

CAPÍTULO 6

EL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

NECESIDAD DE CONOCER LOS FUNDAMENTOS SOBRE EL FUEGO

El fuego ha sido un compañero inseparable del hombre desde tiempos remotos, y desde la antigüedad lo utilizó como elemento de protección, para iluminación, calefacción o transformación de los alimentos. Posteriormente lo usó en procesos industriales. Actualmente hay una amplia gama de utilidades íntimamente ligadas a la utilización del fuego.

Pero así como bajo control es un inestimable aliado, cuando se descontrola se transforma en un terrible enemigo. La mejor forma de controlar y derrotar a un enemigo es conocerle. Por eso, cualquier persona que se dedique a la seguridad contra incendios debe entender como se produce y desarrolla el proceso químico que conocemos como fuego. Este conocimiento constituye el arma con la que combatir y vencerlo.

FUNDAMENTOS QUÍMICOS

Para entender el proceso químico que conocemos como fuego es preciso comprender también la estructura general de la materia, los cambios de estado que esta experimenta en función de las influencias externas, principalmente la del calor, y como se producen las reacciones químicas entre diversos elementos, especialmente las reacciones de oxidación.

Elementos químicos simples y compuestos

Los elementos químicos son sustancias puras, con propiedades fijas, que no se pueden descomponer en otras diferentes. Se representan con una o dos letras características. Así el hidrógeno se representa con la letra H, el sodio se representa Na, el oxígeno O, el hierro Fe, y el nitrógeno N.

Algunos elementos pueden combinarse entre sí para formar compuestos. Estos compuestos pueden descomponerse, por diversos métodos, en los elementos que los componen. Uno de los métodos por lo que algunos compuestos se descomponen es por medio del calor.

Cada elemento presenta propiedades físicas y químicas propias, y distintas de las de otros elementos. Sin embargo, algunos elementos presentan ciertas semejanzas entre sí que permiten clasificarlos.



Figura 6.1. Conociendo el comportamiento del fuego resulta más sencillo saber como actuar para enfrentarse a él.

Una primera clasificación permitiría clasificar a los elementos en metales y no metales. Pero si la clasificación se hace más detallada pueden establecerse múltiples grupos o familias de elementos con propiedades físicas y químicas muy parecidas. Un ejemplo de familia de elementos es la de los halógenos, familia formada por flúor, cloro, bromo, yodo y ástato; los cuatro primeros son conocidos en el ámbito de la extinción de incendios porque forman parte de los productos químicos conocidos como halones.

Átomo y molécula

Los elementos están formados de átomos. Un átomo es la parte más pequeña en que podría dividirse un elemento manteniendo sus propiedades.

Los átomos están formados por diversas partículas elementales, unas cargadas eléctricamente y otras no.

Páginas suprimidas en esta muestra

Se define como presión de vapor de un líquido a la presión a la que se mantiene un equilibrio entre su fase líquida y su fase gaseosa.

En los líquidos volátiles, es decir los que tienen mucha facilidad para evaporarse, la presión de vapor es muy alta, y se necesitaría mucha presión sobre la superficie para detener la vaporización. Si embargo, los líquidos con presión de vapor baja, desprenden pocos vapores.

La presión de vapor indica la mayor o menor facilidad de vaporización de un líquido combustible y determina su facilidad para inflamarse. Los combustibles líquidos con alta presión de vapor son más peligrosos.

La temperatura de ebullición de un líquido es aquella a la que la presión de vapor iguala a la presión atmosférica.

A la temperatura de ebullición, la presión de vapor en toda la masa del líquido es suficiente para sobrepasar la presión atmosférica, formándose burbujas de vapor dentro del líquido, que ascienden hacia su superficie.

Pirólisis

Cuando aplicamos suficiente calor a un trozo de madera, en primer lugar se produce la evaporación del agua que contiene y posteriormente empieza a descomponerse, desprendiendo vapores combustibles, lo que se manifiesta con un cambio de color. Cuando los vapores y gases se producen en cantidad suficiente, se inflaman y, a partir de ese momento el calor producido en el proceso puede mantener la combustión.

Los combustibles sólidos con moléculas complejas se descomponen al calentarse por encima de determina-

das temperaturas, transformándose en otros subproductos, que pueden ser sólidos, líquidos, gaseosos o estar en fase de vapor. Cuando esto ocurre puede apreciarse una decoloración del sólido, en la parte de su superficie que se está calentando. La descomposición de los sólidos por el calor se llama pirólisis.

La pirólisis puede producir productos tóxicos y gases y vapores combustibles, que son los que se queman realmente durante la combustión del sólido cuando su mezcla con el aire alcanza las condiciones idóneas de concentración y temperatura.

En realidad no arde el sólido, sino los gases y vapores combustibles que se desprenden del sólido cuando se descompone por efecto del calor.

Dilatación

Se conoce como dilatación el incremento de volumen que experimenta un cuerpo cuando se eleva su temperatura.

Si aplicamos calor a una barra metálica, esta se calentará. Según vaya calentándose se irá dilatando, es decir incrementará su volumen en todas las dimensiones. Al ser la dimensión predominante la longitud, la dilatación mayor se producirá a lo largo de la barra.

Cada elemento tiene un coeficiente de dilatación distinto, es decir su incremento de volumen al subir su temperatura un grado será diferente de unos a otros.

La dilatación de una columna de mercurio o alcohol, al variar su temperatura, se utiliza en los termómetros, simplemente incorporando una escala graduada.

