

# Física y química del fuego

## Tabla de contenido

1. Naturaleza del Fuego .....	2
2. Física del Fuego .....	
3. Factores del Incendio Triangulo y tetraedro del Fuego y sus Componentes.....	
3.1 Combustible .....	
3.2 Comburente .....	3
3.3 Calor .....	
3.4 Reacción en cadena .....	4
4. Combustión .....	
4.1 Pirolysis .....	5
4.2 Tipos de Fuego .....	
4.3 Proceso de Combustión .....	6
5. Transferencia de calor .....	8
5.1. Conducción .....	
5.2. Convección .....	9
5.3. Contacto directo .....	
5.4. Radiación .....	
6. La extinción .....	11
7. Bibliografía .....	13

## 1. Naturaleza del Fuego

El fuego nos es fundamental para multitud de actividades, otra cosa muy distinta es un incendio. Solo cuando concurren una serie de requisitos, aunque el fuego no esté presente de antemano, se origina un incendio. Estos requisitos son lo que llamamos **factores del incendio**. Tres de estos factores están presentes en multitud de ocasiones lo que sería una situación de riesgo, pero solo si se conjugan con la suficiente intensidad se manifiesta el cuarto factor.

## 2. Física del fuego.

¿Qué es el fuego?

Podemos definir al fuego como un proceso de combustión caracterizado por una reacción química de oxidación (desde el punto de vista del combustible) de suficiente intensidad para emitir luz y calor y en muchos casos, llama. Esta reacción se produce a temperatura elevada y evolución de suficiente calor como para mantener la mínima temperatura necesaria para que la combustión continúe. Los valores que alcanza la temperatura de combustión dependen en gran parte de la naturaleza de los combustibles utilizados, pudiendo variar desde los 1.039 °C para algunos alcoholes hasta más de 1.700 °C para algunos metales que entran en combustión, como ser el Magnesio, Aluminio, etc

Vamos a ver estos conceptos:

**Reacción de oxidación-reducción:** la reacción química que se produce entre dos elementos, sustancias o cuerpos, en la que uno se oxida a costa del otro que se reduce. El elemento que se reduce es el **agente oxidante** que “roba electrones” al **agente reductor**.

**Reacción exotérmica:** se produce con desprendimiento de calor, porque las sustancias resultantes de la reacción tienen menos energía que las que dieron lugar a la misma. Esa energía sobrante se manifiesta en forma de calor.

## 3. Factores del incendio.

### 3.1. Combustible (agente reductor).

Cualquier sustancia o materia capaz de arder en contacto con el aire, oxígeno o una mezcla gaseosa que contenga oxígeno, produciendo una cierta cantidad de calor. En una combustión es el agente reductor que cede o traspassa electrones al agente oxidante

Combustible es toda sustancia que no ha alcanzado su grado máximo de oxidación. Normalmente las materias combustibles contienen cantidades apreciables de carbono e hidrógeno, que son elementos oxidables.

### 3.2. Comburente (agente oxidante).

Producto o sustancia que proporciona el oxígeno necesario para la combustión. Es el cuerpo en cuya presencia puede arder el combustible.

Normalmente el comburente será el oxígeno del aire, pero hay otros productos que lo pueden ser.

El aire que respiramos está compuesto de 21% de oxígeno. El fuego requiere una atmósfera de por lo menos 16% de oxígeno. El oxígeno es un carburante, es decir activa la combustión. Es el elemento en cuya presencia el combustible puede arder (normalmente oxígeno). Sustancia que oxida al combustible en las reacciones de combustión. Es el agente oxidante más común y el comburente más habitual en todos los fuegos e incendios.

Se llama límite inferior de inflamabilidad a la menor proporción de gas o vapor combustible en el aire capaz de arder por efecto de una llama o chispa.

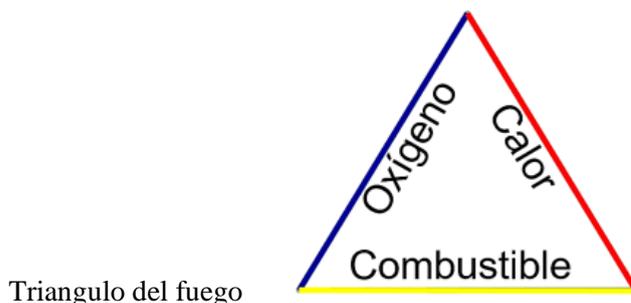
Se llama límite superior de inflamabilidad es la mayor proporción de gas o vapor combustible en el aire por encima de la cual el fuego no se propaga.

