, el gas es más pesado que el aire.

Para calcular, aproximadamente, la densidad de un gas, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad de vapor de gas} = \frac{\text{Peso molecular del gas (g/mol)}}{\text{Peso molecular del aire (29 g/mol)}}$$





Cuando un líquido fluye a lo largo de una manguera o conducto se produce una fricción entre el líquido y la superficie de las paredes, que origina la formación y acumulación de electricidad estática. Las cargas negativas y positivas se separan y el resultado puede ser una descarga a través de un contacto o un puente eléctrico que produzca una chispa. Esta podría inflamar los vapores de un líquido muy combustible. La carga acumulada aumenta con la fricción, la velocidad del flujo y la viscosidad del líquido. Las materias orgánicas como los hidrocarburos, suelen ser poco conductoras. El contacto o proximidad de un material conductor en contacto con la tierra podría producir una descarga instantánea en forma de chispa que en algunos casos podría tener una energía superior a la energía de activación de un producto inflamable.

La electricidad estática también se genera cuando un líquido cae libremente sobre una superficie inferior.

## Solubilidad

Es la capacidad de una sustancia de disolverse en otra y depende del tipo de fuerzas intermoleculares. Estas pueden ser polares (ej: agua) o no polares (ej: aceites). En general las del mismo tipo tienden a disolverse entre sí.

El grado de solubilidad de una sustancia en agua determinará la eficacia de las técnicas de dilución en la extinción de un líquido. Si un combustible líquido no es soluble en agua, en general, se acumulará en su superficie exponiéndose al oxígeno del aire, facilitando así la formación de mezclas inflamables.

### 1.3.2 COMBURENTE

Aunque un comburente es cualquier agente oxidante capaz de oxidar un combustible, en una reacción rápida y exotérmica, éste término se suele aplicar a mezclas de gases en las cuales el oxígeno está en proporción suficiente para que en su presencia se inicie y desarrolle la combustión, ya que el oxígeno es el agente oxidante más común. Por ello, el aire, que contiene aproximadamente un 21% en volumen de oxígeno, es el comburente más común en todos los fuegos e incendios.

Algunas sustancias químicas desprenden oxígeno bajo ciertas condiciones. El  $\text{NaNO}_3$  -Nitrato Sódico- o el  $\text{KClO}_3$  -Clorato de Potasa- son agentes oxidantes cuya presencia puede provocar la combustión en ausencia de oxígeno. Otros productos como la nitrocelulosa pueden arder sin presencia de aire por contener oxígeno en su propia estructura molecular.

Para que se desarrolle la combustión, en los procesos normales, es necesaria la presencia de una proporción mínima de oxígeno en el ambiente. Esta proporción mínima se determina por medio del ensayo del índice crítico de oxígeno.

A continuación se indican algunos ejemplos de agentes oxidantes:

- Oxígeno y ozono (aire).
- Peróxido de hidrógeno.



- Halógenos (en el orden: flúor, cloro, yodo y bromo).
- Ácidos nítrico y sulfúrico concentrados.
- Óxidos de metales pesados, particularmente de aquellos que tienen valencia alta, tales como el dióxido de manganeso, dióxido de plomo...
- Nitratos, cloratos, perboratos y peróxidos.
- Cromatos, dicromatos, permanganatos, hipocloritos e hipobromitos.

17

### 1.3.3 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

Como ya se indicó anteriormente, es la energía mínima que necesitan los reactivos para que se inicie una reacción.

Esta energía es aportada en la combustión por las fuentes de ignición. Un foco puede provocar la ignición si su energía en intensidad (temperatura) y en extensión (cantidad de calor) es suficiente para aumentar la temperatura en una zona de la masa combustible por encima de su punto de autoignición.



*La llama abierta, junto con la electricidad, es la energía de activación más frecuente en los incendios.*





Las diferentes formas de aporte energético a la mezcla se pueden agrupar en:

Energías de alta temperatura, extensión y larga duración: llamas. Estos focos son los más peligrosos pues provocan prácticamente siempre el inicio y desarrollo del incendio.

Energías de alta temperatura, pequeña extensión y corta duración: chispas. Pueden superar la temperatura de autoignición y dar lugar a que la combustión se propague (tal es el caso de gases, vapores y polvos en suspensión aérea), o no llegar a ello (como en el caso de la madera).

Energías de baja temperatura, independiente de la extensión y duración: superficies calientes. Cuando la temperatura de la superficie es inferior a la temperatura de autoignición del combustible, no llega a producirse la inflamación.

18

**Los principales focos de ignición, se pueden clasificar según su origen en:**



*Una chispa puede tener suficiente energía para inflamar un mezcla de gases*



*Un material muy caliente puede transmitir la suficiente energía para inflamar a otro*

| FUENTES NATURALES                                                        | FUENTES ELÉCTRICAS                                                                                                                                                           | LLAMAS ABIERTAS                                                                                                                                         | FUENTES MECÁNICAS                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rayos</li> <li>• Sol</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chispas y arcos</li> <li>• Cortocircuitos</li> <li>• Cargas estáticas</li> <li>• Sobrecargas</li> <li>• Recalentamientos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecheros, fósforos, velas...</li> <li>• Hornos, quemadores</li> <li>• Hogueras, quemas de rastrojos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chispas de herramientas</li> <li>• Roces mecánicos</li> <li>• Chispas producidas por zapatos</li> <li>• Impactos</li> </ul> |

| TRABAJOS DE SOLDADURA Y CORTE                                                                                                     | FUENTES QUÍMICAS                                                                                                                                         | FUENTES DE ORIGEN INTENCIONADO MECÁNICAS                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Llamas</li> <li>• Conducción de calor</li> <li>• Chispas</li> <li>• Electrodo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reacciones exotérmicas.</li> <li>• Fermentaciones y descomposiciones naturales</li> <li>• Diluciones</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Silex</li> <li>• Piedras de mechero</li> </ul> |

### 1.3.4 REACCIÓN EN CADENA

**Las reacciones en cadena son los procesos mediante los cuales progresa la reacción en el seno de la mezcla comburente-combustible.**

Hasta los años 50, el triángulo del fuego explicaba perfectamente el fenómeno de la combustión, sin embargo a raíz de la utilización de agentes extintores para la aeronáutica (Tetracloruro de carbono) se observó que éstos extinguían el fuego sin incidir en ninguno de los

tres lados del triángulo, por lo que la reacción en cadena constituyó la cuarta cara del "tetraedro del fuego"

Aunque las reacciones químicas se suelen representar mediante una ecuación sencilla, en la que dos o más reactivos dan lugar directamente a los productos de combustión, el mecanismo real de la reacción puede no responder a esa ecuación, sino que sigue un proceso complicado, con formación de radicales intermedios y ramificaciones, vueltas atrás, etc. Esos compuestos intermedios no son estables por lo que, igual que se pro-

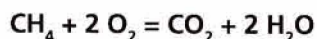




ducen, reaccionan y vuelven a desaparecer. Por ello, en las ecuaciones simplificadas no aparecen más que los reactivos iniciales y los productos finales.

Pongamos como ejemplo el gas metano, compuesto principal del gas natural de uso doméstico.

De la combustión del metano resulta:

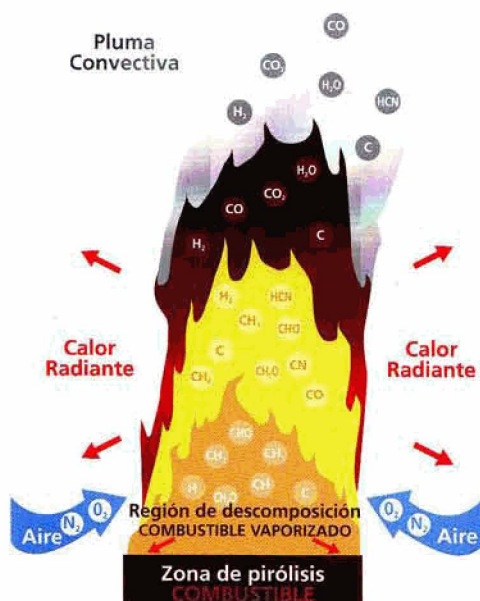


Los productos resultantes serían dos productos estables, el agua y el  $\text{CO}_2$ .

Si la combustión no es perfecta en vez de  $\text{CO}_2$  nos encontraremos con  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$ .

La reacción  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2$  no pasa directamente a  $\text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ , sino que pasa por multitud de estados intermedios formándose a su vez multitud de compuestos inestables y de radicales libres que duran a veces milisegundos, hasta llegar a los compuestos estables, en este caso  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .

La extinción por inhibición química funciona de la siguiente manera: determinados compuestos intermedios tienen mucha afinidad a combinarse con el componente del agente extintor, formando un producto estable, por lo que no continúan reaccionando; por lo tanto no se desprende calor y la combustión no progresa.



## 1.4 COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES FRENTE AL CALOR Y AL FUEGO

Para entender de que forma se comporta un material expuesto al fuego y consecuentemente a un aumento de su temperatura, hay que tener en cuenta una serie de conceptos físico-químicos básicos.

### Calor específico

El calor específico se define como la cantidad de calor necesaria, expresada en calorías por gramo (cal/gr.), para elevar  $1^\circ \text{C}$  la temperatura de 1 gr. de un material.

La caloría es la unidad de calor y se define como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 gr. de agua líquida de  $14,5$  a  $15,5^\circ \text{C}$ , a la presión atmosférica normal.

Aunque el calor específico varía con la temperatura, se pueden dar valores medios aproximados entre  $0$  y  $100^\circ \text{C}$  de algunos materiales.

| MATERIALES | Calores específicos cal/gr. |
|------------|-----------------------------|
| AGUA       | 1                           |
| COBRE      | 0,095                       |
| ESTAÑO     | 0,055                       |
| HIERRO     | 0,110                       |
| YESO       | 0,032                       |
| PLOMO      | 0,031                       |
| PLATA      | 0,057                       |
| SILICIO    | 0,180                       |
| CARBONO    | 0,150                       |

Tabla 6. Calores específicos

### Conductividad térmica

Un material puede ser más o menos conductor del calor, es decir, que el calor se transmita más o menos rápidamente en el cuerpo, en un espesor y superficie determinadas.

La conductividad térmica de un material es la capacidad que dicho material posee para transmitir el calor.

Si un material es un buen conductor del calor, lo transmitirá con riesgo de producir o propagar un incendio. Si un material es un mal conductor térmico, el calor se acumulará en él, inflamándolo en menos tiempo si es combustible.





## Dilatación

Un cuerpo, al elevar su temperatura tiende a dilatarse, cualquiera que sea su estado.

La dilatación es el aumento de volumen que se produce en un cuerpo por efecto de calor, que separa las moléculas constituyentes y disminuye la densidad.

Si se produce un aumento de temperatura en un recipiente rígido que contiene un gas, éste no podrá dilatarse o aumentar de volumen, puesto que está confinado en un recinto de volumen definido. La presión que ejerce sobre las paredes aumentará, y si las fuerzas ejercidas por esta presión son demasiado elevadas, puede producirse la explosión del recipiente. Los sólidos y los líquidos también tienden a dilatarse y a aumentar de volumen, cuando aumenta su temperatura. Esta dilatación será más o menos importante dependiendo de la temperatura y de la naturaleza del cuerpo.

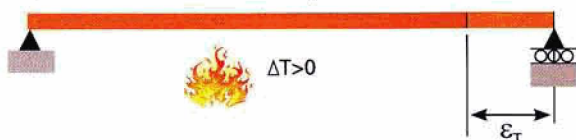
20

$$\epsilon_T = \alpha \Delta T$$

$\epsilon_T$  = Desplazamiento Térmico

$\alpha$  = Coeficiente de expansión Térmica

$\Delta T$  = Aumento de Temperatura



Para calcular la magnitud del aumento de volumen producido por el incremento de temperatura, se definen los coeficientes de dilatación según:

- El **coeficiente de dilatación lineal** es el alargamiento que experimenta un cuerpo por unidad de longitud al aumentar la temperatura un grado centígrado.
- El **coeficiente de dilatación superficial** es el aumento de superficie que experimenta un cuerpo por unidad de superficie al aumentar la temperatura un grado centígrado.
- El **coeficiente de dilatación cúbica** es el aumento de volumen que experimenta un cuerpo por unidad de volumen al aumentar la temperatura un grado centígrado.

Una vez calculado el valor del coeficiente de dilatación lineal, se pueden determinar los coeficientes de dilatación superficial y cúbica.

En todos los líquidos, el coeficiente de dilatación aumenta con la temperatura, excepto en el agua, cuya

máxima densidad corresponde a la temperatura de 4 °C, y que se dilata tanto al aumentar como al disminuir la temperatura.

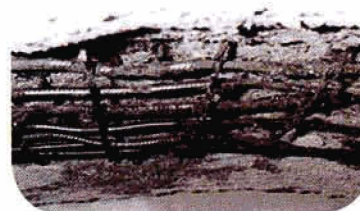
Este fenómeno es muy importante y hay que tenerlo en cuenta en la utilización de materiales de construcción y diseño de estructuras. Por ejemplo, cuando se construye una gran superficie de hormigón, que pueda verse afectada por un aumento de temperatura, es necesario proveerla de juntas de dilatación (por ejemplo, los puentes).

En el curso de un incendio en el que se producen grandes aumentos de temperatura, el fenómeno de dilatación representa un importante papel.

Por ejemplo, en la estructura de los edificios incendiados se observan los siguientes efectos:

Las armaduras metálicas, de un espesor normalmente elevado, pueden estar torcidas.

El hormigón armado puede estar dañado porque las armaduras de acero insuficientemente protegidas contra el calor se han dilatado y en algunos puntos ha hecho saltar el recubrimiento de hormigón.



Sin embargo, aunque el acero es incombustible y las temperaturas alcanzadas en el curso de estos incendios son insuficientes para que funda, debido a su elevado coeficiente de dilatación, es necesario protegerlo por medio de recubrimientos que lo aíslan térmicamente, impidiendo que por efecto del calor se dilate y dañe la estructura.

## Resistencia mecánica de los sólidos

La resistencia mecánica de un sólido a la presión, flexión, torsión, etc., varía con la temperatura a la que está sometido.

Se ha comprobado que el acero pierde rápidamente sus propiedades mecánicas de resistencia cuando la temperatura sobrepasa los 500 °C. En un incendio se alcanza normalmente esta temperatura en menos de diez minutos.





El hormigón pretensado es frágil cuando se produce una gran elevación de la temperatura. Si la capa de hormigón que recubre las estructuras metálicas no es suficientemente gruesa como para actuar como aislante térmico, las partes metálicas que constituyen la armadura, y que de ordinario están sometidas a tensiones mayores que en el hormigón armado, sufre deformaciones y roturas por causa del calor.

### Reacción al fuego

El comportamiento frente al fuego de los materiales se puede estudiar desde dos puntos de vista diferentes: respecto a una forma activa o de **reacción al fuego**, o respecto a una forma pasiva o de **resistencia al fuego**.

La **reacción al fuego** es la respuesta del material en cuanto a su propia descomposición frente al fuego e indica el alimento que un material puede aportar al inicio, propagación y desarrollo de un incendio. Por medio de este concepto puede estudiarse la contribución de los distintos materiales a un fuego, y el riesgo y peligrosidad que representan. La norma UNE-23.727 clasificaba los materiales de revestimiento y acabado en seis clases, de M0 a M5 (de incombustibles a muy fácilmente inflamables). A partir de marzo de 2005, con la aparición de las euroclases se estableció una nueva clasificación.