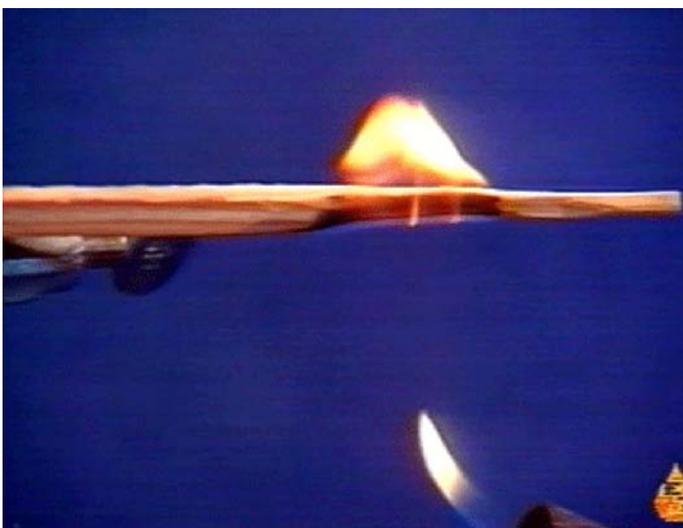


Figura 6.9. Al calentarse, la madera cambia su composición química, cambia de color y desprende vapores inflamables



Figura 6.10. Los termómetros se basan en la dilatación de un líquido dentro de una escala graduada.

La densidad de un cuerpo es la relación entre su masa y su volumen. Al calentar un cuerpo se incrementa su volumen y su densidad disminuye.

El calentamiento de un sólido se emplea inicialmente en dilatarlo. Puede llegar a fundirse, transformándose en un líquido más o menos denso; o puede llegar a pirrolizarse, transformándose en otros productos, sólidos, líquidos o gaseosos.

Al calentarse un líquido se dilatará. Si el líquido está en un recipiente, este también se dilatará un poco, de modo que la dilatación real del líquido incluirá también la pequeña dilatación del recipiente. Posteriormente, el líquido se vaporizará, pasando a fase gaseosa.

Relación entre la presión y el volumen de un gas en función de su temperatura

Los gases se expanden, es decir, se adaptan completamente al volumen del recipiente que los contiene.

El volumen de un gas, su presión y su temperatura están relacionados entre sí del siguiente modo:

- Si se incrementa su presión disminuirá su volumen o se incrementará su temperatura, o ambas cosas simultáneamente; y a la inversa
- Si se incrementa su temperatura se incrementa el volumen o se incrementa su presión, o ambas cosas simultáneamente; y a la inversa

Esta propiedad se puede expresar por las siguientes fórmulas matemáticas que relacionan la presión P, el volumen V, y la temperatura T de un gas:

$$\frac{PV}{T} = c \quad PV = cT$$

En estas fórmulas c es un valor constante, es decir siempre igual. La temperatura T utilizada en esta fórmula es la temperatura absoluta, y se mide en grados Kelvin; para transformar una temperatura en grados Celsius o Centígrados a grados Kelvin, hay que sumarle 273, de modo que 0°C son 273 °K.

Como c no cambia, si se incrementa el valor de la temperatura T, se tendrá que incrementar el producto del primer término de la fórmula. Subirá la presión P, o el volumen V, o ambos.

Si el gas está encerrado en un recipiente, por ejemplo en un depósito de propano, como no puede incrementarse el volumen porque lo impiden las paredes del recipiente, se incrementará la presión P del gas sobre las paredes del recipiente.

Si se sigue incrementando la temperatura, la presión crecerá hasta que se dispare la válvula de seguridad, dejando escapar parte del gas. Si no hubiese válvula de seguridad, la presión crecería hasta que las paredes del recipiente no fuesen capaces de soportar la presión, y se romperían.

Si se enfría el recipiente, disminuirá también la temperatura del gas en el interior, disminuyendo la presión.

Las formulas anteriores pueden expresarse también en función de las condiciones iniciales de presión, volumen y temperatura (P1, V1, T1) y las finales (P2, V2, T2):

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

A esta expresión se la conoce también como *ecuación de los gases perfectos*. En los gases reales y en las mezclas de gases, esta fórmula está afectada por un coeficiente de compresibilidad que es característico de cada gas. No es aplicable completamente a los gases que se licuan, ya que a partir del momento de que pasan a estado líquido esta fórmula no se cumple. No obstante, tal como está planteada, explica perfectamente el comportamiento de los gases al variar sus condiciones de presión, volumen o temperatura.

La citada fórmula es el compendio de varias leyes sobre los gases enunciadas por diversos estudiosos:

- a) Si la temperatura permanece constante, el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión que se le aplica (Ley de Boyle-Mariotte). Es decir, si se incrementa la presión aplicada, disminuye el volumen, y si disminuye la presión se incrementa el volumen.

En la práctica esto se utiliza para introducir más gas en un recipiente incrementando la presión. Muchos gases al llegar a una determinada presión se convierten en líquidos, y su volumen ya no seguirá disminuyendo.

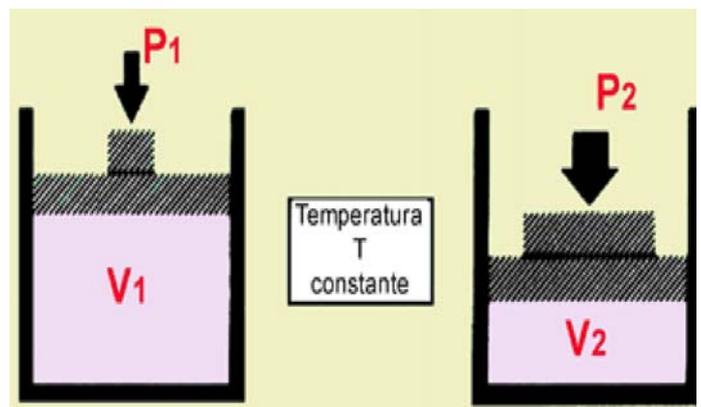
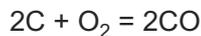


Figura 6.11. En un gas a temperatura constante, un incremento de la presión supone una disminución del volumen.