En el punto medio entre ambos límites, la ignición se produce de manera más intensa y violenta.

Fuera de esos porcentajes de concentración, no es posible la ignición, aunque haya vapores combustibles en el aire. Sólo cuando la relación vapor-aire se sitúa en algún punto entre ambos límites pueden producirse incendios o explosiones. En ese caso, la mezcla estaría dentro de lo que se llama rango de inflamabilidad o explosividad del producto de que se trate. Cuando más amplio es ese rango, más peligroso es el producto. Al aumentar la temperatura o la presión de la mezcla gas aire, se amplía en ambos sentidos el intervalo de inflamabilidad, o sea que el límite inferior disminuye y el superior aumenta. En las mismas circunstancias las velocidades de propagación de la llama aumentan, esto explica el desarrollo acelerado de las deflagraciones

### 3.3. Calor (energía de activación).

No siempre que hay un combustible en presencia de un comburente se produce la combustión. Para que esto suceda es necesario un tercer factor que provoque esa reacción, este tercer factor es lo que llamamos **energía de activación** que es aportada por los **focos de ignición** y puede tener diversos orígenes: **Origen químico** (cualquier reacción exotérmica provoca calor que puede ser el origen de un incendio), **origen mecánico** (los choques o roces entre metales generan calor y chispas que pueden aportar la energía necesaria para iniciar un incendio) **origen eléctrico** (el paso de una corriente eléctrica provoca calor y eso es causa de numerosos incendios) **origen natural** (rayos, ...).



El fuego se extingue eliminando o acortando algunos de sus lados.

### 3.4. Reacción en cadena.

Este es el componente adicional en el Tetraedro del Fuego, y se refiere al proceso de retroalimentación que ocurre una vez que el fuego ha comenzado. Consiste en una serie de **reacciones químicas autoalimentadas que generan calor y gases inflamables**, lo que permite mantener la combustión. Es decir, se produce una **reacción en cadena**.

**Incorporar la «reacción en cadena» en el Tetraedro del Fuego proporciona una comprensión más completa de la dinámica de los incendios, ya que explica cómo el fuego puede propagarse de manera autosostenible una vez que ha comenzado**

Entender el modelo comprendiendo los componentes del triángulo y el tetraedro del fuego. Estos modelos son realmente útiles para poder entender cómo se produce y expande un fuego de una manera simple y fácil de ver. Gracias a ellos podemos realizar estrategias dependiendo de los factores que hemos visto y establecer planes de acción para evitar primero la posibilidad de que se produzca un fuego y también a extinguirlo lo más rápido posible en el caso de que se produzca



Tetraedro del fuego

Estado Físico de los combustibles		
Sólidos	Líquidos	Gases
Son aquellos que tienen forma y volumen determinado.	Las sustancias líquidas no tienen forma, se derraman y sus partículas se hallan débilmente unidas. Tienen volumen pero carecen de forma.	Las moléculas que forman estos combustibles carecen de volumen y forma propia. Toda masa gaseosa tiende a ocupar el mayor espacio posible.
Carbón, Madera, Papel, Tela, Cuero, Plástico, Azúcar, Granos, Otros	Gasolina, Kerosen, Alcohol, Pintura, Barniz, Aceite, Laca, Metanol, Otros	Gas Natural, Propano, Butano, Hidrogeno, Acetileno, Monóxido de Carbono, Metano, Gas Licuado Otros

## 4. Combustión

La combustión es una reacción de oxidación entre un cuerpo combustible y un cuerpo comburente (generalmente oxígeno), provocada por una fuente de energía, normalmente en forma de calor. Esta reacción es exotérmica (desprende calor). Cuando el

combustible se combina totalmente con el oxígeno sin dejar más productos residuales que CO<sub>2</sub> y vapor de agua, recibe el nombre de combustión completa. Si el combustible no se combina totalmente con el oxígeno por ser insuficiente la cantidad de oxígeno en el ambiente, recibe el nombre de combustión incompleta, desprendiendo monóxido de carbono (CO). Cuando se desarrolla una combustión, la reacción entre el combustible y el comburente provoca la emisión de calor, llamas, humos y gases.