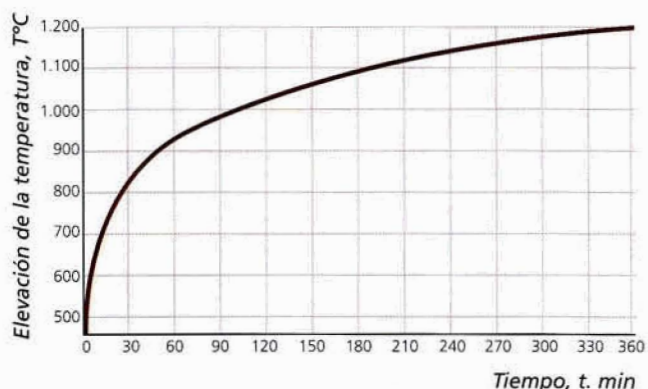
El sistema de clasificación europeo comprende 7 euroclases: A1, A2, B, C, D, E y F.

Las euroclases A1, A2 y B corresponden a las clases de productos no combustibles o poco combustibles. Las euroclases C, D y E corresponden a productos clasificados como combustibles. Los productos de la clase F no han sido evaluados en cuanto a su reacción al fuego. Para suelos se establecen las mismas clases con los subíndices FL (floor, suelo).

También se definen unas clases complementarias. Una relativa a la producción de humos y la otra a la producción de gotas o partículas inflamadas. Los niveles de estos dos parámetros son tres. Para la opacidad de humos, los niveles s1, s2 y s3, siendo el s1 el más favorable al emitir baja cantidad de humos y a baja velocidad. Para las gotas o partículas inflamadas, los niveles son: d0, d1 y d2, siendo el más favorable el d0 el cual no produce gotas inflamadas.

### Resistencia al fuego

La resistencia al fuego es la aptitud de un elemento de construcción, componente, equipo o estructura, de conservar durante un tiempo determinado la estabilidad (R), la estanqueidad (E), el aislamiento térmico requerido (I) y la no emisión de gases inflamables, especificados en los ensayos de resistencia al fuego. La clasificación viene dada en función del tiempo, en minutos, que un elemento dado mantiene dichas características bajo la acción de un fuego tipo: así, por ejemplo, REI 120 indica que el elemento mantiene durante 120 minutos las características específicas cuando se ve sometido a las condiciones de ensayo establecidas por la curva normalizada.



Curva normalizada para ensayos de resistencia



## 1.5 TIPOS DE FUEGOS

Los fuegos se pueden clasificar de dos formas:

- **Respecto al tipo de combustible.**
- **Respecto al tipo de radiación luminosa.** Producida (llama o incandescencia).

### 1.5.1 SEGÚN EL TIPO DE COMBUSTIBLE

Los tipos o clases de fuego se denominan, de acuerdo con la normativa europea (EN 2:1992/A1:2004) en función del tipo de combustible al que afecte, según las siglas:

**Fuegos clase A:** Son los fuegos de materiales sólidos, generalmente de naturaleza orgánica, cuya combustión se realiza normalmente con la formación de brasas.



**Fuegos clase B:** Son los fuegos de líquidos o de sólidos licuables.



**Fuegos clase C:** Son los fuegos de gases.



**Fuegos clase D:** Son los fuegos de metales.



**Fuegos clase F:** Esta clase se ha añadido recientemente y corresponde a los fuegos derivados de la utilización de ingredientes para cocinar (aceites y grasa vegetales o animales) en los aparatos de cocina.



Antiguamente se incorporaba la clase E, correspondiente a fuegos eléctricos, pero en estos fuegos el combustible es sólido, por lo que sería un fuego clase A. Sin embargo las condiciones varían si el fuego se produce en presencia de corriente eléctrica, por lo que se añadió el subíndice E. De esta forma, los fuegos producidos en combustibles sólidos en presencia u originados por una corriente eléctrica se denominaban AE.



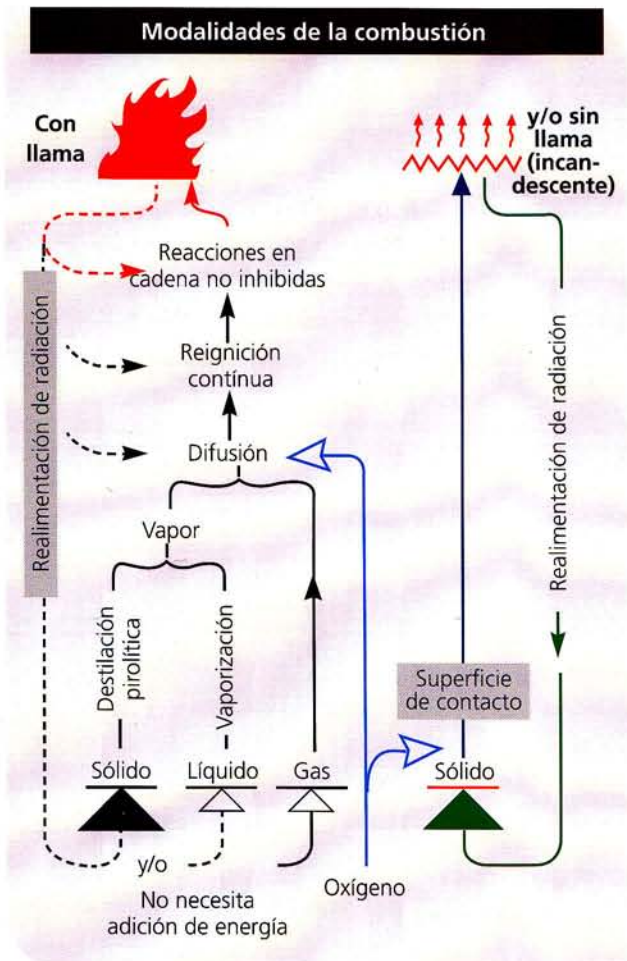


## 1.5.2 SEGÚN EL TIPO DE RADIACIÓN LUMINOSA

El proceso de combustión puede tener lugar de dos formas diferentes: con llama (en el que se incluyen las explosiones) y superficial sin llama (en el que se incluyen las incandescencias y las ascuas de incandescencia profunda).

Los requisitos para la existencia de una combustión continua se representa en la figura. Tal como se ve en esta figura la combustión con llama se asocia con velocidades de combustión relativamente altas, expresadas en términos de liberación de energía térmica, a partir de la energía química existente en los enlaces entre átomos, que, en unión a la relación peso-tiempo y del calor específico de los productos gaseosos de la combustión del cuerpo emisor, determinan la temperatura de la llama.

Aproximadamente, las dos terceras partes del calor liberado pasan al ambiente circundante por convección, y una tercera parte en forma de flujo calorífico de radiación.



En condiciones de equilibrio, la energía térmica generada y la pérdida en el ambiente, ambas medidas en función del tiempo, deben igualarse. Si la primera supera la segunda, el fuego aumenta; inversamente, si la segunda supera a la primera, el fuego disminuye. Este proceso depende en gran medida de la temperatura.

Los líquidos y los gases inflamables arden siempre con llama. La velocidad de combustión de los gases es muy rápida, por lo que en muchos casos puede producirse la explosión.

La mayor parte de los plásticos sólidos pueden considerarse como líquidos inflamables solidificados y, como tales, funden antes de su combustión, cuando hay una realimentación térmica suficiente.

La característica común a estos combustibles es que se vaporizan y mezclan con el oxígeno antes de la combustión.

Algunos de los casos en que coexisten ambos tipos de combustión son: combustibles carbonosos sólidos, tales como el carbón, carbohidratos sólidos, como los azúcares; las linginas y celulosas sólidas, como la madera, la paja, el esparto y otras materias vegetales similares, y los plásticos termoendurecibles, que no funden. En estas últimas materias, la combustión empieza con llama y pasa de forma gradual hacia una fase sin llama, durante la cual ambos modos actúan simultáneamente. Al final cesa la llama y prosigue la combustión residual sin llama.



Algunos ejemplos de combustión sin llamas son la del carbono puro y la de algunos metales fácilmente oxidables, como el magnesio, aluminio, circonio, uranio, sodio, potasio, etc.

Estos últimos arden con temperaturas característicamente altas, que oscilan entre 1500°C y 2000°C.

En la combustión incandescente o sin llama no se producen reacciones en cadena, por lo que estas combustiones pueden representarse por medio del clásico triángulo del fuego.





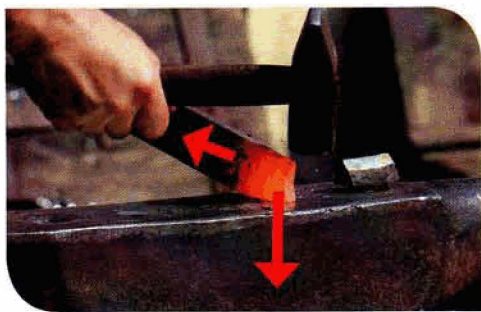
## 1.6 TRANSMISIÓN DE CALOR

El calor o energía térmica, se transmite por tres mecanismos diferentes:

- **Conducción.**
- **Convección.**
- **Radiación.**

### 1.6.1 CONDUCCIÓN

Si un extremo de una barra metálica se coloca en una llama mientras el otro se sostiene con la mano, se observará que esta parte de la barra se va calentando cada vez más, aunque no está en contacto directo con la llama. Decimos que el calor alcanza el extremo frío de



*Transmisión de calor por conducción*

la barra por conducción a lo largo o a través de la sustancia que la forma. Las moléculas del extremo caliente aumentan la violencia de su vibración si se eleva la temperatura de dicho extremo. Entonces, cuando chocan con sus vecinas que se mueven más lentamente, parte de su energía cinética es compartida con ellas, que la transmiten a su vez a las situadas más lejos de la llama. Por consiguiente, la energía de la agitación térmica se transmite a lo largo de la barra de una molécula a otra, si bien cada molécula permanece en su posición inicial.

Es bien sabido que los metales son buenos conductores de la electricidad y así mismo buenos conductores del calor. La aptitud de los metales para conducir la corriente eléctrica es debida al hecho de que en su interior hay electrones llamados libres, esto es, electrones que se han desprendido de los átomos de donde procedían. Los electrones libres toman parte también en la propagación del calor y son causa de que los metales sean tan buenos conductores de aquél; en efecto, lo mismo que las moléculas, participan en el proceso de transmitir la energía térmica de las partes más calientes a las más frías del metal.

La conducción del calor puede únicamente tener lugar cuando las distintas partes del cuerpo se encuentran a temperaturas diferentes, y la dirección del flujo calorífico es siempre de los puntos de mayor a los de menor temperatura. A veces la definición de igualdad o desigualdad de temperaturas se basa en el fenómeno del flujo calorífico; esto es, si el calor pasa de un cuerpo a otro cuando ambos se encuentran en contacto, la temperatura del primero es, por definición, mayor que la del segundo, y si no hay paso de calor del uno al otro, sus temperaturas son iguales.

Experimentalmente se ha encontrado que la cantidad de calor que atraviesa una superficie es directamente proporcional a dicha superficie y a la diferencia de temperaturas, e inversamente proporcional al espesor. La constante de proporcionalidad  $K$  es el coeficiente de conductividad térmica del material. En el Sistema Internacional se le designa también por la letra  $\lambda$ .

Cuanto mayor sea la conductividad térmica  $K$ , tanto mayor será la cantidad de calor que pase por unidad de tiempo, si los demás factores permanecen iguales. Una sustancia para la cual  $K$  es grande es un buen conductor, mientras que si  $K$  es pequeño, el material es mal conductor o un buen aislante. No hay ninguna sustancia que sea conductor perfecto ( $K = 1$ ). La tabla en la que figuran algunos valores típicos de la conductividad térmica, demuestra que los metales forman un grupo que tiene mucha mayor conductividad térmica que los no metales.

Para que tenga lugar la transmisión de calor por conducción, es imprescindible la presencia de materia, ya que como se ha indicado anteriormente, el calor se transmite por las vibraciones de las moléculas. Cuanto mayor es el grado de disgregación de la materia, menor es la conducción de calor, que se transmite mejor en los sólidos que en los líquidos, y en éstos mejor que en los gases. En el vacío absoluto, el calor no se transmite por conducción.



*Transmisión de calor por conducción*

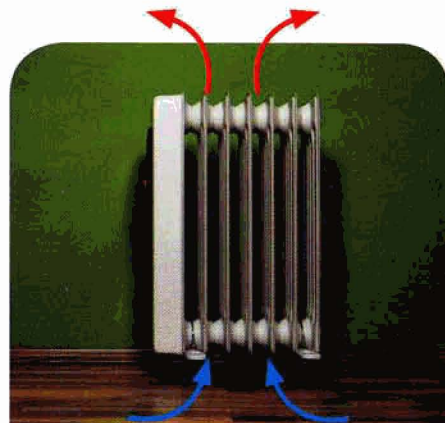


| MATERIALES                       |                   | K (cal.cm/seg.<br>cm <sup>2</sup> . °C) |
|----------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|
| Metales y Aleaciones             | ACERO             | 0,12                                    |
|                                  | ALUMINIO          | 0,49                                    |
|                                  | COBRE             | 0,92                                    |
|                                  | LATÓN             | 0,26                                    |
|                                  | MERCURIO          | 0,02                                    |
|                                  | PLATA             | 0,97                                    |
|                                  | PLOMO             | 0,083                                   |
| Varios Sólidos (Valores Típicos) | AMIANTO           | 0,0001                                  |
|                                  | CORCHO            | 0,0001                                  |
|                                  | FIELTRO           | 0,0001                                  |
|                                  | HIELO             | 0,004                                   |
|                                  | HORMIGÓN          | 0,002                                   |
|                                  | LADRILLO AISLANTE | 0,00035                                 |
|                                  | LADRILLO REFRACTA | 0,0025                                  |
|                                  | LADRILLO ROJO     | 0,0015                                  |
|                                  | MADERA            | 0,0003-0,0001                           |
| Gases                            | VIDRIO            | 0,002                                   |
|                                  | AIRE              | 0,000057                                |
|                                  | ARGÓN             | 0,000039                                |
|                                  | HELIO             | 0,00034                                 |
|                                  | HIDROGENO         | 0,00033                                 |
|                                  | OXÍGENO           | 0,000056                                |

*Coeficientes de conductividad térmica.*

## 1.6.2 CONVECCIÓN

La expresión convección se aplica a la propagación del calor de un lugar a otro por un movimiento real de la sustancia caliente. Son ejemplos de éstos la estufa de aire caliente y el sistema de calefacción por agua caliente. Si la sustancia se mueve por flotabilidad o diferencia de densidad provocada por la diferencia de temperatura, el proceso se denomina convección natural o libre. Si la sustancia es obligada a moverse por un ventilador o una bomba, el proceso se denomina convección forzada.



La teoría matemática de la convección del calor es muy complicada y no existe ninguna ecuación sencilla para la convección, como la que hay para la conducción. Esto es debido al hecho de que el calor ganado o perdido por una superficie a determinada temperatura, en contacto con un fluido a otra temperatura distinta, depende de muchas circunstancias, entre otras:

- 1.- de que la superficie sea plana o curva,
- 2.- de que sea horizontal o vertical,
- 3.- de que el fluido en contacto con la superficie sea líquido o gas,



*Transmisión de calor por convección*

- 4.- de la densidad, viscosidad, calor específico y conductividad térmica del fluido,
- 5.- de que la velocidad del fluido sea suficientemente pequeña para producir un régimen laminar o lo bastante grande para originar un régimen turbulento,
- 6.- de si tiene lugar evaporación, condensación o formación de películas.