Páginas suprimidas en esta muestra

Pero si la combustión durase mucho tiempo, iría disminuyendo el oxígeno en el aire y la reacción llegaría a ser distinta. Se unirían dos moléculas de carbono con cada molécula de oxígeno, dando lugar a dos moléculas de un compuesto distinto, monóxido de carbono. La reacción se representaría así:



El compuesto formado en este caso, monóxido de carbono es muy tóxico, por lo que los efectos sobre el organismo son muy dañinos. Una persona puede morir en muy poco tiempo si respira una atmósfera con determinadas concentraciones de este gas. Es el caso de los braseros de carbón, que queman mal por estar muy cubiertos por la ceniza; por ello producen monóxido de carbono, que es origen de muchas intoxicaciones domésticas.

El CO es también inflamable por encima de 600 °C por lo que tiene una gran influencia en los incendios en recintos cerrados.

La oxidación de las sustancias que contienen carbono e hidrógeno produce reacciones exotérmicas, es decir, desprenden calor. Ese es el caso de todos los combustibles de origen orgánico, como la madera, el alcohol, los hidrocarburos como el petróleo y sus derivados, etc.; todos ellos tienen en sus moléculas carbono y también hidrógeno.

EL FUEGO, UNA REACCIÓN DE OXIDACIÓN

Una reacción de oxidación se acelera cuando se incrementa la temperatura.

Cuando se pone en contacto un agente oxidante como el oxígeno, con un material orgánico como el papel, se produce una reacción química entre los dos productos que tiende a formar compuestos más estables. Así, un papel blanco dejado al aire libre va cambiando de color adquiriendo tonos más oscuros porque va oxidándose. Si el papel está expuesto al sol, este cambio de aspecto provocado por la oxidación será mucho más rápido porque la temperatura es más elevada. Finalmente, si concentramos los rayos del sol con una lupa, es decir si aceleramos aún más el proceso de oxidación incrementando la temperatura, el papel puede empezar a arder.

Cuando la oxidación se produce con gran rapidez, se hace sensible la liberación de energía en forma de luz y calor, en el proceso de formación de compuestos químicos más estables. Esta reacción se denomina combustión, y el producto que reacciona con el oxígeno es el combustible.

El fuego es pues una combustión, es decir, una reacción química de oxidación de un combustible que se produce con gran rapidez, produciendo luz y calor. Desde el punto de vista químico es similar al envejecimiento del papel, o a la oxidación de los metales.

La velocidad de una combustión depende de las características del combustible y del comburente. Algunos productos como el hidrógeno arden a gran velocidad: La velocidad de combustión del hidrógeno en una atmósfera con solo un 11% de oxígeno es de 3,3 kilómetros por segundo, superior a la velocidad del sonido; se produce un tipo de explosión conocido como detonación.

Un cigarrillo arde lentamente en la proporción habitual de oxígeno en la atmósfera, pero arderá con gran rapidez si se pone en contacto con una fuente de oxígeno puro.

COMO SE PRODUCE EL FUEGO

Cuando se ponen en contacto, en la proporción suficiente, un agente oxidante, un combustible y una fuente de calor como energía de activación, se produce fuego.

Una vez iniciado, el fuego produce el suficiente calor para mantener la combustión, mientras sigan presentes en la cantidad suficiente el combustible y el comburente. El fuego es pues una reacción de oxidación automantenida y exotérmica, es decir, que libera calor.

Estos tres elementos componen lo que se ha venido en llamar triángulo del fuego. El triángulo del fuego esquematiza los tres elementos básicos para que se inicie una combustión. También identifica los fuegos superficiales o de brasas, en los que no hay llamas.



Figura 6.17. El triángulo del fuego.

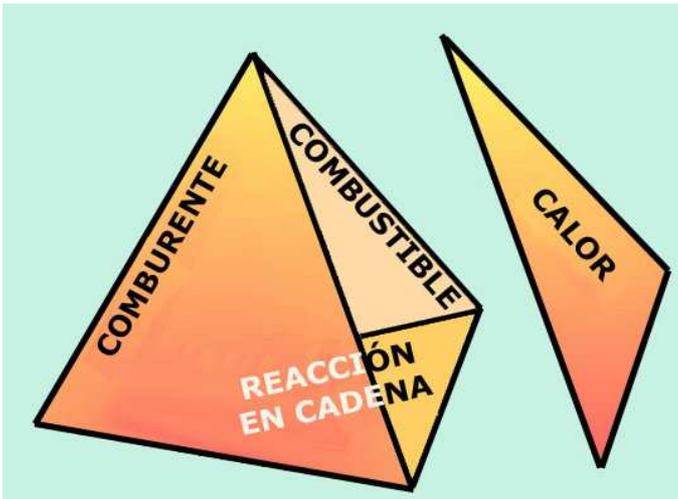


Figura 6.18. Tetraedro del fuego.

En los fuegos con llama, el proceso automantenido de la llama se debe a un conjunto de reacciones químicas complejas producidas en el interior de la llama que se conoce como reacción en cadena. Si se interfiere esta reacción en cadena, las llamas desaparecen. Al conjunto de comburente, combustible, calor y reacción en cadena se le conoce como tetraedro del fuego. El tetraedro del fuego identifica a los fuegos con llama.

Los principios de la extinción de incendios se basan esquemáticamente en el triángulo y el tetraedro del fuego: para que haya un fuego, debemos tener todos estos componentes. Los fuegos pueden evitarse o suprimirse, eliminando uno o más de estos componentes.

Comburente, combustible y calor son necesarios para que se produzca un fuego. Pero la combinación de estos tres elementos debe realizarse según unas determinadas proporciones. No cualquier contacto de comburente, combustible y calor dará lugar a un fuego. Para entender mejor el proceso es necesario analizar cada uno de estos tres elementos.

EL COMBURENTE O AGENTE OXIDANTE

El agente químico oxidante se denomina también comburente.

El oxígeno es el principal agente comburente, y participa en casi todos los procesos de oxidación, hasta tal punto que, salvo excepciones, puede decirse que el triángulo del fuego está compuesto por oxígeno, combustible y calor. Pero, en algunos casos, hay otros elementos químicos que pueden actuar como oxidantes.