#### 4.1. Pirolisis

El inicio de una combustión requiere la conversión del combustible a su estado gaseoso por calentamiento.

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

##### ¿Arden los combustibles sólidos?

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

La pirolisis es una descomposición química de una materia producida por una elevación de la temperatura, sin reacción con el oxígeno. En la pirolisis no interviene el oxígeno, ya que no hay todavía combustión. Al reaccionar los vapores que provienen de la pirolisis del combustible sólido con el oxígeno es cuando se produce la oxidación; es decir, la combustión

**TABLA 1.1 "PIROLISIS"**

<b>TEMPERATURA</b>	<b>REACCIÓN</b>
<b>200° C</b>	PRODUCCIÓN DE VAPOR DE AGUA, BIÓXIDO DE CARBONO, ÁCIDO ACÉTICO, Y FÓRMICO.
<b>200° C - 280° C</b>	MENOS VAPOR DE AGUA, ALGO DE MONÓXIDO DE CARBONO, TODAVÍA UNA REACCIÓN ENDOTÉRMICA PRIMARIA (ABSORCIÓN DE CALOR).
<b>280° C - 500° C</b>	REACCIÓN EXOTÉRMICA (GENERA CALOR) CON VAPORES COMBUSTIBLES Y PARTÍCULAS. ALGUNAS REACCIONES SECUNDARIAS DE LAS CENIZAS FORMADAS.
<b>SOBRE 500° C</b>	RESIDUOS PRIMARIOS DE CENIZAS POR UNA NOTABLE ACCIÓN CATALÍTICA

#### 4.2. Fases de la combustión – Tipos de fuego

- Fase incipiente o inicial
- Fase de combustión libre
- Fase de arder sin llama

##### FASE INICIAL O INCIPIENTE

En la primera fase, el oxígeno contenido en el aire no ha sido reducido en forma significativa y el

fuego produce vapor de agua, dióxido de carbono, monóxido de carbono, quizá una pequeña cantidad de dióxido de azufre, y otros gases.

Se genera algo de calor que irá aumentando a medida que el fuego progresa. El calor de la llama en esta fase puede ser de 538° C, pero la temperatura del medio ambiente donde el fuego se está iniciando aumenta muy poco

## FASE DE COMBUSTIÓN LIBRE

La segunda fase de combustión involucra las actividades de libre combustión del fuego. Durante esta fase, el aire, que es rico en oxígeno, es lanzado hacia las llamas, a medida que la convección lleva el calor a las regiones más altas de áreas confinadas.

Los gases calientes se expanden lateralmente, desde del techo hacia abajo, forzando al aire frío hacia los niveles inferiores, y facilitando así la ignición de materiales combustibles en los niveles superiores de la habitación. Este aire caliente es una de las razones por las cuales los bomberos son instruidos en que deben mantenerse en los niveles bajos, y utilizar equipos de protección respiratoria. La aspiración de este súper aire caliente puede dañar los pulmones.

En este momento las temperaturas en las regiones superiores, pueden exceder los 700°C. A medida que el fuego progresa a la subsecuente etapa de esta fase, continuará consumiendo el oxígeno libre hasta que se alcanza un punto en que el oxígeno resulta insuficiente para reaccionar con el combustible. El fuego es entonces reducido a la fase latente y requiere el suministro de oxígeno para encenderse rápidamente o explotar

## LA COMBUSTION SIN LLAMA (INCANDESCENTE)

La combustión sin llama, al estar inhibida la reacción en cadena, (ya sea en forma natural o por aplicación de medios de extinción), da origen al fuego incandescente.

La combustión sin llama según lo implica su nombre, no es una combustión en el espacio, sino estrictamente una combustión de la superficie que tiene lugar a los mismos niveles de temperatura como si se tratara de llamas abiertas.

Este tipo de fuego también recibe el nombre de braza, superficie al rojo, incandescencia, rescoldo, etc., su característica fundamental es la ausencia de llamas. Ej.: cigarrillo.

### 4.3. Proceso de la combustión

#### TEMPERATURA DE IGNICIÓN

Es la menor temperatura a la que hay que elevar un material combustible para que los vapores combustibles desprendidos formen con el aire que se encuentra sobre el mismo una mezcla inflamable, que se enciende al acercársele una fuente de ignición. La combustión no continúa al retirar la llama o fuente de ignición. La ignición constituye el fenómeno que inicia la combustión.