### 1.6.3 RADIACIÓN

Cuando colocamos la mano en contacto directo con un radiador de calefacción de agua caliente o vapor, el calor alcanza la mano por conducción, a través de las paredes del radiador. Si la mano se mantiene ahora encima del radiador, pero no en contacto con él, el calor alcanza la mano por medio de un movimiento de convección hacia arriba de las corrientes de aire. Si se coloca la mano a un lado del radiador todavía se calienta, aunque no está en la trayectoria de las corrientes de convección. La energía llega ahora a la mano por radiación.

una temperatura de 100°C (373°K) irradia aproximadamente 300.000 ergios/seg., o sea, 0,03 w por cada centímetro cuadrado de su superficie. A la temperatura de 500°C (773°K) emite aproximadamente 0,54 w por centímetro cuadrado, y a 1000°C (1273°K) irradia alrededor de 4 w/cm<sup>2</sup>. Esta cantidad es 130 veces mayor que la emitida a la temperatura de 100°C.

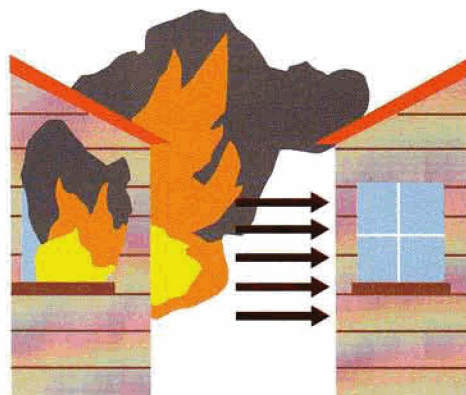
La cantidad de calor recibida por radiación por un cuerpo es una función directamente proporcional a la 4ª potencia de la temperatura del cuerpo radiante e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa,  $Q = f(T^4 / d^2)$ .



*Un ejemplo de transmisión por radiación es la energía que nos llega desde el sol*

La expresión radiación se refiere a la emisión continua de energía desde la superficie de todos los cuerpos. Esta energía se denomina energía radiante y se encuentra en forma de ondas electromagnéticas que se propagan con la velocidad de la luz y se transmiten a través del vacío lo mismo que a través del aire. (En realidad mejor que en el aire, puesto que son absorbidas por éste en cierta proporción). Cuando inciden sobre un cuerpo que no es transparente a ellas, como la superficie de la mano o las paredes de la habitación, son absorbidas y su energía es transformada en calor.

La energía radiante emitida por una superficie por unidad de tiempo y por unidad de área, depende de la naturaleza de la superficie y de su temperatura. A bajas temperaturas, la radiación por unidad de tiempo es pequeña y la energía radiante es casi toda ella de longitud de onda relativamente grande. Cuando la temperatura aumenta, la radiación por segundo, crece muy rápidamente, siendo proporcional a la cuarta potencia de la temperatura. Por ejemplo, un bloque de cobre a



*Transmisión de calor por radiación*



## 1.7 PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN

Los productos de combustión se pueden dividir en cuatro categorías:

- Gases de combustión
- Llamas
- Calor
- Humos

### 1.7.1 GASES DE COMBUSTIÓN

Es la parte gaseosa de los productos de combustión que permanece en el aire al retornar los productos de combustión a las temperaturas normales.

La mayor parte de los materiales combustibles contienen carbono, que al quemarse forma anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), si la concentración de aire es suficiente y la combustión es completa. También puede producirse monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) si dicha concentración es baja. En general, salvo cuando hay previamente una mezcla de aire combustible, la concentración de aire en la zona de combustión suele ser baja.

Estos dos, unidos al vapor de agua, son los gases de combustión más abundantes en los incendios, pero hay otros compuestos que habitualmente se producen en los siniestros, tales como el amoníaco, anhídrido sulfuroso, ácido cianhídrico, óxidos de nitrógeno, fosgeno y ácido clorhídrico. Los gases que se generan dependen de muchos factores, siendo los principales, la composición química del combustible, la cantidad de oxígeno disponible y la temperatura alcanzada.

Se ha demostrado que en los incendios, los fallecimientos producidos por inhalación de gases o aire caliente son mucho más numerosos que el total de muertos debido a todos los demás agentes en conjunto. La toxicidad de dichos gases depende de la composición, de la concentración, de la duración de la exposición y del estado físico de las personas.

Algunos de dichos gases son corrosivos, por lo que afectan no sólo a las personas, sino que también producen daños materiales, por ejemplo el ácido clorhídrico.

### 1.7.2 LLAMAS

Cuando la combustión se produce en una atmósfera con concentración normal de oxígeno, suele ir acompañada por una radiación luminosa o llamas.

La llama es una zona de gases incandescentes visibles alrededor de la superficie del material en combustión. La llama no es sino un gas incandescente, y si el combustible que arde es sólido o líquido, la presencia de llamas denota la emisión de gases o vapores por efecto del calor.

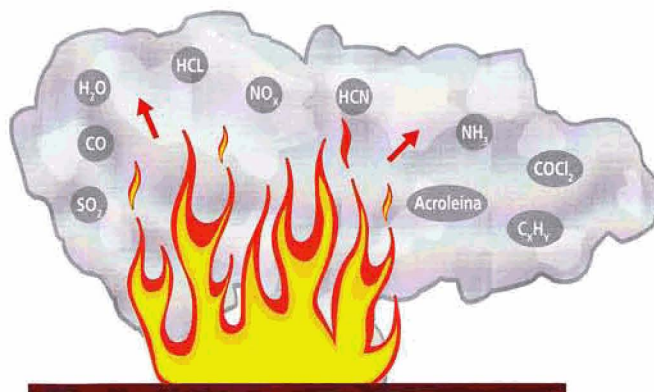
La combustión completa de materiales orgánicos produce llamas prácticamente incoloras, y el color que ofrecen en la mayoría de los casos se debe a la presencia de partículas sólidas, generalmente de carbono, que



27

arden en el seno de las mismas. Sin embargo, las llamas de algunos compuestos son de diferentes colores, por ejemplo, las sales de sodio producen llamas color amarillo, las de calcio, rojo, las de cobre, verde, las de potasio, violeta, etc.

El color de la llama depende, además de la composición química del combustible, de la cantidad de oxígeno presente; así 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 algunos casos se producen combustiones sin llama, tal como se indicó en el apartado 3.2. La radiación luminosa emitida en estos casos, se conoce como incandescencia o ascuas. Esta radiación es de mayor longitud de onda, ya que se encuentra en la zona del rojo y del infrarrojo, y por tanto de menor energía.

La exposición directa a la llama produce quemaduras a las personas y daños materiales, ya que las llamas, por medio del calor que irradian, propagan el fuego.

### 1.7.3 CALOR

De todos los productos de combustión, el calor es el principal responsable de la propagación del fuego.

El calor es una forma de energía, consecuencia de los movimientos constantes de las moléculas, las cuales en el seno de la materia, están entrechocándose constantemente. Cuanto mayor es la energía cinética de las moléculas, mayor es la violencia de los choques entre ellas y el calor desprendido. La temperatura de un cuerpo cuyas moléculas se hallaran en un estado total de reposo, sería la del cero absoluto ( $0^{\circ}\text{K}$  o  $-273, 16^{\circ}\text{C}$ ). Al aumentar la energía cinética de las moléculas, los choques tienen por efecto separarlas unas de otras, de ahí la dilatación que experimentan los cuerpos al aumentar la temperatura.

La temperatura es resultado del estado térmico de los cuerpos, es decir, su mayor grado de frío o de calor. La temperatura es una magnitud que permite expresar el grado de calentamiento de los cuerpos. El calor desprendido por un cuerpo, como ya se ha indicado, sería nulo si sus moléculas permanecieran en perfecto estado de reposo. Por ello se atribuye a dicho estado el valor de cero absoluto.

El calor emitido en un incendio y la elevación de la temperatura que conlleva pueden producir daños, tanto a las personas como a los bienes materiales. La exposición al aire caliente puede causar directamente deshidratación, agotamiento, bloqueo de las vías respiratorias y quemaduras.

El calor intensifica el ritmo cardíaco. Cuando su intensidad excede el umbral de la tolerancia humana, es mortal.

Los elementos de construcción ven afectadas sus propiedades mecánicas e incluso sus composiciones químicas por efecto del calor.

### 1.7.4 HUMO

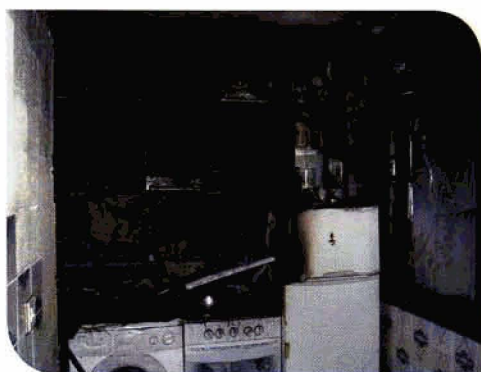
El humo es la parte visible de los efluentes de la combustión\*. Está formado por pequeñas partículas sólidas parcial o totalmente quemadas y por vapor condensado en suspensión en el aire y en los gases de combustión. El color, tamaño y cantidad de estas partículas determinan el espesor del humo. También el vapor de agua condensado espesa el humo.

El principal peligro del humo es que reduce la visión. El humo puede ocultar señales y vías de evacuación, dando lugar a confusión y pánico, en especial en zonas desconocidas.

El humo afecta por irritación de las mucosas, en especial en los ojos y en las vías respiratorias, lo que contribuye a aumentar el pánico.

Cuando la proporción de humo, aire caliente y gases es elevada, y por tanto la proporción de oxígeno es baja, se llega a producir la asfixia, que puede conducir a la inconsciencia e incluso a la muerte.

En los incendios también se pueden producir daños materiales por humo, muy importantes.





# 2

## TEORÍA DEL FUEGO

2.1. CONCEPTOS PREVIOS

2.2. COMPORTAMIENTO DE LA  
MATERIA SEGÚN SU ESTADO  
FÍSICO

2.3. PIRÓLISIS

2.4. INFLAMABILIDAD DE LOS GASES  
DE INCENDIO

2.5. FUENTES DE IGNICIÓN

2.6. TIPO DE LLAMAS



# 2. TEORÍA DEL FUEGO



30

## 2.1 CONCEPTOS PREVIOS

Supongamos que queremos que un material se inflame y comience el proceso de combustión (por ejemplo un trozo de madera en un espacio exterior), para lo que le aplicamos una llama (es decir, una fuente de energía). Cuando esta llama lleva un cierto tiempo incidiendo sobre el material observamos que éste comienza a emitir una serie de vapores, por lo general de color blanco. La llama ha elevado la temperatura del combustible y como nuestro material en general es poroso, tiende a retener agua en su interior. Los humos blanquecinos que se desprenderán en este caso corresponden al vapor de agua que se ha liberado procedente del agua contenida en la estructura del material. De hecho si separamos estos humos e intentamos su ignición acercando otra llama, observamos que no arden, es más, dependiendo de su cantidad podrán incluso extinguir la llama.



Si seguimos aplicando nuestra llama al material inicial, observamos como el humo que se desprende comienza a hacerse más denso y, si lo observamos con atención, vemos como con el tiempo aumenta la velocidad con que éste se produce hasta que llega un momento en que en el seno de este humo o gases comienzan a aparecer algunas pequeñas lenguas de fuego.

En principio observamos el fenómeno de la aparición de un mayor volumen de gases. Mediante nuestro proceso de aporte energético a un material en estado sólido constatamos que éste no arde de forma directa en dicho estado, sino que por efecto del calor se generan gases que llegan a ser combustibles. De hecho, si aproximamos una llama a los gases que se están generando vemos que estos se quieren inflamar. Mediante el aporte de energía en este caso proporcionada por la llama durante un cierto periodo de tiempo, hemos sido capaces de transformar parte de este material sólido en gases, algunos de los cuales además son inflamables.

Si mantenemos presente la fuente de energía, a medida que el tiempo transcurre, los gases procedentes del material se generan con mayor velocidad y por tanto van adquiriendo mayor volumen, hasta que llega un momento en que las pequeñas trazas de llama iniciales se convierten en una llama consistente y mantenida, mientras los humos se reducen de forma importante.

Si aceptamos como hecho que nuestro sólido inicial se ha descompuesto en subproductos gaseosos, es lógico pensar que éstos son los que componen el humo inicial infla-



mable. Estos gases en presencia de una fuente de energía suficiente son capaces de arder y de generar un efecto de luz y calor, que es lo que conocemos como llama.

Hemos partido de una estructura sólida en la cual sus componentes se mantenían unidos por una fuerza o energía determinada y hemos aplicado la suficiente cantidad de energía como para poder romper esta cohesión generando una serie de productos distintos del original, que en este caso se inflaman. Este fenómeno se llama pirólisis. Desde un punto de vista energético, estos productos están dispuestos a liberar mayor energía que los originales. Estos productos energéticamente inestables tienden a estabilizarse formando otros productos más estables, o lo que es lo mismo, de una energía más baja.

Estos subproductos de la pirólisis, "energéticamente inestables" y dispuestos a combinarse liberando energía en muchos de los casos, son lo que conocemos como radicales libres.

Los gases de pirólisis se mezclan con el aire, el cual contiene un 21% de oxígeno con una capacidad muy grande para combinarse con estos productos activos y para generar compuestos estables como por ejemplo agua ( $H_2O$ ) o dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

Mediante la reacción con el oxígeno, se originan nuevos compuestos estables de energía mucho menor que

la de los "productos activados". La gran cantidad de energía liberada durante todo este proceso, se ha disipado en forma de luz y calor, que es lo que entendemos como llama.

De esta forma hemos descrito el proceso de la combustión con llama, conocida como fuego, y que no deja de ser una "reacción de oxidación exotérmica, en la que interviene el oxígeno del aire y que como resultado genera un fenómeno de luz y calor". Es precisamente este calor generado el que se encarga de cerrar el ciclo, es decir, no seguiremos necesitando la fuente inicial de calor para que este proceso se mantenga por sí mismo, o se autosustente, ya que el aporte de energía que necesitamos lo está produciendo el mismo proceso de reacción.

Cuando la reacción alcanza este estado "cíclico", es a lo que se refiere cuando se habla de reacción en cadena, la cual se mantendrá mientras nos quede el combustible primario, es decir, el sólido inicial.

Una vez analizado el proceso desde el inicio del incendio hasta que éste es capaz de automantenerse, y antes de continuar analizando las diferentes circunstancias que pueden darse en su desarrollo posterior, vamos a considerar algunos aspectos técnicos que nos permitan comprender el fenómeno en un contexto más amplio. Para ello vamos a ver como se comportan los materiales ante el fuego según el estado físico en que se encuentran.