La cantidad de oxígeno disponible para soportar la combustión es importante. El contenido normal del oxígeno en el aire es aproximadamente el 21 por ciento; el



Figura 6.19. El fuego se aviva en una atmósfera enriquecida de oxígeno.

nitrógeno constituye el 78 por ciento; y el 1 por ciento restante está compuesto de otros gases, como vapor de agua, argón y dióxido de carbono.

Para que se produzca un incendio es suficiente una concentración de oxígeno superior al 15%, por tanto cualquier combustible puede oxidarse simplemente estando en presencia de aire.

Las atmósferas deficientes en oxígeno se encuentran a menudo en incendios en edificios, al irse consumiendo el oxígeno durante el proceso de la combustión. Si el edificio está herméticamente cerrado, el fuego usará mucho del oxígeno disponible. Si un bombero entra sin equipo respiratorio autónomo, quedará pronto inconsciente y puede morir. Pero la carencia de oxígeno puede crear incluso otros problemas además de la imposibilidad de mantener la vida.

Concentraciones de oxígeno por debajo del 21 por ciento normal, afectan adversamente tanto a la producción de fuego como a la vida humana. El fuego comienza a decrecer por debajo del 18 por ciento de concentración de oxígeno. Concentraciones de oxígeno por debajo del 15 por ciento no soportan la combustión.

En sentido contrario, en atmósferas con más de un 21 por ciento de oxígeno, la combustión se acelerará.

Algunos otros productos oxidantes son el hipoclorito cálcico $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, nitrato amónico (NH_4NO_3), el peróxido de hidrógeno o agua oxigenada (H_2O_2), el óxido nitroso (N_2O) y el ozono (O_3). El fuego puede arder con más intensidad en presencia de estos productos.

Aunque el oxígeno juega un papel muy importante en la mayoría de los procesos de combustión, hay que tener en cuenta otras reacciones de oxidación en las

Páginas suprimidas en esta muestra

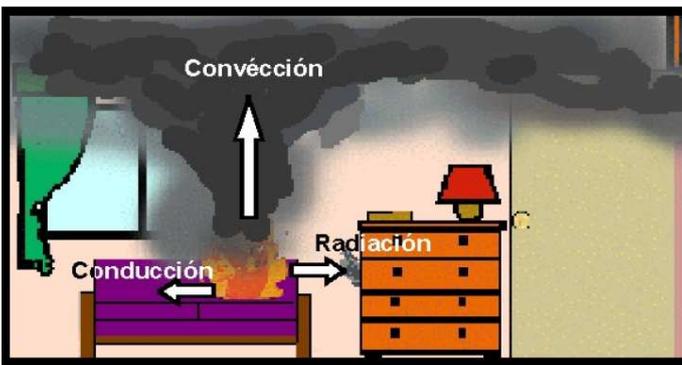


Figura 6.29. El calor de un incendio se transmite por convección, radiación y conducción.

Convección

La convección es la transferencia de calor a través de un fluido en movimiento, ya sea un líquido o un gas. En el caso del fuego son el aire y los gases de la combustión los que transmiten el calor por convección desde la ubicación del fuego hasta las superficies más frías. Por ello, a los efectos del estudio del fuego, consideraremos solo la convección como la transmisión de calor a través de gases y vapores.

Si un chorro de aire caliente contacta con una superficie húmeda, le transmitirá calor, por lo que la humedad se irá evaporando, y el sólido se secará. Es el principio utilizado en los secadores de pelo.

Un fuego calienta el aire circundante y genera gases y vapores, asimismo calientes. Cuando el aire se calienta se expande y se hace más ligero, por lo que tiende a ascender. De ese modo el aire caliente, el humo y los gases desprendidos de la combustión se desplazan hacia arriba. Según ascienden van calentando los elementos con los que contactan, ya sean sólidos, o el mismo aire circundante.

En el caso del fuego, a esta propagación de calor mediante corrientes de aire y gases de la combustión es lo que se denomina convección.

La diferencia de temperaturas, la ventilación y la velocidad de los gases calientes afectan a la transferencia de calor mediante convección.

Al principio del fuego, la convección juega el papel más importante moviendo los gases desde el fuego hasta las partes superiores de la habitación de origen y a través del edificio.

En un recinto cerrado el aire caliente, humo y gases se desplazan hacia el techo, inundando el recinto desde arriba hacia abajo. Por ello, para una persona atrapada en el humo, la zona más segura será la más próxima al suelo.

Si el humo caliente puede escapar del recinto ascenderá a través de los huecos que encuentre. Una escalera o hueco de ascensores puede hacer que un fuego se propague rápidamente desde una planta cualquiera del edificio a las plantas superiores, incluso sin que las plantas intermedias resulten afectadas.

Ya que el humo puede alcanzar temperaturas superiores a los 300 grados centígrados, e incluso contiene gases que pueden llegar a inflamarse, un incendio puede propagarse por este método de una planta a otra, aunque estén bastante alejadas entre sí.

Radiación

La radiación es la transferencia de energía calorífica, desde una fuente caliente a una superficie más fría, por ondas electromagnéticas sin la intervención de ningún medio.

Cualquier punto caliente emite radiaciones infrarrojas y ultravioletas que calientan a los objetos circundantes, aunque principalmente el calor se transmite a través de radiaciones infrarrojas. La energía radiante puede reducirse o bloquearse utilizando materiales opacos, del mismo modo que una pantalla de árboles proporciona alivio del calor del sol.

En un fuego, parte del calor del foco, por ejemplo de una llama, se transmite mediante el aire circundante y los gases de la combustión, mediante convección, pero otra parte se transmite por radiación a los objetos próximos.