La ignición producida al introducir una pequeña llama externa, chispa o brasa incandescente (fuente de energía), constituye la denominada ignición provocada. Si la ignición no la provoca un foco externo, se denomina autoignición

### TEMPERATURA DE INFLAMACION

Si se continúa calentando el líquido combustible sobre su temperatura de ignición encontraremos una temperatura a la cual la velocidad de desprendimiento de vapores es tal que una vez que se inicia la combustión, la misma continúa sin necesidad de acercarse nuevamente la llama.

La temperatura más baja que necesita alcanzar un combustible para emitir vapores en proporción suficiente para permitir la combustión continua.

Puede definirse como la mínima temperatura a que una sustancia (sólida, líquida o gaseosa) debe ser calentada a fin de iniciar una combustión que se sostenga por sí misma, independientemente de las fuentes externas de calor

### TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN O IGNICIÓN ESPONTÁNEA

Es la mínima temperatura a la cual debe elevarse una mezcla de vapores inflamables y aire, para que se encienda espontáneamente sin necesidad de la presencia de una fuente de ignición externa. Esta temperatura suele ser muy superior a las anteriores. A título de ejemplo se transcribe una pequeña tabla con algunos valores de las temperaturas de ignición y autoignición

En determinadas condiciones de temperatura y presión, la mayoría de las mezclas de gases se auto inflama. A cualquier temperatura, hay moléculas con energía suficiente para reaccionar cuando colisionan; generalmente no se detectan ni las reacciones ni el calor disipado por ellas. A determinadas temperaturas, las reacciones intermoleculares son lo suficientemente numerosas para que la mezcla de gases inicie el autocalentamiento y alcance posteriormente la temperatura de inflamación. Se inicia entonces la propagación de la combustión si la mezcla resulta inflamable a la temperatura y presión alcanzadas. La autoignición depende de las mezclas específicas de gases, el volumen y geometría del contenedor, los materiales de construcción del mismo y la temperatura y presión inicial de la mezcla y ambiente circundante. Las temperaturas de autoignición divulgadas dependen del método de determinación y no pueden utilizarse indiscriminadamente. La aplicación de las mismas a situaciones reales resulta delicada y potencialmente peligrosa, debido a la existencia de efectos de pared térmicos y catalíticos.

### LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

Son los límites máximo y mínimo de la concentración de un combustible dentro de un medio oxidante, por lo que la llama, una vez iniciada, continúe propagándose. Por ejemplo, las mezclas de aire e hidrógeno permiten la propagación de la llama si la concentración de hidrógeno se encuentra entre el 4 y 74% en volumen, a 21° C y a presión atmosférica.

La cifra menor corresponde al valor límite mínimo (mezcla pobre) y la mayor al límite máximo (mezcla rica) de la inflamabilidad. Así como el calor debe ser suficiente para alcanzar la temperatura de ignición, la relación combustible-comburente (aire) debe estar dentro de los límites de inflamabilidad. En caso de los materiales inflamables estas proporciones se determinan como porcentajes en volumen de gas o vapor en aire. Por lo tanto, los porcentajes mínimos y máximos de gas o vapor combustible necesarios para formar mezclas inflamables, constituyen los límites inferiores (LII) y superior (LSI) de inflamabilidad respectivamente. La diferencia entre ambos límites define lo que se conoce como rango inflamable

**Limites Inferior y Superior de Inflamabilidad**

<b>SUSTANCIA</b>	<b>LII</b> % en aire	<b>LSI</b> % en aire
Acetona	2,6	12,8
Acetileno	2,5	81,0
Alcohol Etílico	3,3	19,0
Gasolina	1,4	7,6
Gas Natural	3,8	13,0
Hidrógeno	4,0	75,0
Monóxido de carbono	12,5	74,0
Propano	2,2	9,5
Kerosene	0,7	5,0

## 5. Transferencia de Calor

Se da por tres fenómenos comúnmente como conducción, convección, contacto directo y radiación.

### 5.1. Conducción

El calor puede ser conducido de un cuerpo a otro por contacto directo de dos cuerpos o por intermedio de un medio conductor. La cantidad de calor que será transmitida y su rango de transferencia dependerán de la conductividad del material a través del cual el calor está pasando. No todos los materiales tienen la misma conductividad de calor. El aluminio, el cobre y el acero son buenos conductores. Los materiales fibrosos, tales como tela y papel son deficientes conductores.