31

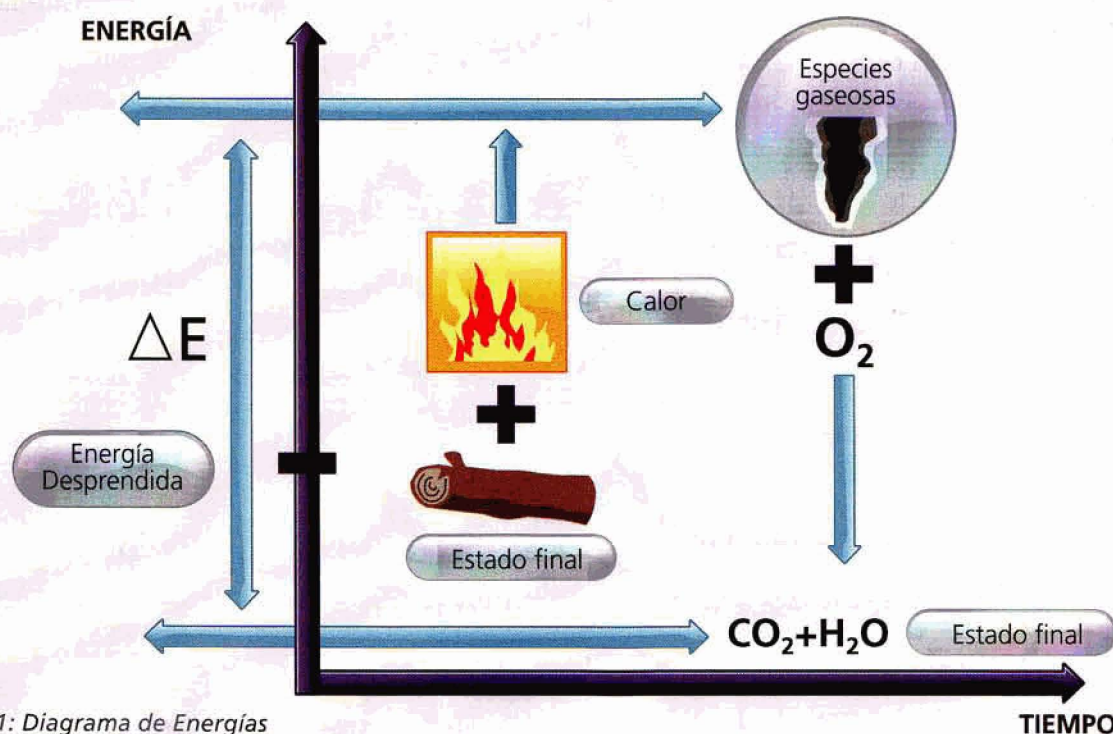


Figura 1: Diagrama de Energías





## 2.2 COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA SEGÚN SU ESTADO FÍSICO

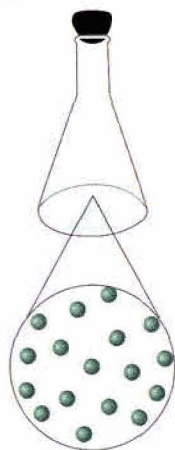
### 2.2.1 ESTADO GASEOSO

Los gases son fluidos y, al igual que los líquidos, pueden tener diferentes densidades y flotar unos sobre otros, como en el caso del aire sobre el butano, y son capaces de disolverse o mezclarse en el seno de otros, como en el caso del propio aire donde coexisten entre otros el nitrógeno y el oxígeno.

Los gases tienden a ocupar todo el espacio disponible (puede observarse en la vaporización del agua, o en el efecto de un extintor de CO<sub>2</sub>) debido a que las partículas que lo componen no están unidas entre sí con demasiada fuerza (o energía). Estas partículas tienden a dispersarse en el entorno donde se les deja y precisamente por esta razón la movilidad de las partículas que los componen así como su capacidad de difusión son en general grandes.

#### Características

- Enlaces entre partículas débiles (de poca energía).
- Gran capacidad de movilidad y difusión.
- Tendencia a ocupar todo el espacio disponible.



Moléculas de Butano

La forma en que la aplicación de una fuente de calor (energía) afecta a una materia en estado gaseoso seguirá el siguiente proceso.

Al encontrarse la materia en estado gaseoso, a diferencia de cuando se encuentra en otros estados de agregación, no precisamos de un aporte previo de energía para alcanzar esta fase.

Mediante el aporte inicial de energía, obtendremos la descomposición de la molécula de gas en unos productos secundarios que denominamos "productos activados", cuyas moléculas pueden ser altamente energéticas o reactivas. Estas tenderán a alcanzar un estado de equilibrio, y lo consiguen combinándose con el oxígeno del aire, generando en la reacción una gran cantidad de energía. Los productos generados, en gran parte dióxido de carbono y agua, van a ser mucho más estables que los originales.

Si tomamos como ejemplo la combustión del metano (CH<sub>4</sub>), el esquema del proceso es el siguiente:



Donde  $\Delta E$  representa la energía liberada por la reacción.

Para hacernos una idea de los valores de los que estamos hablando, diremos que la energía necesaria para activar un gramo (aproximadamente 1,4 litros en condiciones normales) de metano es de unas 750 calorías mientras que la energía liberada por la misma cantidad en el proceso de combustión,  $\Delta E$ , es de 11.875 calorías.

Finalmente, debemos decir también que en estado gaseoso la velocidad a la que transcurre el proceso es muy alta con lo cual el desprendimiento de energía puede manifestarse en forma de onda de choque.

### 2.2.2 ESTADO LÍQUIDO

En el estado líquido, a diferencia que en el estado gaseoso, las partículas se encuentran unidas con una mayor cohesión. La materia en este estado presenta una movilidad menor y su capacidad de difundirse queda limitada por su tensión superficial, por lo que los líquidos tienden a adaptarse a la forma del contenedor donde se les aloja.

#### Características

- Enlaces entre partículas muy fuertes.
- Capacidad de movilidad de partículas prácticamente nula.
- Tienen forma propia y definida.

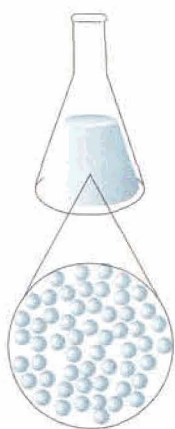
En consecuencia la energía que necesitaremos para activar un combustible líquido será mayor que en el caso de los gases, ya que deberemos conseguir como paso previo convertir al menos una cantidad mínima del material en estado gaseoso rompiendo así su cohesión



molecular, lo cual supone un aporte extra de energía para provocar el cambio de estado.

La energía que deberemos aplicar será como mínimo la suficiente como para conseguir transformar un mínimo número de moléculas gaseosas activadas del producto para que pueda tener lugar el proceso de combinación con el oxígeno.

A partir de este momento el proceso se desarrollará igual que si de un gas se tratase, aunque las reacciones son menos energéticas que con los gases.



Estado líquido

### 2.2.3 ESTADO SÓLIDO

Desde un punto de vista energético, se precisa aportar una cantidad de energía mayor que en los casos anteriores para conseguir la activación del producto sólido y romper así su cohesión molecular.

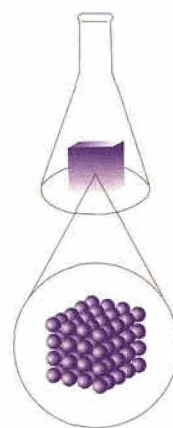
La energía aplicada debe ser la suficiente para hacer que las partículas abandonen las posiciones que ocupan en la estructura del material y pasen a la fase gaseosa.

Una vez en fase gaseosa, deberá existir una mínima concentración necesaria para que comience la reacción. A partir de este momento el proceso se desarrollará igual que si se tratase de un gas.

La cantidad de energía necesaria en este estado, es mayor que en los casos de los líquidos y de los gases. Normalmente las reacciones son menos energéticas que con líquidos o gases, debido básicamente al carácter de los productos obtenidos como consecuencia de la transformación en gases, ya que éstos por lo general no suelen ser muy energéticos, salvo en ciertos casos como los explosivos y los productos sólidos sintéticos.

### Características

- Enlaces entre partículas muy fuertes.
- Capacidad de movilidad de partículas prácticamente nula.
- Tienen forma propia y definida.



Estado sólido

## 2.3 PIRÓLISIS

Pirólisis es la parte del proceso de descomposición química irreversible de una sustancia causada por el incremento de temperatura\*. Cuando se aplica calor a una sustancia, se produce una reacción química que lo descompone en sustancias nuevas.

La sustancia original se descompone en moléculas (el elemento más pequeño que puede existir independientemente) que vuelven a unirse con otras formando sustancias nuevas.

*Por ejemplo, aunque la madera es una mezcla de tres polímeros naturales: celulosa, lignina y hemicelulosas, que guardan una relación aproximada de 50:25:25, básicamente está formada por hidrógeno (H), carbono (C) y oxígeno (O<sub>2</sub>), siendo la fórmula química C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>*

*Del destilado de la pirólisis de la madera se pueden recuperar varios productos químicos orgánicos volátiles. El ácido acético, el alcohol metílico y la acetona se obtenían antes exclusivamente de la destilación de la madera, lo que condujo a que se designara al metanol con el nombre corriente de alcohol de madera.*





## 2.4 INFLAMABILIDAD DE LOS GASES DE INCENDIO

El análisis de la inflamabilidad de los gases procedentes de la pirólisis debe considerarse como el de cualquier otro gas inflamable. Sin embargo, existe un factor que diferencia claramente unos de otros. Mientras los gases denominados inflamables suelen ser gases de composición simple, es decir, de un solo componente (butano, propano, etc.), los gases de pirólisis y de combustión están compuestos por una mezcla de diferentes componentes que son función de los materiales que intervienen en el proceso y de las propias condiciones del incendio (cantidad de oxígeno presente, temperatura, etc.). Precisamente esta característica, hace que sea difícil aplicar los criterios de inflamabilidad de un gas simple a los gases de incendio, con lo que ello comporta.

Así pues, resulta difícil determinar con exactitud tanto los límites de inflamabilidad de estos gases como su propio rango, el cual, además, se ve influenciado en el caso de un incendio por la temperatura y la concentración de oxígeno, pudiendo incluso no presentar inflamabilidad si la temperatura no es lo suficientemente elevada o si la riqueza de los gases no es suficiente.

Vamos a analizar en que consisten estos límites y cómo varían en función de las condiciones del incendio.

### 2.4.1 LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

En una mezcla de gases, como las que componen los gases de incendio, existen una serie de moléculas diferentes entre sí sometidas a la acción del calor. Este calor, como forma primaria de energía, transfiere movimiento a estas moléculas, además del que poseen por ellas mismas.

En este estado, las moléculas de gas más ligeras se mueven con mayor rapidez que las más pesadas, provocándose choques entre ellas que hacen que la energía interna del gas aumente, tanto por parte de las moléculas ligeras como de las pesadas.

A medida que este calor aumenta las moléculas incrementan su movimiento aumentando paulatinamente el número de choques entre ellas y por consiguiente su nivel energético.

El progreso de esta situación nos conduce a un estadio, en el cual la energía acumulada por el gas es superior a la energía que cohesiona las moléculas, y estas acaban por romperse por efecto de los choques, es decir, se desintegran.

Si existe oxígeno suficiente y una fuente de ignición en los alrededores, el combustible activado en contacto con el oxígeno se inflamará. El aporte de oxígeno al combustible (oxidación) genera una reacción que desprende calor (exotérmica) gracias a la energía (calor) aportada por el mecanismo antes descrito (podemos reconocer si se quiere el triángulo del fuego).

La inflamabilidad de un gas es, por tanto, una consecuencia mecánico-química favorecida por una fuente de energía que es el calor, pero pueden existir otras fuentes de ignición, de origen distinto como pueden ser ondas de choque, o la combinación de ondas de choque y calor.

Analicemos a continuación la influencia de la presencia de oxígeno en la ignición de los gases.

#### 2.4.1.1 LÍMITE INFERIOR DE INFLAMABILIDAD

La sola disgregación de las moléculas no es suficiente para que la inflamación se produzca. Además es necesario que el número de moléculas que se disgregan sea el suficiente para que, con el también imprescindible oxígeno del aire y la energía de activación, comience la reacción de combustión.

El número mínimo de moléculas de combustible que se precisa para que esta ignición se produzca, constituye la concentración de gas de incendio mínima necesaria para que éste se inflame en una reacción de combustión con el oxígeno. Al valor de esta concentración con respecto al volumen total de gases en un recinto se le denomina como el **Límite Inferior de Inflamabilidad (L.I.I.)** el cual se mide como porcentaje en volumen.

Aplicado a un caso real, consideremos una habitación, como por ejemplo la cocina de cualquier casa. Si abrimos la espita del gas y a la vez en el otro extremo de la estancia alguien encendiese un mechero, no ocurriría ningún efecto sobre el gas que fuga de la cocina, sin embargo si dejamos que el gas se vaya dispersando en el recinto y mantenemos la llama encendida al cabo de un cierto tiempo se produciría la inflamación del gas.

Este hecho es debido a que, si por ejemplo se trata de gas propano, para comenzar la ignición será necesario que en la zona de contacto con la fuente de ignición la concentración del gas alcance el 2% del volumen total. A este porcentaje es a lo que se denomina L.I.I. Por debajo de este valor no obtendremos inflamación en condiciones normales.



### 2.4.1.2 LÍMITE SUPERIOR DE INFLAMABILIDAD

Si seguimos con la experiencia anterior, pero esta vez dejamos que la cocina se llene de gas propano, sin que exista una llama o fuente de ignición presente, observaremos que pasado un cierto tiempo, cuando intentemos encender la llama, curiosamente no se producirá ningún efecto. Esto se debe a que cuando la concentración de gas propano supera el valor del 10% del volumen total, la cantidad de oxígeno presente en el recinto no es suficiente para inflamar la cantidad de gas existente.

A esta concentración de gas por encima de la cual no es posible que exista combustión, se le denomina **Límite Superior de Inflamabilidad (L.S.I.)**.

Si representásemos de forma gráfica la curva de la intensidad de la reacción en función de la concentración de combustible, obtendríamos algo similar a lo representado en la figura 5.

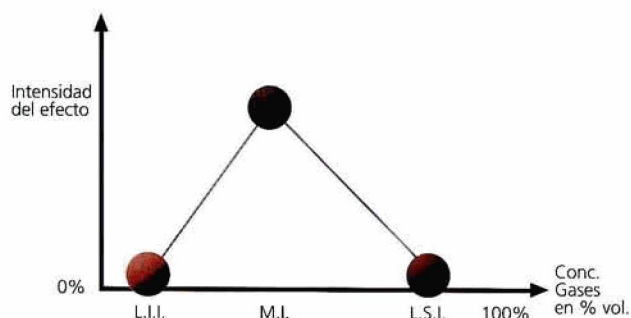


Figura 5: Límites de Inflamabilidad

### 2.4.1.3 RANGO DE INFLAMABILIDAD

Entre los valores comprendidos entre el L.I.I. y el L.S.I. existe una gama de concentraciones de gas que cuando se combinan con el oxígeno del aire son inflamables. A esta gama o rango de concentraciones se le denomina **Rango de Inflamabilidad**.

Para cada gas o mezcla de gases existe una cierta concentración que es exactamente la necesaria para que su combinación con el oxígeno produzca una reacción de rendimiento al 100%. En este punto es donde mayor y más notable se hace la intensidad de la combustión, y se le denomina **Mezcla Ideal (M.I.)**.

Es en este punto donde la mezcla, en proporciones estequiométricas, arde a la perfección, mientras que cerca de los límites lo hace con cierta dificultad.