Pero no solo será la llama misma la que transmita calor por radiación, sino que también lo hará el propio humo. De hecho, en fases avanzadas de los incendios

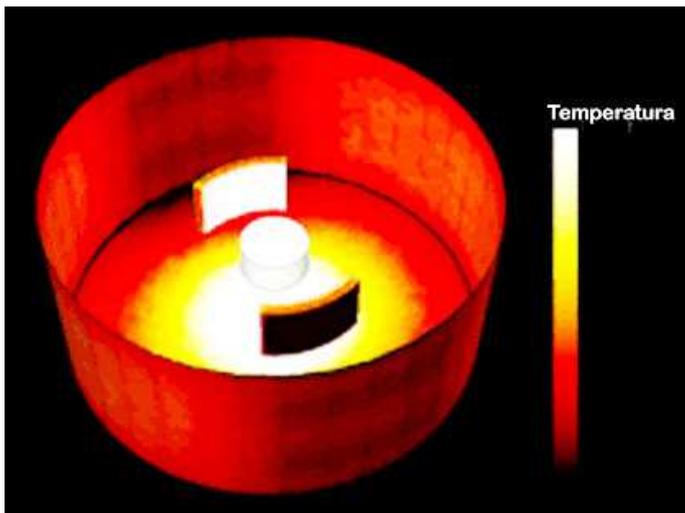


Figura 6.30. La radiación térmica puede ser apantallada por elementos que se interponen entre el foco caliente y el frío.

en interiores, la radiación procedente de los gases a nivel del techo tiene un papel fundamental en la evolución del incendio.

Las radiaciones térmicas son absorbidas de distinto modo por las moléculas de los distintos productos que pueden estar presentes en la atmósfera de un incendio. Por ejemplo, las moléculas de agua absorben una gran cantidad de energía radiante, por lo que una cortina de agua puede ser una efectiva protección para los bomberos. Esto también explica que los grandes incendios forestales se propaguen más lentamente en días con elevada humedad ambiental.

La cantidad de calor emitida por radiación se eleva sensiblemente según se incrementa la temperatura del objeto radiante, en este caso el fuego. De hecho es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura (t^4 °K).

La cantidad de calor que recibe un elemento es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el objeto y el foco de emisión, pero está también afectada por la humedad ambiente y por otras partículas que puedan estar en suspensión en el aire entre emisor y receptor (por ejemplo vapor de agua), por lo que no puede calcularse utilizando solo el parámetro de la distancia.

Velocidad de liberación de calor de un combustible

La velocidad de crecimiento de un incendio en un recinto, y la posibilidad de propagación dependen de la velocidad de liberación de calor y de la cantidad de energía almacenada por el combustible (carga de fuego).

La velocidad de liberación de calor (Heat Release Rate o HRR) se mide en kilovatios o julios/segundo liberados en un determinado momento del incendio, y es



Figura 6.31. La velocidad de crecimiento de un incendio depende de la velocidad a la que los combustibles liberan calor.

proporcional a la velocidad de pérdida de masa del combustible y a su calor de combustión.

Una papelerera pequeña puede generar un incendio de 4 a 18 Kw., mientras que un sofá con espuma de poliuretano puede generar un fuego de más de 3000 Kw.

La carga de fuego se mide por la masa del combustible equivalente a la de madera.

LOS COMBUSTIBLES

Combustible es cualquier sustancia que puede sufrir una combustión. En función de su presentación física los combustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos.

Un mismo combustible puede presentarse en distintas fases, por ejemplo como líquido o como gas. La fase de un combustible puede depender de la temperatura y la presión y puede cambiar si cambian estas condiciones.

Los combustibles sólidos pueden arder en su estado natural, como en el caso del carbón, y normalmente en este caso lo hacen de modo superficial, pero, en general, los sólidos combustibles arden tras el proceso de descomposición térmica conocido como pirólisis.

Algunos líquidos, como la gasolina, se evaporan a temperatura ambiente, y están desprendiendo vapores incluso por debajo de 0°C. Sin embargo otros, como el gasoil, deben calentarse previamente para que desprendan vapores inflamables en suficiente cantidad para que se produzca un fuego.

A diferencia de los sólidos y los líquidos, los gases no precisan ninguna transformación para arder, basta que se mezclen con el aire en la proporción adecuada para arder.

TIPOS DE COMBUSTIÓN

La combustión puede producirse de dos formas, con llama y sin llama.

La combustión sin llama solo se produce en combustibles sólidos, mientras que la combustión con llama puede afectar tanto a combustibles sólidos como líquidos o gaseosos.

A los efectos de este capítulo consideraremos en adelante, que el agente oxidante presente en la combustión es el oxígeno.

Combustión sin llama

En la combustión sin llama, que puede representarse esquemáticamente con el triángulo del fuego, el oxígeno oxida al combustible sólido superficialmente y el proceso se mantiene debido al calor desprendido en el proceso.

Un ejemplo típico es la combustión de un cigarrillo, pero este tipo de combustión también puede darse en otros sólidos combustibles prensados, en carbón o madera, en silos de cereales y en otros combustibles sólidos cuando la velocidad de aporte de oxígeno es baja, por ejemplo en el interior de apilamientos.

La oxidación del tabaco en el caso del cigarrillo, igual que en el caso de combustiones superficiales de otros materiales celulósicos, produce una carbonización superficial y la oxidación de este residuo carbonoso desprende el calor que mantiene la combustión.

La temperatura de la combustión sin llama oscila alrededor de 600 °C, sensiblemente inferior a la temperatura de la llama que normalmente es superior a 900 °C.



Figura 6.32. La combustión de un cigarrillo es un buen ejemplo de combustión sin llama.

La combustión sin llama, con un aporte normal de oxígeno, se propaga a una velocidad de alrededor de 0,1 milímetros por segundo, del orden de diez veces inferior a la propagación de la llama en un sólido.

Sin embargo, la velocidad de esta combustión depende de la velocidad con que se aporte oxígeno a la reacción.