Los líquidos y los gases son deficientes conductores de calor debido al movimiento de sus moléculas. El aire es también un conductor relativamente deficiente. Ciertos materiales sólidos cuando son divididos en fibras y embalados en capas constituyen buenos aislantes debido a que el material en sí mismo es un conductor deficiente y además existen ciertos espacios de aire dentro de las capas. Las paredes dobles de edificios que tienen un espacio de aire proporcionan un aislamiento adicional. Ejemplo: Si en un depósito hay cajas con diversos productos y una de ellas entra en contacto con una fuente de calor, puede producirse un fuego que se ira transmitiendo de una caja a otra por conducción. El daño al calentarse transmitirá ese calor a

otros combustibles



## 5.2. Convección

La convección es la transferencia de calor debido al movimiento de aire o de líquido. El aire caliente en una edificación se expandirá y elevará. Por esta razón, el fuego que se propaga por convección, lo hace mayormente en dirección ascendente, aunque las corrientes de aire pueden llevar calor en cualquier dirección. Las corrientes de convección son generalmente la causa del movimiento del calor de un piso a otro, de un salón a otro y de un área a otra.

La propagación del incendio por pasillos, escaleras y ductos de ascensores, entre paredes, y a través de las fachadas son principalmente causadas por la convección de corrientes calientes y esto conlleva mayor influencia en cuanto a la posición de ataque del incendio y ventilación que se ha producido por la radiación y la conducción.

Otra forma de transferencia de calor por convección es por contacto directo de la llama. Cuando una sustancia es calentada hasta el punto donde se generan vapores inflamables, estos vapores pueden entrar en ignición generando una llama. A medida que otros materiales inflamables entran en contacto con vapores encendidos, o llamas, los mismos, pueden ser calentados hasta una temperatura donde ellos también pueden entrar en ignición.

Ejemplo: si un edificio de departamentos u oficinas de varios pisos se inicia un incendio en un piso bajo, el fuego calentará el aire, el que tratará de subir hacia los pisos superiores arrastrando gases y humos calientes y extendiendo el incendio



### 5.3. Contacto directo

El calor se transmite por contacto directo cuando una llama o ascua alcanza un objeto. Si el contacto se mantiene durante suficiente tiempo, el objeto puede arder. Ya se ha mencionado que por corrientes de convección pueden transportarse ascuas. Llamas producidas por cerillas causan ignición por contacto directo. Las llamas procedentes de una butaca ardiendo que alcancen cortinas transmiten calor por contacto directo.

El trayecto recorrido por el fuego, generalmente indica si se ha propagado por contacto directo de las llamas. Aunque la propagación del fuego desde la butaca a la pared fue por contacto directo, el "eslabón" entre los dos ya no está en su sitio.

### 5.4. Radiación

Es la transmisión de calor a través de ondas invisibles que se propagan por el espacio al igual que la luz, ésta viaja a través del espacio sin necesidad de un medio; como sólido y fluido.

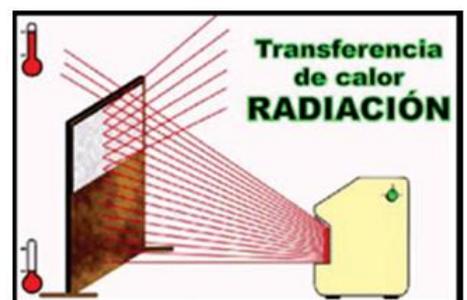
La radiación es una forma de energía que se desplaza a través del espacio o de los materiales en forma de ondas electromagnéticas, como la luz, las ondas de radio o los rayos X. Todas las ondas de la energía radiante circulan en el vacío a la velocidad de la luz. Al tropezar con un cuerpo, son absorbidas, reflejadas o transmitidas.

Nuestros ojos ven solamente una fracción mínima emitida en la región visible. En los fuegos pequeños, como, por ejemplo, el originado por una vela, la mayor parte del calor abandona la zona de la combustión debido a la convección, como detectamos al situar la mano sobre la llama en vez de a un lado.

Sin embargo, los incendios mayores y más peligrosos liberan cantidades de energía aproximadamente iguales por radiación y por convección. La energía irradiada es más peligrosa porque las superficies estáticas próximas al fuego absorben fundamentalmente toda la radiación que incide sobre las mismas, mientras que la mayoría de la energía transmitida por convección fluye a lo largo de la superficie arrastrada por el chorro de gases.