A continuación se presenta una tabla donde se pueden apreciar algunos de los valores típicos de inflamabilidad de algunos gases:

| Producto            | Límite Inferior | Mezcla Ideal | Límite Superior |
|---------------------|-----------------|--------------|-----------------|
| Acetato de etilo    | 2.2             | 4.0          | 11.4            |
| Acetileno           | 2.5             | 7.4          | 81.0            |
| Acetona             | 2.0             | 4.8          | 13.0            |
| Amoníaco            | 15.0            | 21.0         | 28.0            |
| Benceno             | 1.4             | 2.6          | 7.0             |
| Butano              | 1.8             | 3.0          | 8.4             |
| Etano               | 3.0             | 5.4          | 12.5            |
| Etanol              | 3.0             | 6.0          | 19.0            |
| Gasolina            | 0.7             | 1.6          | 7.0             |
| Hidrógeno           | 4.0             | 28.8         | 75.0            |
| Metano              | 5.0             | 9.0          | 15.0            |
| Metanol             | 6.0             | 12.0         | 37.0            |
| Monóxido de Carbono | 12.5            | 28.8         | 74.0            |
| Pentano             | 1.4             | 2.4          | 7.8             |
| Propano             | 2.1             | 4.0          | 9.5             |
| Tolueno             | 1.2             | 2.2          | 7.0             |

Límites de Inflamabilidad

### 2.4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RANGO DE INFLAMABILIDAD

Fundamentalmente son dos los factores que influyen en el rango de inflamabilidad: la temperatura y la concentración de oxígeno.

- **El efecto de la temperatura** es especialmente importante, ya que la temperatura afecta tanto al combustible como al comburente. El aumento de temperatura actúa sobre dos factores. Por un lado el aporte de energía calorífica al combustible hace que éste se aproxime a la temperatura de inflamación del material y en consecuencia que concentraciones menores puedan resultar inflamables. Por otro lado la mayor temperatura del comburente disminuye el efecto refrigerante del aire del recinto.

De esta manera cuando la temperatura aumenta el rango de inflamabilidad se modifica tendiendo a desplazar el valor del L.I.I. hacia el valor cero en la misma proporción en que tiende a desplazar el valor del L.S.I. hacia





valores más elevados con lo cual el rango o intervalo de inflamabilidad se amplía tal y como se muestra en la figura 6.

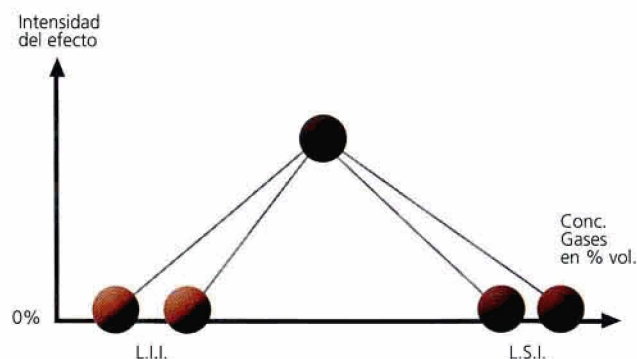


Figura 6: Variación del Rango de Inflamabilidad con el incremento de  $T^a$

36

• **La variación en la concentración de oxígeno** afecta a los límites de inflamabilidad de forma distinta. Por una parte, en el L.I.I. la mezcla apenas es inflamable debido a la pobre concentración de combustible. Si el contenido de oxígeno en el aire es normal o bajo, apenas va a influir en el inicio de la combustión ya que las concentraciones de oxígeno en este límite están en exceso.

El descenso de la concentración de oxígeno en el aire provocará un descenso del valor de la mezcla ideal que afectará al L.S.I. de forma lineal, es decir, cuanto menor sea la cantidad de oxígeno disponible en el aire más descenderá el valor de la mezcla ideal y en consecuencia el descenso del L.S.I. será aún más rápido. Expresado en otros términos, la reducción de oxígeno durante el incendio por falta de ventilación, provocará que la atmósfera alcance antes los valores superiores del rango.

Una representación esquemática de este fenómeno puede observarse en la figura 7.

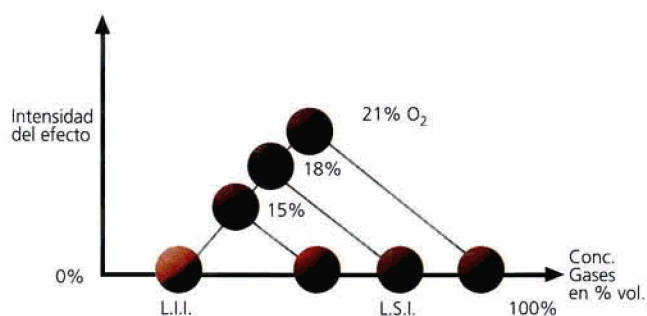


Figura 7: Variación del M. I. con la Concentración de Oxígeno

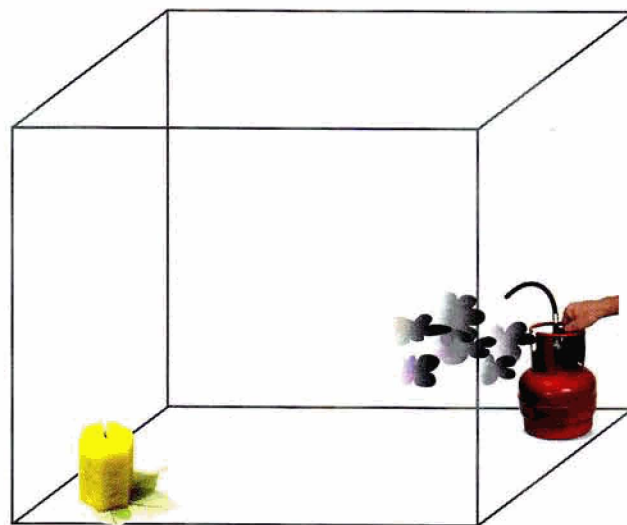
## 2.5 FUENTES DE IGNICIÓN

Las fuentes de ignición juegan un papel importante en un incendio ya que, dependiendo del tipo de fuente y del momento en que se presente, su efecto alcanzará una mayor o menor magnitud. Ya hemos visto, en el apartado sobre energía de activación, los diferentes tipos de fuentes o focos de ignición en cuanto a su origen.

En cuanto a su situación en el espacio y en el tiempo podemos distinguir tres clases de fuentes:

- **Abiertas.**
- **Ocultas.**
- **Intermitentes.**

**Las fuentes de ignición abiertas** son aquellas que permanecen constantemente activas en presencia de una fuga de gas o de una mezcla de gases, como en el caso del propio foco del incendio durante la evolución del mismo. Con este tipo de fuentes la ignición siempre se produce en el L.I.I..



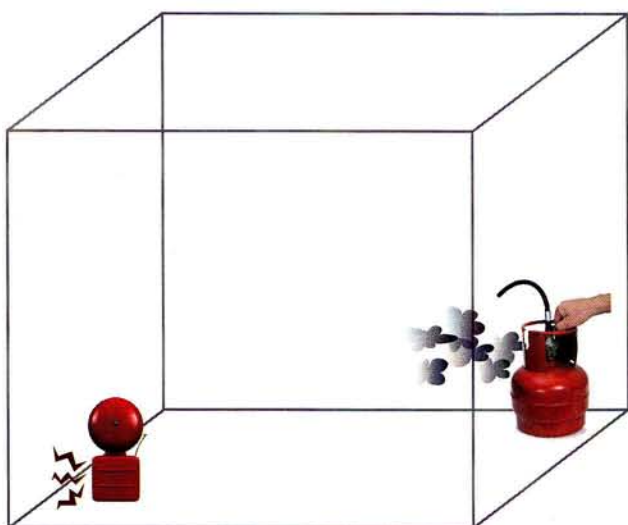
**Las fuentes de ignición ocultas** son aquellas que permaneciendo constantemente activas, no actúan directamente sobre la capa de gases. Este puede ser el caso de un quemador de gas que permanece dentro de su hornacina, como consecuencia permanece un poco al margen de la concentración de gases alrededor del receptáculo. Por lo general este tipo de fuente retrasará la ignición de la mezcla y en consecuencia cuando ésta se inflama se producirá un efecto más o menos grande dependiendo del punto del rango de inflamabilidad



donde se encuentre en ese momento la concentración de gases.



**Las fuentes de ignición intermitentes** son aquellas que se activan de forma esporádica como, por ejemplo, la puesta en marcha de una nevera o el zumbador de un timbre. Al igual que en el caso anterior el tipo de efecto a que dan lugar será en función de la concentración de gases en el momento en que ésta se active.



## 2.6 TIPOS DE LLAMA

### 2.6.1 LLAMAS DE DIFUSIÓN

Son las llamas que de forma natural se generan en un incendio y con las que se encuentran los bomberos en sus intervenciones. Este tipo de llama se forma en el lugar donde el combustible y el aire se encuentran, sin mezcla previa.

La difusión simplemente supone una mezcla por contacto superficial entre dos volúmenes, y en el contexto de las llamas, es donde el gas inflamable (o vapor) se encuentra de forma natural con el oxígeno que hay en el aire y donde tiene lugar la combustión. La zona donde se produce este fenómeno es poco extensa y se llama la zona de reacción.



*Llama difusión*

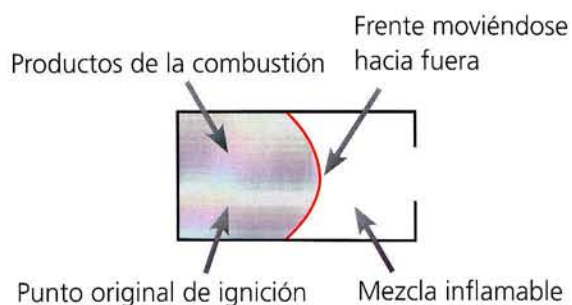


*Llama de premezcla*

### 2.6.2 LLAMAS DE PRE-MEZCLA

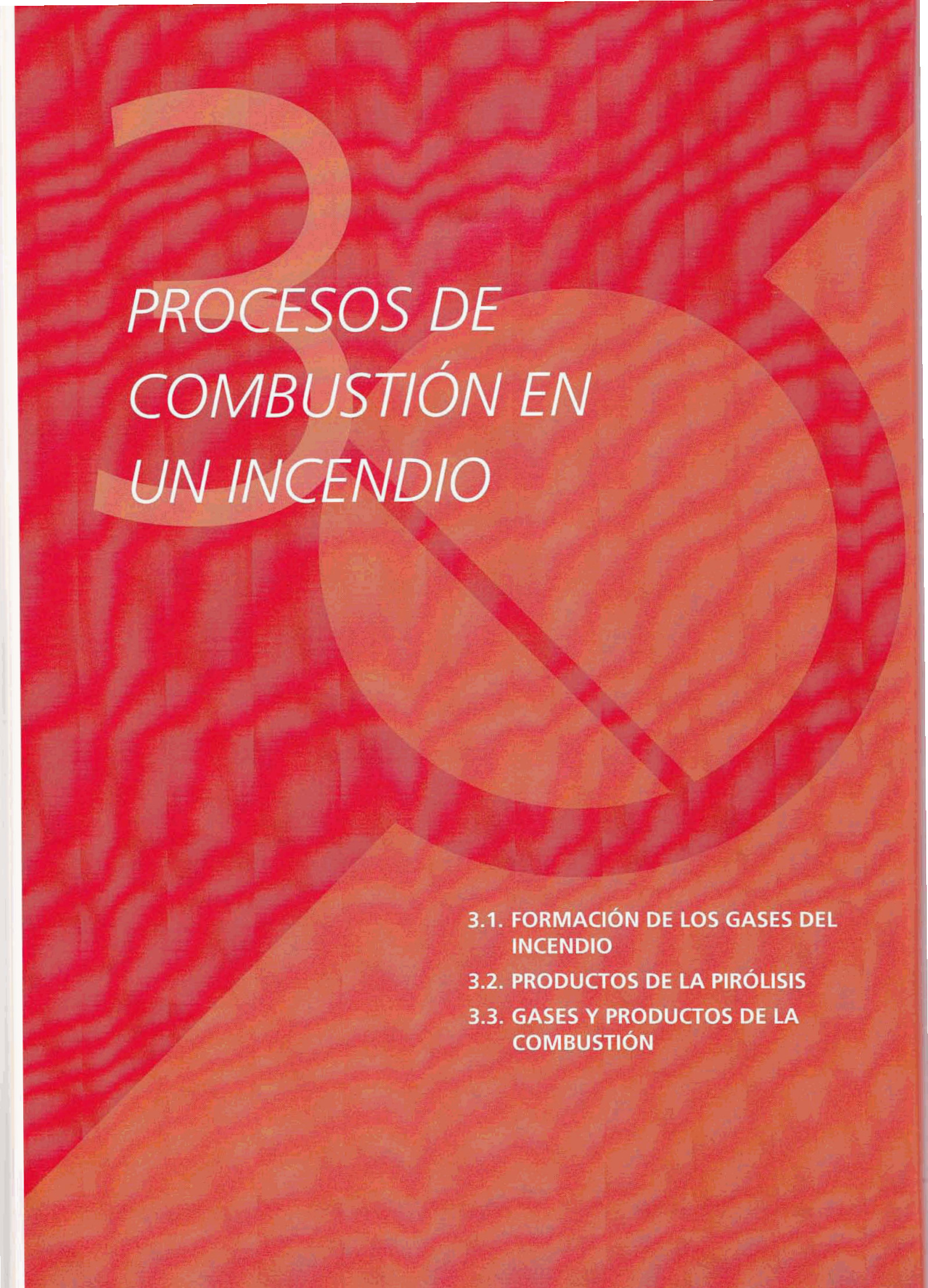
Este tipo de llama aparece cuando el gas inflamable y el aire se mezclan antes de la ignición. Solo se pueden dar en combustibles gaseosos. La mezcla solamente arderá si la concentración de combustible y aire está dentro de su rango de inflamabilidad. Son las llamas que se generan en un mechero bunsen, en un soplete de oxicorte o las que vemos salir cuando se produce un Backdraught, según se explica más adelante.

Si se aplica una fuente de ignición (chispa o llama) a una mezcla que está dentro de su rango de inflamabilidad, la mezcla que rodea la fuente de ignición arderá en forma de llama. Esta llama se moverá (propagará) rápidamente inflamando más volumen de mezcla. Este proceso de expansión rápida continuará hasta que toda la mezcla que está dentro de su rango de inflamabilidad se haya inflamado. Según la mezcla arde, se expandirá, aumentando su volumen y empujando el frente de la llama hacia fuera desde el punto de ignición, como la superficie de un globo que se hincha con rapidez.



*Dibujo que muestra el frente de llama moviéndose en un recinto que contiene una pre-mezcla inflamable.*





# *PROCESOS DE COMBUSTIÓN EN UN INCENDIO*

**3.1. FORMACIÓN DE LOS GASES DEL  
INCENDIO**

**3.2. PRODUCTOS DE LA PIRÓLISIS**

**3.3. GASES Y PRODUCTOS DE LA  
COMBUSTIÓN**



# 3. PROCESOS DE COMBUSTIÓN EN UN INCENDIO



39

## 3.1 FORMACIÓN DE LOS GASES DEL INCENDIO

En un recinto cerrado con ventilación limitada, la proporción y composición de los gases del incendio varía según se va desarrollando el incendio.

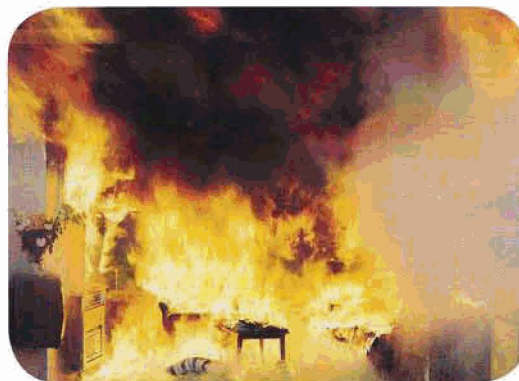
En las primeras etapas del incendio hay suficiente aire disponible, la combustión es bastante eficiente y se produce principalmente dióxido de carbono y vapor de agua. A medida que se va consumiendo el aire del

recinto, la combustión se hace menos eficiente, se producen menores cantidades de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y más monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), ya que hay menos oxígeno ( $\text{O}_2$ ) disponible para que la reacción química se produzca de forma eficiente.