Si la velocidad de aporte de oxígeno es muy alta, también lo será el incremento de la temperatura de la combustión y su velocidad, lo que puede provocar la pirólisis de los combustibles sólidos, desprendiéndose gases combustibles que provocarán la transición a un fuego con llamas.

Combustión con llama

En la combustión con llama, que se representa esquemáticamente con el tetraedro del fuego, los gases combustibles se mezclan con el oxígeno del aire y arden.

Esta combustión puede irse produciendo según los gases se van mezclando con el oxígeno en la proporción correcta, o puede haber previamente una mezcla antes de contactar con la fuente de ignición.

Cuando la combustión va teniendo lugar en las zonas en las que se va mezclando el combustible con el aire se la denomina combustión difusiva, y a las llamas producidas, se las conoce como llamas de difusión.

Las llamas de difusión constituyen lo que conocemos normalmente como fuego. Tienen formas cambiantes, ya que combustible y comburente se mezclan, arden y desaparecen, en un proceso que se da con diferentes concentraciones de la mezcla, lo que explica los diferentes colores dentro de la misma llama.

Páginas suprimidas en esta muestra

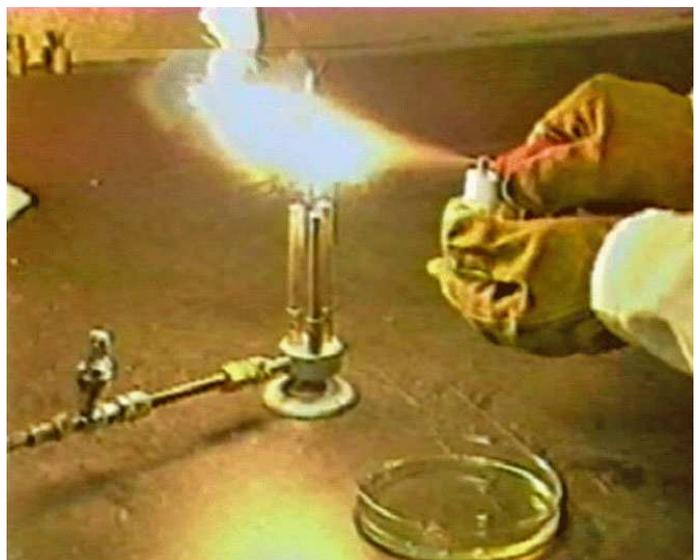
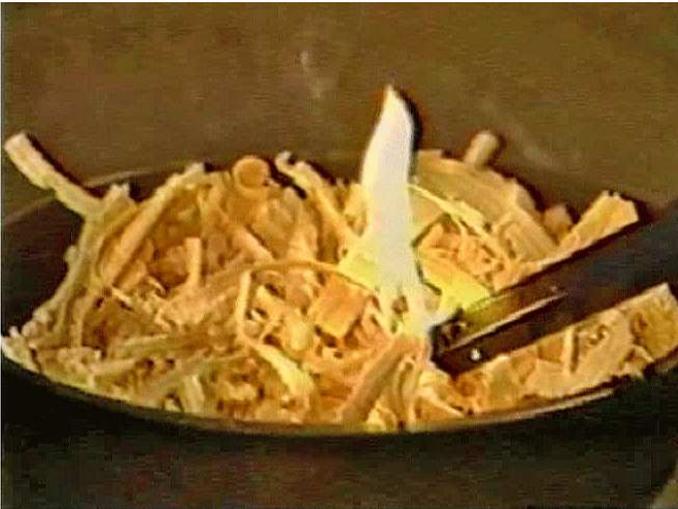
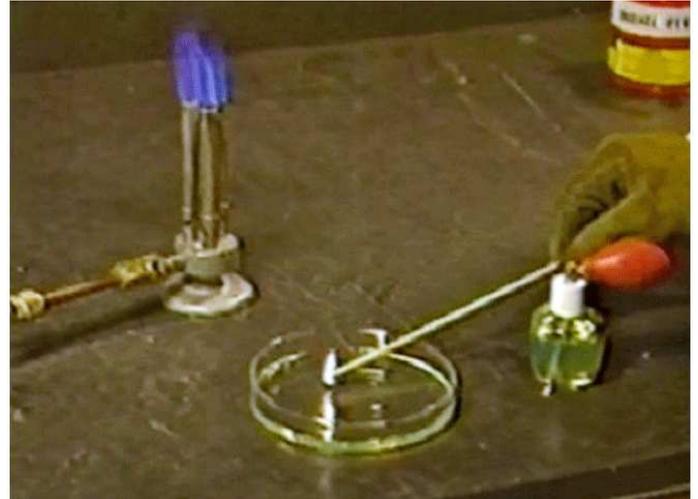
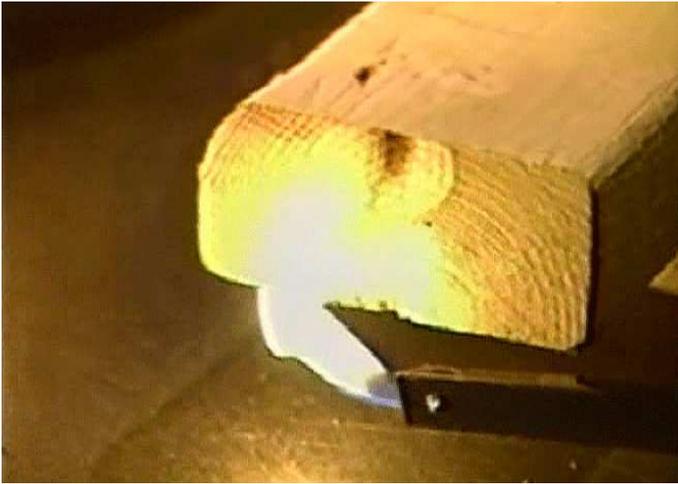


Figura 6.37. La misma llama que no podrá hacer arder un bloque de madera, sí conseguirá inflamarla si se hace virutas.