Estas ondas de radiaciones se transmiten en línea recta en todas las direcciones. El calor radiado de un foco pequeño será menor que el de una superficie irradiante grande, suponiendo que los focos emitan la misma energía por unidad de superficie.

Las radiaciones se mueven a través del aire y no se ven afectadas por el viento; penetran superficies transparentes y translúcidas, incluyendo el cristal y el agua. Las radiaciones que han atravesado ventanas han causado la ignición de objetos expuestos.

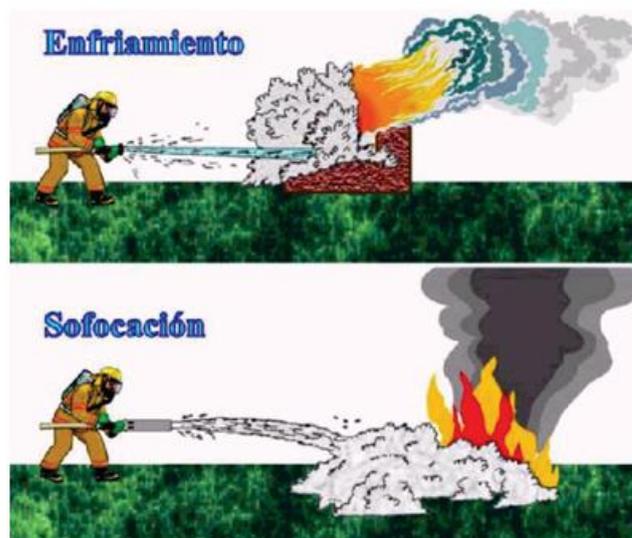


## LA EXTINCIÓN

En las tareas desarrolladas por bomberos, tal vez una de las más importantes sea la de intervenir en el control y extinción de los incendios y, por lo tanto, cada uno de ellos debe conocer lo que significa la extinción y las formas que existen de lograrlo y de esta manera poder adoptar en cada caso en particular la forma más conveniente y eficaz. El concepto de extinción va íntimamente ligado al tetraedro del fuego: la extinción del fuego se logrará reduciendo o quitando alguno de los elementos que lo conforman.

**ENFRIAMIENTO** O reducción de la temperatura consiste en aplicar algún agente que absorba el calor de la combustión directamente de las llamas o el combustible, lo que produce que la temperatura baje por debajo del punto de vaporización y por ende se producirá la extinción. El agente extintor más usado es el AGUA, de fácil obtención, bajo costo y con gran poder de absorción del calor.

**SOFOCACIÓN** O eliminación del agente oxidante, método consistente en quitar el oxígeno (principalmente del aire) a la combustión. Esto puede lograrse cubriendo el combustible en llamas con ESPUMA, VAPOR, TIERRA, ARENA, Etc. También usando un gas que lo desplace, por ejemplo, el CO<sub>2</sub>.



## REMOCIÓN O SEGREGACIÓN

Quitando el combustible, método más difícil de realizar, se logra quitando de las cercanías del siniestro el material aún no incendiado, como el caso de los incendios forestales o de pastizales donde se trata de retirar todo elemento combustible formando una brecha o cortafuego. En hidrocarburos esto se logrará, en el caso de incendio de refinерías o depósitos, al **TRASVASAR EL COMBUSTIBLE** de un tanque ardiendo a otro lejano por medio de cañerías instaladas de ante mano o colocadas en el momento a tal efecto, en el caso de siniestros en tuberías de hidrocarburos líquidos o gaseosos, **CORTANDO EL**

## SUMINISTRO de combustible



## INHIBICIÓN DE LA REACCIÓN EN CADENA

Algunos agentes extintores, tales como el polvo químico seco y el halón, interrumpen la producción de llama en la reacción química. Este método de extinción es efectivo sólo en combustibles líquidos y gases ya que ellos no pueden arder en la forma de fuego rescoldo. Si se dé la extinción de materiales en fase de rescoldo, se requiere contar con capacidad adicional de enfriamiento.



## 6. Bibliografía

- Manual de Seguridad en el Trabajo - Fundación Mapfre (pág. 843 incendio y autoprotección)
- Manuales de Red Proteger – Ing. N. Botta
- Manual Centro de Operaciones y Capacitaciones de Federación Santafesina De Asociaciones De Bomberos Voluntarios – Unidad Fuego