Los gases resultantes de la combustión que conforman parte del humo del incendio, dependen por tanto de muchos factores, pero fundamentalmente del tipo de combustible, de la ventilación y del grado de desarrollo del incendio que define las temperaturas alcanzadas.



*Fase inicial*



*Fase de incendio desarrollado*





## 3.2 PRODUCTOS DE LA PIRÓLISIS

Inicialmente, cuando la temperatura es baja, una gran parte de los gases que se producen son dióxido de carbono y vapor de agua, con pequeñas cantidades de monóxido de carbono. Pero según aumenta la temperatura (ej. por encima de 300°C para la madera), la proporción de los gases se ve alterada, aumentando la generación de monóxido de carbono, y reduciéndose la de dióxido de carbono y vapor de agua.

Podemos ver que la cantidad de gas inflamable emitido por un incendio varía en función de diversos factores:

- **Ventilación.** Cuanto menor es la ventilación en la habitación, más incompleta será la combustión y la cantidad/proporción de gases inflamables producidos será mayor. Si la ventilación se ve restringida en la habitación, según se desarrolla el incendio el aire se irá consumiendo.

Según se va reduciendo la concentración de oxígeno en la habitación, la combustión se hace menos eficiente y la reacción química producirá mayor número de partículas de carbono (C).

- **Combustible.** Distintos combustibles producen diferentes gases inflamables con distintos niveles de inflamabilidad. Algunas sustancias producen mayores cantidades de gases inflamables (ej. plásticos, espuma, goma, etc.)

- **Temperatura.** Puede influir en el ratio de gases inflamables/no inflamables en la pirólisis. También puede influir en la reacción química durante la combustión y, por lo tanto, los productos (gases inflamables) variarán en composición y proporción.

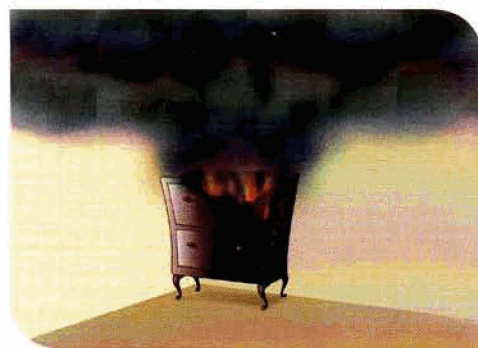
## 3.3 GASES Y OTROS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

En un incendio la combustión de los gases liberados por los materiales afectados genera otros gases así como partículas líquidas y sólidas. Llamamos humo a la parte visible de los efluentes del fuego. El humo que se desprende desde la zona de combustión, junto con los productos que generan los materiales adyacentes por efecto del calor contiene:

- **Gases no inflamables:** Debidos a la volatilización, a la pirólisis y a la combustión completa; principalmente dióxido de carbono y vapor de agua.
- **Gases inflamables:** Debido a la pirólisis y/o como

consecuencia de la combustión incompleta, como los formaldehídos, cianuro de hidrógeno, cloruro de hidrógeno, siendo el monóxido de carbono el más común.

- **Aire:** Arrastrado hacia la pluma del incendio por las corrientes de convección.
- **Hollín:** Pequeñas partículas de tipo carbonoso producidas por la combustión incompleta de materiales orgánicos.
- **Cenizas:** Residuos sólidos de la combustión arrastrados por las corrientes de convección.
- **Aerosoles:** Líquidos en suspensión generalmente por condensación de los vapores al enfriarse en su mezcla con el aire.



### 3.3.1 GASES INFLAMABLES DEL INCENDIO

La propagación de un incendio se debe en gran medida a la inflamabilidad de los humos generados. En estos humos podemos distinguir dos tipos de gases inflamables en función de la clase de material:

- **Gases de materiales fibrosos.**
- **Gases de materiales altamente energéticos.**

Dado que cada material al arder genera diferentes gases y en diferentes proporciones, también serán diferentes los **rangos de inflamabilidad** y las temperaturas a las que estos gases son inflamables.

#### Gases de materiales fibrosos

Son los generados por los materiales de origen natural que podemos encontrar en las viviendas, como madera, aglomerado, papel, algodón, lana, etc. Estos materiales producen unos gases cuya **mezcla ideal** está alrededor del 70% y que normalmente no arden en frío.



| GASES      | MEZCLA IDEAL | CONTENIDO ENERGÉTICO | INFLAMABILIDAD | Tª. AUTOIGNICIÓN | RESPIRAN      |
|------------|--------------|----------------------|----------------|------------------|---------------|
| Sintéticos | 25%- 60%     | Alto                 | En frío        | Alta             | Violentamente |
| Fibrosos   | Aprox. 70%   | Bajo                 | En caliente    | Alta             | Pausadamente  |

*Diferencias entre los gases de materiales sintéticos y fibrosos.*



*Material fibroso*



*Material sintético*

### Gases de materiales altamente energéticos

Son los procedentes de materiales sintéticos y derivados del petróleo como aceites, pinturas, plásticos, fibras sintéticas, poliuretanos etc. En estos gases la **mezcla ideal** está alrededor del 25% y suelen ser combustibles en frío.

La probabilidad y rapidez de aparición de un flashover es mucho mayor en presencia de materiales sintéticos. La virulencia del incendio generalmente también será mayor.



### 3.3.2 EL COLOR DE LOS GASES DE INCENDIO

El color y apariencia de los humos producidos por el incendio y que salen por las aberturas del compartimento variará dependiendo de distintos factores:

- **Densidad:** Cuanto más diluidos son los gases del fuego, más claros son; cuanto más concentrados están (densos) se vuelven más oscuros.
- **Ventilación:** Cuanto más ventilación hay disponible, el incendio arderá con mayor eficacia reduciendo la cantidad de carbono y otras partículas sólidas, y produciendo un humo más claro. Si el suministro de aire

se restringe, la combustión será poco eficiente e influirá en la reacción química. Este cambio en la reacción producirá otras sustancias como el carbono (hollín) que hará que el color sea más oscuro

- **Proporción de vapor de agua:** El vapor de agua generado en la fase inicial del incendio o como consecuencia de las labores de extinción, proporciona un color blanquecino a los humos del incendio.
- **Temperatura:** La temperatura puede influir en la reacción química y las sustancias producidas pueden variar en composición y consistencia según cambia la temperatura.





- **Combustible:** Cuando un combustible arde en un incendio produce distintas sustancias debido a la reacción química de combustión. Por lo tanto, distintos combustibles producirán diferentes sustancias.

Todas estas sustancias distintas pueden variar de color. Veamos algunos ejemplos:

- Gases espesos y negros: Hidrocarburos, (diesel, gasolina).
- Gases amarillos: Material sulfuroso (algunos plásticos).
- Gases grises: Material celulósico, (madera).
- Gases blancos: Goma espuma en combustión latente.

Es, por tanto, muy difícil reconocer el peligro de un incendio a partir del color de los gases únicamente; ej: los gases blancos podrían ser una pequeña cantidad de madera ardiendo en un compartimento bien ventilado (riesgo bajo), o podría ser goma espuma (espuma de poliuretano) ardiendo en un compartimento no ventilado (riesgo alto).

La evaluación de las condiciones siempre debe estar apoyada por otros datos, como son, la cantidad de ventilación que tiene el compartimento, la densidad de los gases y la energía que les expulsa del compartimento.





# 4

## *PRINCIPIOS DE LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS*

- 4.1. ELIMINACIÓN DEL COMBUSTIBLE
- 4.2. SOFOCACIÓN O INERTIZACIÓN
- 4.3. ENFRIAMIENTO
- 4.4. INHIBICIÓN O ACCIÓN  
CATALÍTICA NEGATIVA



# 4. PRINCIPIOS DE LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS



44

Los mecanismos en los que se fundamenta la extinción de un incendio se basan en hacer desaparecer o disminuir los efectos de uno o varios de los lados del tetraedro del fuego, que recordamos son: combustible, comburente, energía de activación (calor) y reacción en cadena.

## 4.1 ELIMINACIÓN DEL COMBUSTIBLE

También se utiliza el término "desalimentación". Consiste en retirar o eliminar el combustible.

El fuego precisa para su propagación combustible disponible y alcanzable. Si se elimina o aísla el combustible disponible de las proximidades de la zona de fuego, éste se extingue una vez se haya consumido el combustible en ignición.

Esto puede conseguirse:

- Mediante el corte de flujo del combustible a la zona de fuego en el caso de gases o líquidos.



- Retirando sólidos o líquidos de las proximidades de la zona de fuego, de forma que cuando se consume el combustible afectado o alcanzable por el fuego, el incendio queda controlado y, con el tiempo, extinguido.



- De forma indirecta, mediante la fuerte humidificación de los combustibles próximos a la zona de fuego para evitar su inflamación mientras o cuando éstos no puedan ser trasladados a zonas alejadas.





- Otra forma indirecta es diluir o mezclar el combustible con otras sustancias para que cuando se asocie con el comburente no alcance concentraciones susceptibles de inflamación.

## 4.2 SOFOCACIÓN O INERTIZACIÓN

Consiste en eliminar o desplazar el comburente. También se puede conseguir reduciendo la concentración del comburente (en el caso del oxígeno por debajo del 15%).

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

La combustión consume grandes cantidades de comburente (oxígeno), por ello precisa la existencia continua del mismo en la zona de fuego y del contacto de éste con el combustible para generarse la mezcla precisa y necesaria.

Esto puede evitarse:

- **Por ruptura del contacto combustible-aire**

Recubriendo el combustible con un material difícilmente combustible (manta ignífuga), o no combustible (arena, espuma, polvo, etc.). También se consigue proyectando una sustancia a presión (sustancia extintora) que desplace el aire en contacto con el combustible.



- **Por inertización o dilución de la mezcla**

Proyectando un gas inerte ( $N_2$  ó  $CO_2$ ) en suficiente cantidad para que haga disminuir la concentración de oxígeno de la mezcla por debajo de la concentración mínima exigible para poder arder (L.I.I.). La evaporación de una sustancia extintora (agua,  $CO_2$ , sólido, etc.) al entrar en contacto con el fuego consigue el mismo efecto anterior aunque de forma menos efectiva.

## 4.3 ENFRIAMIENTO

Consiste en eliminar el calor para reducir la temperatura del combustible, con lo que conseguiremos evitar que se desprendan gases que puedan ser inflamables.

Parte de la energía desprendida en la combustión es disipada en el ambiente, parte retroalimenta la superficie ya ardiendo y otra parte se utiliza en calentar e inflamar a los combustibles cercanos propagando el incendio. La absorción de calor de combustión de forma que se reduzca la energía de los dos últimos efectos del calor generado, implica la ralentización progresiva de la velocidad de combustión y propagación y su persistencia puede desembocar en la extinción total de la combustión.



Esto puede conseguirse arrojando sobre el fuego sustancias que por descomposición o cambio de estado absorban dicha energía. La capacidad de refrigeración de una sustancia en función de su calor específico (en sus diferentes estados materiales) y de su calor latente (principalmente el de fusión y vaporización). Cuanto mayores sean dichos valores, mayor será su poder refrigerante. La aplicación de un agente enfriante pretende reducir o detener el ritmo de liberación de vapores y gases combustibles a través de conseguir que la temperatura descienda por debajo del punto de ignición o de inflamabilidad.

El agua, entre los agentes extintores actualmente utilizados, es el que mayor poder refrigerante posee, debido principalmente a la propia secuencia de acciones de conducción, evaporación y convección que se producen, y que junto a su alta disponibilidad la hacen muy efectiva.



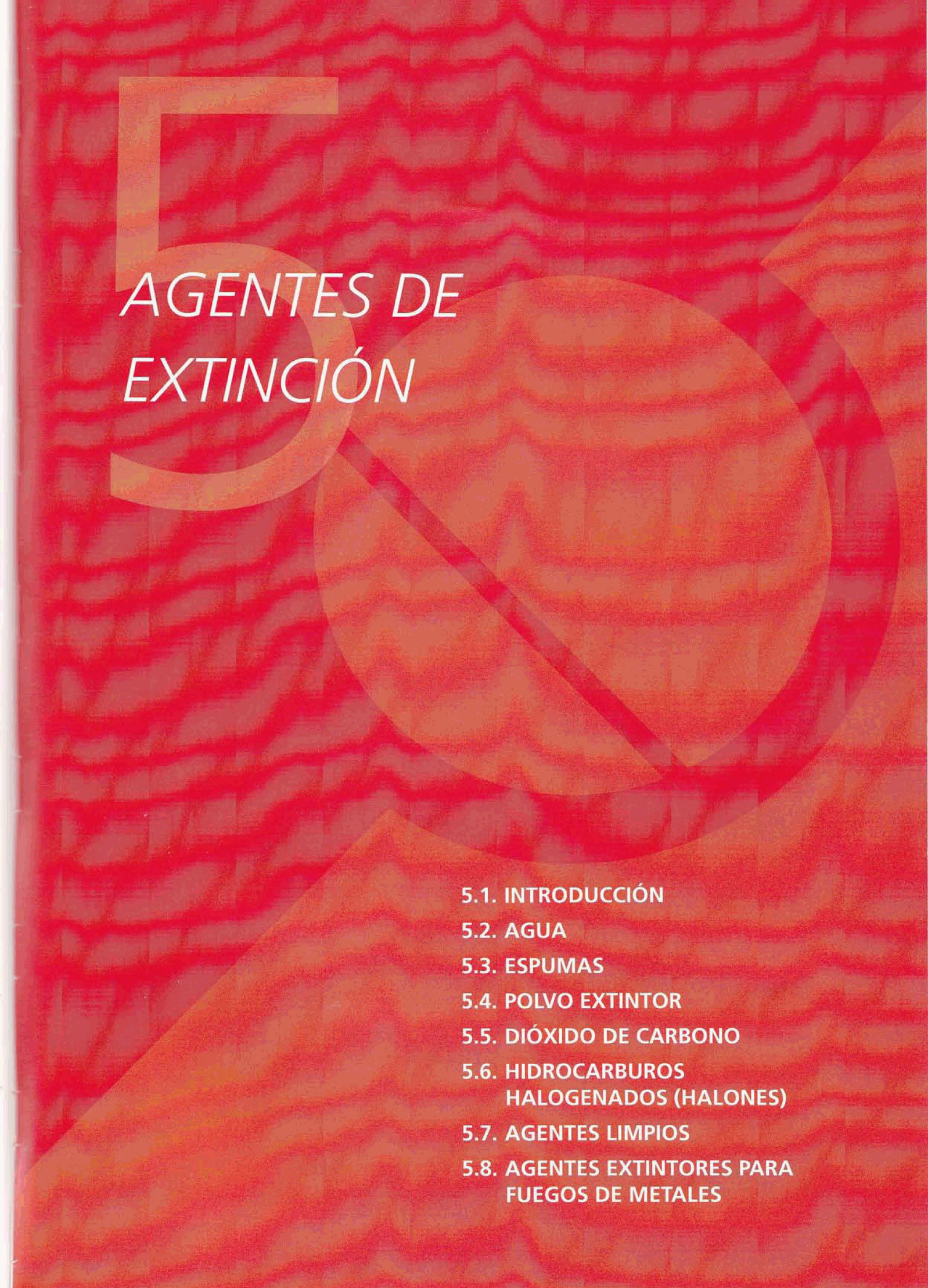
## 4.4 INHIBICIÓN O ACCIÓN CATALÍTICA NEGATIVA

Consiste en provocar la desactivación de los radicales libres que al reaccionar provocan el calor que la combustión necesita para autoalimentarse energéticamente y que llamamos reacción en cadena.