Figura 6.38. El gasoil que no arde al acercarle una llama arderá si se pulveriza sobre la llama.

veriza sobre una llama, porque en el caso del recipiente, parte del calor se propaga hacia el interior del líquido y otra parte se usa para vaporizar el gasoil de la superficie, mientras que en el caso de la pulverización, todo el calor se usa en la vaporización, por el pequeño tamaño de las gotas.

Los sólidos combustibles finamente divididos en suspensión en el aire pueden comportarse casi como un gas premezclado y arder explosivamente. Ese puede ser el caso de la harina, el serrín, y, en general, cualquier combustible en polvo.

Los gases combustibles no necesitan ninguna transformación antes de arder, como en el caso de los sólidos y líquidos, solo es preciso que la mezcla que formen con el aire esté dentro del rango de inflamabilidad.

Para su uso comercial algunos gases se comprimen, con objeto de aumentar la cantidad de gas almacenada dentro de un recipiente. En algunos gases, como el butano o propano, parte del gas se licua, coexistiendo dentro del recipiente una fase gaseosa y otra líquida.

En estos casos de gases licuados a presión, si se produce una fuga en fase líquida, esta se vaporizará al pasar a presión atmosférica. La cantidad de gas fugado será en estos casos mucho mayor que si la fuga se produce en fase gaseosa. Por ejemplo, en el caso de una botella de propano que fugue por la válvula, la cantidad de gas será 270 veces mayor si escapa en fase líquida (una botella tumbada) que en fase de vapor (una botella de pie).

CLASIFICACIÓN DE LOS FUEGOS SEGÚN EL TIPO DE COMBUSTIBLE

La normativa europea establece cinco tipos de fuego en función del tipo de combustible involucrado:

- Clase A: Fuegos de materiales sólidos, generalmente de naturaleza orgánica, cuya combinación se realiza normalmente con la formación de brasas.
- Clase B: Fuegos de líquidos o de sólidos licuables.
- Clase C: Fuegos de gases.

Tipo de Fuego según el combustible		Clasificación según normas		Características del fuego
		Europeas (UNE-EN 2)	Americanas (NFPA 10)	
Sólidos	Madera, tejidos, plásticos con alto punto de fusión, etc.	A	A	Brasas o brasas y llama
Líquidos	Líquidos inflamables y combustibles, y plásticos con bajo punto de fusión	B	B	Llamas
Gases		C		
Eléctricos	Normalmente fuegos de clase A en presencia de corriente eléctrica (aislamientos de cables)	No se consideran una clase de fuego	C	Llamas, y eventualmente brasas
Metales	Aluminio, magnesio, titanio, sodio, potasio y otros	D	D	Variables según el metal
Grasas y aceites de cocinar	Fuegos de grasas y/o aceites de cocinar en aparatos de cocina	F	K	Llamas

- Clase D: Fuegos de metales.
- Clase F: Fuegos derivados de la utilización de ingredientes para cocinar (aceites y grasas vegetales o animales) en los aparatos de cocina.

Aunque no responde a una clase definida por la normativa, en algunas ocasiones se han identificado con la letra E a los fuegos que se producen en presencia de una corriente eléctrica, por ejemplo los equipos eléctricos con tensión. En realidad, la mayoría de los fuegos en equipos eléctricos son normalmente fuegos de tipo A, ya que involucran a combustibles sólidos tales como los aislamientos plásticos de los conductores.

En los países americanos se utilizan como normas de referencia las de la NFPA. Esta normativa clasifica a los fuegos de líquidos y gases conjuntamente como fuegos de clase B, y a los fuegos de equipos eléctricos en tensión, o eléctricos, se les clasifica como de clase C. Se identifican igual que en Europa los fuegos de clase A (sólidos) y D (metales). Los fuegos en cocinas, desarrollados en grasas y aceites de cocinar se incluyen en la clase K de NFPA, del inglés "kitchen", cocina, equivalente a la clase F europea.

PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

Los productos generados por la combustión son luz, calor y humo. De estos productos de la combustión solo la luz no causa daños a las personas. El calor, y el humo

que se desprenden de la combustión pueden resultar dañinos para el ser humano al tiempo que pueden provocar la propagación del fuego a un punto alejado del origen del mismo.

El humo es la mezcla de partículas sólidas, gases, vapores y aerosoles, desprendidos de un material por combustión o pirólisis. Los aerosoles son partículas líquidas en suspensión en el aire.

Además de los efectos de estos productos en el desarrollo de un incendio, su influencia sobre la visibilidad y su toxicidad, determinan las posibilidades de escape y supervivencia de las personas expuestas.

Aunque en todo caso el humo y los gases de la combustión son dañinos para los seres vivos porque su elevada temperatura los hace nocivos y pueden causar lesiones irreversibles en los pulmones, uno de los principales peligros del fuego es la toxicidad de algunos gases desprendidos de la combustión.

El humo y los gases de la combustión son los principales peligros en un incendio y son los causantes de la inmensa mayoría de las víctimas en ellos producidos.

Los efectos de una intoxicación por humo pueden tratarse médicamente, pero el daño a los tejidos pulmonares causado por el aire caliente respirado no es inmediatamente reversible introduciendo aire fresco y frío.

Páginas suprimidas en esta muestra

crecimiento de calor que genera el incendio, hacen que el aire tienda a entrar en el edificio por las plantas bajas y a salir por las plantas altas. Si se abre una ventana de una planta baja entrará aire del exterior, pero si se abre una ventana de un piso alto, el aire del interior del edificio, tenderá a salir por dicha ventana, junto con el humo. En una determinada planta del edificio se produce el cambio de tendencia.

A ese plano donde se invierte la tendencia se le llama *plano de presión neutra*. La posición de este plano de presión neutra es variable, y depende de la temperatura exterior e interior, de la presión del viento sobre el edificio, etc.

Cuando la escalera de un edificio en el que hay un incendio está inundada de humo, la sobrepresión generada por este, le forzará a entrar por las rendijas de las puertas, y cualquier otra que encuentre.