Como vimos en el estudio de la química del incendio la reacción progresa a nivel molecular a través de un mecanismo de radicales libres. Si los radicales libres formados en la combustión son neutralizados, la combustión se detiene. Dicho proceso químico de neutralización recibe el nombre de inhibición. Algunas sustancias ex-

tintoras (fundamentalmente los halones y ciertas sales alcalinas o amónicas) tienen la facultad de producir, por efectos térmicos, radicales que catalizan y mitigan aquellos radicales libres (portadores de la cadena de reacción) que son producidos en la combustión; como consecuencia del proceso generado, al no encontrarse en el medio donde se desarrolla la combustión dichos portadores, ésta se detiene. Este método de extinción posee la propiedad de ser generalmente muy rápido y relativamente eficaz porque actúa sobre el mecanismo de la llama. Por esta misma razón, sin embargo, en combustiones incandescentes o fuegos de brasas es normalmente ineficaz.



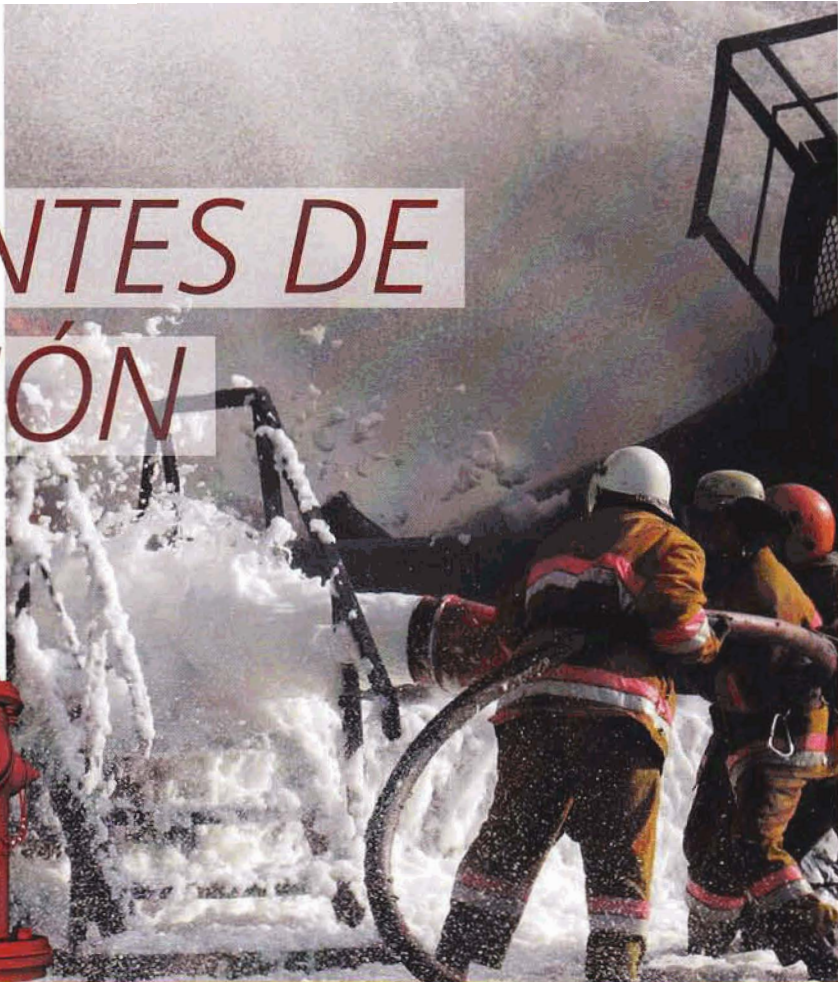


# AGENTES DE EXTINCIÓN

- 5.1. INTRODUCCIÓN
- 5.2. AGUA
- 5.3. ESPUMAS
- 5.4. POLVO EXTINTOR
- 5.5. DIÓXIDO DE CARBONO
- 5.6. HIDROCARBUROS  
HALOGENADOS (HALONES)
- 5.7. AGENTES LIMPIOS
- 5.8. AGENTES EXTINTORES PARA  
FUEGOS DE METALES



# 5. AGENTES DE EXTINCIÓN



48

## 5.1 INTRODUCCIÓN

Consideramos agente extintor a aquella sustancia o producto que gracias a sus especiales propiedades físicas y químicas, al ser aplicado sobre los combustibles en ignición o en sus proximidades, puede provocar la extinción del fuego o incendio.

No hay ningún agente universal. En la extinción de un incendio inciden numerosos y variados factores, por lo que para cada incendio hay siempre un agente extintor que es mas eficaz que el resto y que exige una determinada forma de aplicación.

A continuación se describen los elementos o sustancias más habituales utilizadas como agentes para la extinción de incendios.

## 5.2 AGUA

Ha sido, durante milenios, el principal producto utilizado para el control y extinción de incendios y en la actualidad sigue siendo el agente extintor de mayor utilización.

Las propiedades físicas del agua le permiten combinar varios métodos de extinción:

- **Enfriamiento:** el agua absorbe una cantidad de calor muy importante, sobre todo si se vaporiza. Para ello es necesario aumentar su superficie de intercambio con el incendio lanzando el agua en forma pulverizada. El enfriamiento es el método más utilizado para la extinción de incendios.





- **Inertización:** debido a la vaporización del agua, el vapor producido desplaza oxígeno, favoreciendo así la extinción del incendio.

- **Dilución:** sirve para extinguir, por reducción de la concentración, aquellos combustibles que sean miscibles en agua (alcohol).

- **Sofocación:** en fuegos de combustibles líquidos no miscibles con el agua y de mayor densidad, se puede intentar aplicar suavemente agua pulverizada, sin batir la superficie del combustible, para crear una capa que cubra el combustible y lo separe del comburente.

Las formas de aplicación del agua como agente extintor son principalmente dos:

- **Agua a chorro:** con este método el alcance que se logra es elevado y permite al usuario no estar expuesto a la radiación proveniente del incendio. Como factor negativo podemos señalar que si se utiliza contra focos de materiales incendiados ligeros, estos por efecto de la fuerza del chorro pueden salir proyectados en todas direcciones, aumentando los focos y entorpeciendo las labores de extinción. Además al tener una relación superficie-volumen muy baja su capacidad de evaporación y por tanto de enfriamiento de gases es también limitada.

- **Agua pulverizada:** en este caso el alcance es limitado en longitud pero de una anchura útil mayor, protegiendo de la radiación del incendio al ser ésta absorbida por la pantalla de agua. En este caso la eficacia extintora es mayor, con un ahorro de agente extintor considerable. Con este método se acomete generalmente la extinción de muchos incendios. Tiene también la ventaja de generar menos daños por escorrentía.



Los campos de aplicación del agua como agente extintor son muy amplios, pero también tiene importantes limitaciones.

- **Fuegos clase A:** es, sin duda, el mejor agente extintor para este tipo de fuego, ya sea sola o acompañada de aditivos. Vale tanto para la extinción como para el control de fuegos tipo A. El agua se puede proyectar bien sea con extintores, lanzas o monitores y siempre que sea posible en forma pulverizada.

- **Fuegos clase B:** el agua por sí sola no es un buen agente extintor y debe estar combinada con aditivos para una lucha eficaz contra este tipo de fuegos. Siempre se aplicará en forma pulverizada. En caso de peligro de desbordamiento de un recipiente que contenga líquido en llamas no se utilizará agua para evitar la propagación del mismo, aunque es muy recomendable para la refrigeración del contenedor del líquido incendiado.

- **Fuegos clase C:** aplicada en forma pulverizada es recomendable el uso del agua para el control de incendios de gases y para la refrigeración de materiales circundantes afectados por la radiación producida por dicho incendio.

- **Fuegos clase D:** está totalmente desaconsejada la utilización de agua para el control o extinción de fuegos de metales, si bien puede ayudar en las inmediaciones para retrasar la propagación.

- **Fuegos clase F:** no se recomienda el uso de agua en fuegos de aceites o grasas, a no ser que se pueda aplicar muy pulverizada.

- **Tensión eléctrica:** el agua es conductora de la corriente eléctrica por lo que no es recomendable su utilización manual sobre equipos bajo tensión. Sin embargo su aplicación en forma pulverizada es recomendable en sistemas automáticos, como método de control de fuego.

Aparte de las ventajas ya reseñadas del agua como agente extintor, aún podemos aumentar su eficacia si se le añaden una serie de aditivos que persiguen beneficios diversos.

- **Humectantes:** actúan reduciendo considerablemente la tensión superficial del agua con lo que se mejora el grado de penetración en los materiales combustibles, aumentando así la superficie de intercambio de calor.

- **Espesantes:** el agua tiene una baja viscosidad, y como consecuencia una baja adherencia en ciertos



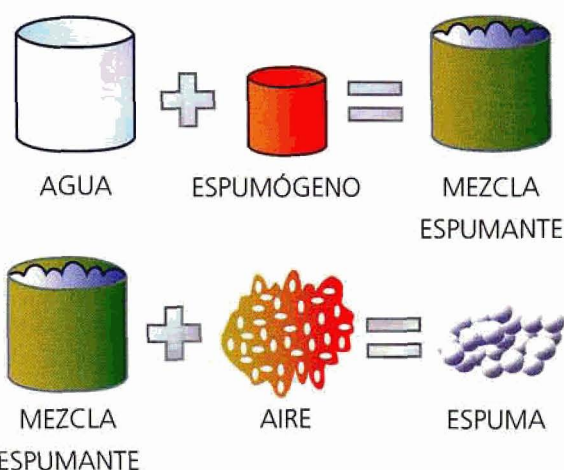




La adición de humectantes y espesantes al agua de extinción es frecuente en los fuegos forestales

Los métodos de extinción empleados por las espumas son los siguientes:

- **Sofocación:** Al depositarse sobre el material inflamado forman una capa que separa físicamente el combustible del comburente extinguiendo el incendio. En fuegos horizontales de líquidos combustibles y dependiendo del tipo de espuma, el lanzamiento de la misma no debe ser directo sobre la superficie incendiada pues el calor puede destruirla y no formar la capa aislante, que realiza así mismo un desplazamiento del frente de llamas.



materiales cuando es aplicada a altas velocidades, sobre todo si el combustible está en posición inclinada o vertical, con lo que su efecto extintor o protector se ve disminuido. Para compensar esta característica se le añaden espesantes, con el objeto de que se adhiera y forme una capa por encima del material combustible.

- **Anticongelantes:** en climas fríos es una práctica habitual añadir anticongelante al agua para evitar congelación y garantizar su aplicabilidad.

- **Modificadores de flujo:** con el objeto de reducir las fricciones del agua contra las tuberías y la producción de flujos turbulentos debidos a las presiones y velocidades que se alcanzan, en ciertas instalaciones se añaden polímeros lineales (por ejemplo polietileno), para disminuir dichos efectos. Con esto se consigue un mayor caudal y presión en el punto de descarga de la instalación.

## 5.3 ESPUMAS

El agua tiene ciertas limitaciones en la extinción de líquidos, principalmente por su alta densidad. Si le añadimos aire y conseguimos que se mantenga en el interior de su estructura en forma de burbujas, conseguimos también reducir su densidad y aumentar su espesor, al aplicarlo sobre la superficie del producto a proteger.

La espuma se forma generalmente por una mezcla de un líquido (espumógeno) en una proporción determinada con el agua (mezcla espumante) y su posterior mezcla con aire mediante un proceso físico. Aunque antiguamente se obtenían espumas a partir de reacciones químicas, en la actualidad casi no se utilizan.

- **Enfriamiento:** debido a que la composición de la espuma es fundamentalmente agua, produce un enfriamiento del combustible así como del recipiente en los casos de líquidos combustibles.

Existen distintos tipos de espumógenos, que generan espumas también diferentes:

- **Espumas proteínicas (P):** son las obtenidas a partir de concentrados de polímeros proteínicos naturales de alto peso molecular, mediante transformación e hidrólisis química de proteínas sólidas naturales. Se caracterizan por una excelente resistencia térmica y estabilidad, siendo sus puntos negativos una pobre fluidez y baja compatibilidad. Por lo general son incompatibles con los polvos extintores y no valen en fuegos de líquidos polares. No son tóxicas y son biodegradables una vez diluidas en agua. Su color es marrón o negro, y se caracterizan por su mal olor.

- **Espumas fluoroproteínicas (FP):** se obtienen añadiendo agentes fluorados activos a concentrados proteínicos, con lo que se consigue una notable mejora de la fluidez y resistencia a la contaminación. Suelen ser compatibles con los polvos extintores. No son tóxicas y son biodegradables después de disolverse en agua.



- **Espumas formadoras de película acuosa AFFF (Aqueous Film-Forming Foam):** obtenidas a partir de agentes espumantes de tipo sintético o proteínico combinados con elementos fluorados activos, su principal característica es la baja tensión superficial de las espumas producidas. Como contrapartida tienen una menor estabilidad y cohesión. Esta espuma forma una fina película que se extiende rápidamente sobre la superficie del líquido combustible. Su eficacia es tanto mayor cuanto mayor sea el valor de la tensión superficial del combustible. Suelen ser compatibles con polvos extintores. Tienen un futuro comprometido por que algunos de sus componentes, como el flúor, están en el punto de mira de las restricciones medioambientales.

- **Otras espumas sintéticas:** en la actualidad y conforme avanzan los conocimientos químicos sobre los espumógenos sintéticos, se están comercializando distintos tipos de espumógenos que combinan las características de los anteriores, siendo muy importante conocer para que tipo de usos se pueden utilizar en base a ensayos y homologaciones obtenidas. Entre éstos podemos citar los espumógenos que en la actualidad se conocen como de media-alta expansión.

- **Espumas anti-alcohol (AR):** están desarrolladas para combatir el efecto destructor de los líquidos polares (alcoholes, cetonas, acetatos, etc.) sobre las espumas normales, aunque tienen la ventaja que pueden ser utilizadas en fuegos de hidrocarburos. Existen dos tipos fundamentales, según sean de base proteínica o sintética. Las primeras están basadas en la adición al concentrado proteínico o fluoroproteínico de elementos insolubles en líquidos polares, que precipitan en la estructura de las burbujas generadas. Las de base sintética están formadas por estabilizadores sintéticos, agentes espumantes derivados fluorados y aditivos especiales con características gelificantes, que permanecen en la espuma hasta que ésta entra en contacto con cualquier combustible polar. En cuanto comienza la disolución del agua en dichos combustibles, forman una membrana continua, que impide la destrucción de la espuma.



- **Otras espumas:** existen otras espumas, como las selladoras que se emplean para combatir el desprendimiento de vapores debidos a derrames de productos, pero que no pueden utilizarse para la lucha contraincendios.



Como vemos existen multitud de espumógenos con múltiples aplicaciones o en algunos casos aplicaciones específicas, por lo que será muy importante conocer el tipo de producto que está implicado en un siniestro para aplicarle la espuma correspondiente. Asimismo debemos conocer con exactitud las propiedades de cada espumógeno para utilizarlo correctamente.

Otra característica de los espumógenos es la proporción que con relación al agua deben tener para formar la espuma correctamente.

Las más comunes son las siguientes (valores en volumen):

- Espumógenos al 3%.
- Espumógenos al 6%.
- Otros valores (espumas de alta expansión o tipos especiales).

**Las espumas convencionales** se forman con valores entre un 3 y un 6%, siendo las antialcohol las que superan el 6% en su aplicación a líquidos polares y del 3% para el resto de las aplicaciones.

En casos de utilización de **espumas de media-alta expansión** los valores pueden oscilar entre el 1-2% según los tipos.

**Las espumas para fuegos de clase A** que se utilizan en los sistemas CAF (Compressed Air Foam), van en unas proporciones muy inferiores, frecuentemente por debajo del 1%.

El hecho de utilizar valores superiores a los recomendados para cada caso no aumenta su capacidad de extinción



sino que hace que las espumas resultantes sean más espesas, disminuyendo su fluidez y disminuyendo la capacidad de generación de espuma por su elevado consumo.

Igualmente, la aplicación en un porcentaje menor al indicado en las especificaciones supone que la espuma no consiga sus características de trabajo y por lo tanto que no cumpla su misión.

La clasificación de las espumas según su coeficiente de expansión, establecida en la norma EN 1568, es la siguiente:

- **Espumas de baja expansión: hasta 20.**
- **Espumas de media expansión: entre 20 y 200.**
- **Espumas de alta expansión: más de 200.**

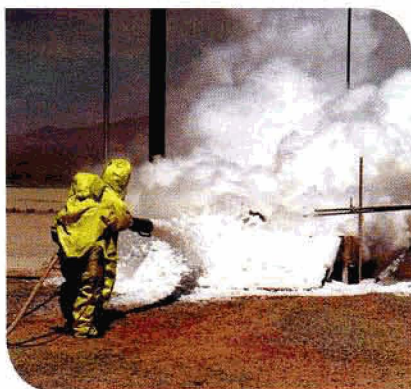
En función de su grado o coeficiente de expansión, las espumas tienen las siguientes aplicaciones:

#### • Espumas de baja expansión

Su principal campo de utilización son los fuegos de Clase B, siendo el agente más recomendable para combatir o prevenir este tipo de fuegos, ya sea en grandes tanques de almacenamiento o en derrames. Se puede utilizar también en fuegos de Clase A.

Algunas de sus aplicaciones típicas son las siguientes:

- Tanques de almacenamiento de combustible de techo fijo.
- Diques de contención.
- Áreas de carga y/o descarga de camiones cisterna.
- Hangares de aviones y helipuertos.
- Cuartos de bombas, tanques de aceite, etc.



*Espuma de media expansión*

#### • Espumas de alta expansión

Son adecuadas para la extinción de fuegos de un aporte calorífico no muy alto y en locales cerrados o con dificultades de acceso. Su eficacia disminuye en fuegos de alto poder calorífico debido a que descomponen la espuma y aprovechan el aire encerrado en las burbujas para realimentar el fuego.

#### • Espumas de media expansión

Sus características, tanto buenas como malas, son una mezcla de las anteriormente citadas. Se utilizan generalmente cuando se requiere mayor rapidez de recubrimiento que las de baja expansión o mayor capacidad de enfriamiento que las de alta. Son adecuadas para cubrir derrames no contenidos de líquidos inflamables o tóxicos y muy volátiles, con carácter preventivo, para reducir emisión de vapores.



## 5.4 POLVO EXTINTOR

También se conoce como polvo químico, polvo polivalente, polvo químico seco o polvo seco y está formado por sales inorgánicas finamente pulverizadas y por aditivos.

Las propiedades fundamentales de estos polvos extintores son las siguientes:

- División en partículas de tamaño inferior a 500 micras.
- Toxicidad nula. Aunque los productos empleados no son tóxicos en un principio, en grandes cantidades podrían producir dificultades respiratorias y falta de visibilidad.
- Mal conductor de la electricidad.
- A temperaturas inferiores a 600°C el polvo extintor es estable.

La capacidad extintora de los polvos se apoya en los siguientes métodos de extinción:

- **Enfriamiento:** Este agente absorbe cierta cantidad de calor. Además durante la proyección del polvo extintor, se produce un efecto de pantalla que absorbe el calor radiado por las llamas. Este efecto es incluso superior al obtenido con una cantidad equiparable de proyección de agua.



- **Sofocación:** el llamado polvo polivalente (ABC) en su aplicación sobre fuegos sólidos (clase A), al descomponerse por efecto del calor produce un residuo que forma una capa sobre el combustible que lo aísla del comburente. Este es el efecto por el cual se extinguen los fuegos de materiales sólidos con este agente extintor.

- **Inhibición:** cuando por efecto del calor se descomponen los productos del polvo extintor, éstos reaccionan y se combinan con los radicales libres del combustible impidiendo la continuación de la combustión. Este efecto es de gran importancia en la lucha contra incendios de fuegos de tipo B y C (líquidos y gases).

Existen distintos tipos de polvos extintores, en función de su composición básica y usos posibles:

- **Polvo convencional** (polvo BC, polvo normal o polvo ordinario). Se utiliza en fuegos de las clases B o C. Está compuesto fundamentalmente por bicarbonatos y sulfatos.



- **Polvo polivalente** (o polvo ABC). Se utiliza en fuegos de las clases A, B o C. Compuesto por fosfato monoamónico.
- **Polvos especiales.** Se utilizan sobre todo para fuegos de metales (clase D). Se componen de una mezcla de sales adecuadas para cada tipo de metal.

Sus utilizaciones, con relación a los tipos de fuego, son las siguientes:

- **Fuegos Clase A:** el polvo convencional no es útil para este tipo de fuegos. Se utiliza el denominado polvo polivalente, generalmente por medio de extintores.
- **Fuegos Clase B y C:** el polvo convencional es el adecuado para la extinción de estos tipos de fuego. Su eficacia es muy elevada y se emplea bien en extintores o en instalaciones fijas.

- **Fuegos Clase D:** los polvos comunes NO deben utilizarse en este tipo de fuegos. Existen combinados especiales para la extinción de este tipo de incendios.

- **Fuegos Clase F:** son junto con el CO<sub>2</sub> los agentes más eficaces para este tipo de fuegos.

En presencia de equipos sometidos a tensión eléctrica por debajo de los 1.000 voltios podemos utilizarlos sin peligro para el operador.

El polvo es abrasivo y se descompone a elevadas temperaturas, lo que unido a su gran poder de dispersión y penetración en lugares inaccesibles, hacen que no sean recomendables para equipos eléctricos o electrónicos y elementos mecánicos sometidos a ajustes de precisión.

En general los polvos extintores descomponen las espumas. La toxicidad de este agente extintor es despreciable. Por ello es principalmente utilizado en extintores manuales, incluso ante fuegos de gran virulencia. El único inconveniente es su utilización en espacios reducidos debido a la falta de visibilidad producida y a molestias respiratorias temporales.

## 5.5 DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)

El dióxido de carbono (o nieve carbónica o anhídrido carbónico) es un agente extintor gaseoso muy utilizado en extintores manuales, dadas sus propiedades y características.





Actúa utilizando los siguientes métodos de extinción:

- **Inertización:** cuando se produce la descarga del  $\text{CO}_2$  se genera en el entorno del combustible incendiado una atmósfera pobre en oxígeno, con lo que se reduce la oxidación y se extingue el incendio. En función de cada combustible la concentración de  $\text{CO}_2$  necesaria para conseguir la extinción del incendio puede variar entre un 30 a un 80%, siempre refiriéndonos a fuegos superficiales ya que el  $\text{CO}_2$  no llega a penetrar en los combustibles.

- **Enfriamiento:** ya hemos comentado que al descargarse se producen temperaturas bajo cero que enfrían la zona de descarga, siendo este efecto más importante de lo que se pensaba hasta hace poco.

Con relación a los tipos de fuego, su adecuación es la siguiente:

- **Fuegos Clase A:** su eficacia tanto por medio de extintores como de instalaciones fijas es muy baja en este tipo de fuegos, salvo los superficiales.

- **Fuegos Clases B y C:** su efectividad es relativa, aunque no muy alta. Su forma de utilización es a base de sistemas de aplicación local o de inundación total.

- **Fuegos Clase D:** su utilización esta desaconsejada ya que tanto los metales reactivos (sodio, potasio, etc.) como los hidruros metálicos provocan su descomposición.

- **Fuegos Clase F:** son bastante eficaces en este tipo de fuegos por su capacidad añadida de enfriamiento.

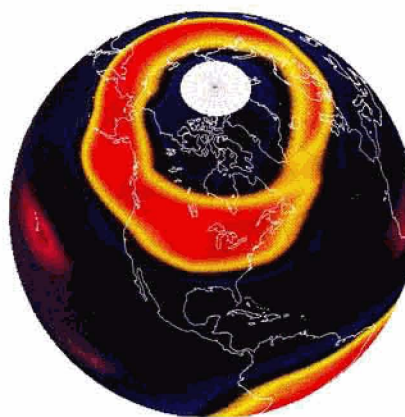
Sin embargo, en fuegos con presencia de tensión eléctrica y debido a su muy baja conductividad es el agente más efectivo incluso con tensiones elevadas. Otra ventaja importante es su limpieza, ya que no deja ningún tipo de residuo una vez evaporado.

Hay que tener en cuenta que su proyección se realiza a temperaturas muy bajas, con lo que puede producir quemaduras por congelación a su usuario y daños a equipos electrónicos, si no se utilizan a las distancias y tiempos adecuados.

Aunque el  $\text{CO}_2$  no es un gas tóxico, sí es asfixiante, y dado que su utilización es frecuentemente en sistemas de inundación total, hemos de asumir que genera peligro para las personas en caso de disparo accidental. Hay que tener en cuenta, como dato, que el límite de concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire admisible para las personas es del 9%, valor muy bajo comparado con las concentraciones de diseño de los sistemas de inundación total (50% y superiores).

## 5.6 HIDROCARBUROS HALOGENADOS (HALONES)

Este agente extintor oficialmente ya no se utiliza (con contadas excepciones), y su producción ha quedado prohibida por distintos convenios internacionales (Protocolo de Montreal) debido a su efecto dañino sobre la capa de ozono. Todavía existen extintores e instalaciones fijas con estos productos pero en caso de disparo o cambio de instalación no pueden ser recargados, por lo que es obligatorio su sustitución total.



*La afectación a la capa de ozono es la causa de la prohibición de los halones de extinción.*

## 5.7 AGENTES LIMPIOS

Como hemos apuntado en el apartado anterior, para sustituir a los halones se ha investigado y desarrollado nuevos gases alternativos incluso para el  $\text{CO}_2$ .

Los nuevos agentes, conocidos como agentes limpios, tienen como característica común que son gases licuados o comprimidos o líquidos compresibles, que se vaporizan a presión atmosférica, no dejan residuos y no son conductores de la electricidad.

Para instalaciones fijas, en general, se ha observado que para llegar a los mismos niveles de efectividad extintora que los halones a los que sustituyen hace falta mayor cantidad de agente extintor, su precio es superior y en la extinción generan mayor gama de productos de descomposición.

Como agentes limpios podemos citar los siguientes:

- **Hidrofluorocarbonos (HFC).**
- **Hidroclorofluorocarbonos (HCFC).**
- **Perfluorocarbonos (PFC).**
- **Mezclas de los anteriores.**



Los métodos de extinción se producen por inhibición de la reacción de combustión y por enfriamiento en menor medida.

También se emplean gases inertes y sus mezclas, básicamente argón y nitrógeno, incluyendo en las mezclas pequeñas proporciones de  $\text{CO}_2$  y helio.

El método de extinción en este caso es el de inertización del local o recinto protegido, teniendo también una importancia relativa el enfriamiento producido.

Como ventajas podemos señalar que no se descomponen, son relativamente baratos y no dañan el medio ambiente. Como desventajas, que sus tiempos de descarga son prolongados, se necesitan grandes cantidades con relación al halón a sustituir (de 8 a 10 veces más) y los equipos técnicos de regulación, distribución y descarga son complejos y caros.

Su aplicación en locales con presencia de personas debe realizarse con precaución, estudiando en cada caso todos los índices que afecten a la salud para poder instalarlos con garantías de no perjudicar a los ocupantes de los locales a proteger.

En ciertos casos se emplean en vez de agentes extintores sólidos otros que pueden ser líquidos o gases y cuando la extinción está muy avanzada se pueden emplear los agentes tradicionales.

Los más usuales son: polvo de talco, polvo de grafito, arena seca, limaduras de hierro, cloruro sódico, cenizas de sosa, cloruro de litio, silicato de zirconio y dolomita.



55

*Reacción de un fuego de magnesio al arrojarle agua*

## 5.8 AGENTES EXTINTORES PARA FUEGOS DE METALES (CLASE D)

Ciertos metales utilizados en usos industriales son combustibles, especialmente cuando se encuentran finalmente divididos o incluso en forma de polvo.

Su combustión es mucho más compleja que la de otros materiales y algunos pueden arder sin presencia de oxígeno, de ahí que se haya realizado una clasificación aparte de dichos materiales en su relación con el fuego, denominándolos Clase D.

Tal es su complejidad que para su extinción no se pueden emplear los agentes comunes (agua,  $\text{CO}_2$ , etc.) y para cada metal se necesitan productos específicos o combinaciones de distintos productos. Por eso es muy importante que se indique exactamente para qué usos se debe emplear cada agente extintor y su forma de utilización.

Para su aplicación se suelen emplear normalmente extintores que contienen el agente extintor adecuado, bien sea de tamaño normal o sobre ruedas.





## AGRADECIMIENTOS

- A Jose Miguel Basset por su valiosa aportación al conocimiento del desarrollo de los incendios en nuestra profesión.

## BIBLIOGRAFÍA

- BENGTSSON L. *Övertändning, backdraft och brandgasexplosion fran.*
- CHITTY, R. *A Survey of Backdraught.*
- DRYSDALE, D.D. *An introduction to Fire Dynamics.*
- DRYSDALE, D.D. *The Flashover Phenomenon.*
- FLEISCHMANN, C.M. *Research on Backdraft Phenomena.*
- GALEA, E.R.; PATEL, M.K. *Modelling of Flashover and Backdraft Using Fire Field Models.*
- GISELSSON, K.; ROSANDER, M. *Övertändning The Fundamentals of Fire.*
- GRIMWOOD, P. *Fog Attack.*
- HM STATIONARY OFFICE. *Compartment Fires and Ventilation.*
- HM STATIONARY OFFICE. *Guidance and Compliance Framework for Compartment Fire Behaviour Training.*
- THOMAS, M. *Research into Flashover and Backdraught.*
- THOMAS, M. *Ventilation as a Firefighting Tactic.*
- TUOMISAARI, M. *Suppression of Compartment Fires with a small amount of water.*
- WHARRY, D.; HIRST, R. *Fire Technology - Chemistry and Combustion.*
- BASSET BLESÁ, J.M. *Flashover: Desarrollo y Control.*
- NORWOOD, Trevor. *Entrenamiento contra incendios y flashover en condiciones reales.*
- BASSET BLESÁ, Jose M. *Flashover: Desarrollo y control.*
- TUVE, Richard L. *Principios de la Química de Protección Contra Incendios. NFPA. Ed. Cepreven.*
- *Manual de protección contra incendios. Ed. NFPA*
- *The SFPA Handbook of Fire Protection Engineering. Ed. NFPA*
- BENGTSSON, Lars-Göran. *Enclosure Fires. Ed. Räddnings Verket.*
- *Documentos Técnicos. Ed. Cepreven*
- *Normas UNE 23.5xx.*
- SARDQVIST, Stefan. *Water and other extinguishing agents. Ed. Räddnings Verket.*
- ACUÑA, Antonio. *Las espumas de extinción de incendios. Auxquimia.*