Si un ocupante atrapado en un piso por debajo del plano de presión neutra abre una ventana, le entrará aire del exterior. Sin embargo, si un ocupante atrapado en un piso alto abre una ventana con la intención de que entre aire fresco en la habitación, o que se vaya el humo, puede encontrarse con que el humo procedente de la escalera, penetra más intensamente en la habitación donde está, debido al efecto chimenea, poniendo incluso en peligro su vida.

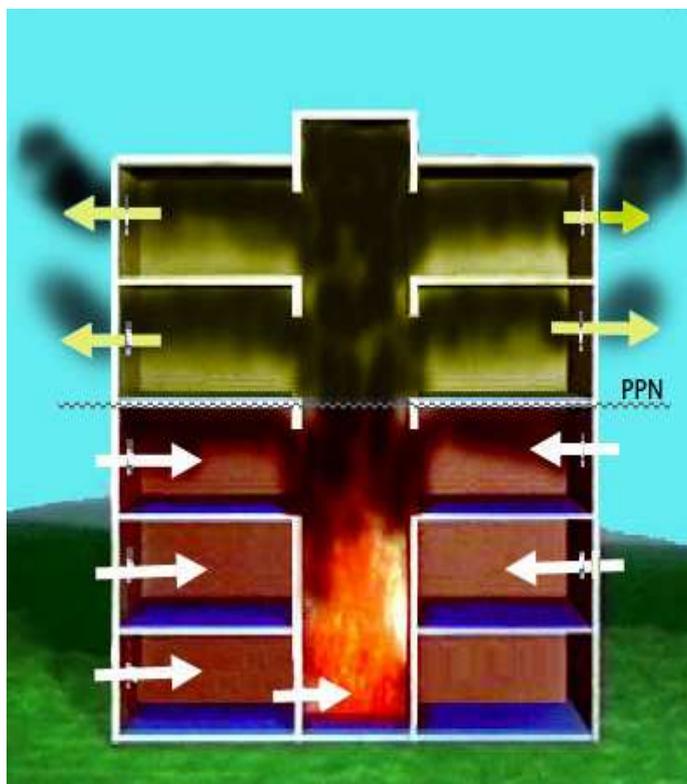


Figura 6.44. El aire entrará en el edificio por debajo del plano de presión neutra, y saldrá de él por encima de dicho plano.

LOS INCENDIOS EN EXTERIORES

Un fuego desarrollado al aire libre, independientemente de su magnitud, contará con un suministro ilimitado de oxígeno, así que continuará hasta tanto tenga suficiente combustible o suficiente calor.

En general, salvo que se provoque la extinción por la intervención humana o por causas naturales, el fuego continuará quemando hasta la total eliminación del combustible.

La influencia de la transferencia de calor por convección dependerá de las corrientes de aire generadas por la propia combustión y por el viento existente. Cuanto mayor sea la velocidad del viento, mayor será la aportación de oxígeno al fuego y más rápida y viva será la combustión.

Dado que la densidad de los gases disminuye según asciende su temperatura, el humo y el aire alrededor del fuego pesan menos según se van calentando, y ascienden. Al aire libre los gases no encuentran ninguna oposición a esta fuerza ascensional, y el humo seguirá ascendiendo al tiempo que se va enfriando. Cuando la temperatura del humo se iguale con la del aire que le rodea, el humo dejará de ascender y se estratificará, tendiendo entonces a extenderse horizontalmente.



Figura 6.45. el viento y la topografía tienen una gran influencia en los incendios en exteriores.

La configuración del terreno puede causar un papel importante, dado que puede potenciar la influencia de la transferencia de calor. Así por ejemplo, en un incendio forestal en la ladera de un monte, las corrientes ascendentes de calor irán precalentando los combustibles ladera arriba, haciendo más rápida la propagación en esa dirección. Por el contrario, el fuego se desarrollará con mayor dificultad ladera abajo, aunque esa sea la dirección del viento reinante.

La radiación también potenciará el fuego en una vaguada, ya que los combustibles en la ladera opuesta a aquella en la que está el fuego, se irán calentando con la radiación. Esto irá precalentando los combustibles y haciendo más rápida la aparición del fuego en la ladera opuesta de la vaguada, incluso antes de que la alcancen las llamas, si la radiación llega a ser suficientemente importante.

DESARROLLO DEL INCENDIO EN UN EDIFICIO

Los incendios en el interior de edificios se desarrollan de formas complejas que dependen del combustible y de la configuración de los recintos.

El volumen que ocupa el aire y el humo va aumentando según se incrementa su temperatura, por lo que se dilatan, disminuyen su densidad y ascienden en una columna de gases calientes llamada penacho.

La corriente resultante atrae aire frío a la base del fuego y dentro del penacho.

Cuando no hay un techo sobre el fuego, los gases calientes y el humo del penacho continúan ascendiendo verticalmente. Pero cuando el penacho contacta con un techo, los gases calientes y el humo que ascienden en el penacho chocan contra el techo y se propagan a lo largo de este hasta que son detenidos por una pared. Si el fuego está lejos de las paredes esta propagación se realizará en todas direcciones.

Cuando los gases calientes alcanzan el techo, fluyen desde el eje del penacho. La capa es más espesa y más caliente cerca del eje del penacho y llega a ser menos espesa y más fría según se incrementa la distancia al eje del penacho. Los gases de la capa superior pueden transmitir calor por convección y radiación.

En un incendio confinado en un compartimento, se irá formando una capa de gases junto al techo, que cada vez irá siendo más densa y de mayor espesor, de modo que la parte inferior de la capa descenderá. La temperatura de los gases calientes se incrementará. El calor radiante de la capa llegará a calentar el combustible no prendido.

Según progresa la combustión, el fuego puede continuar mientras tenga suficiente oxígeno. El aire entrará en el penacho por la parte inferior proporcionando oxígeno para la combustión.

Si la cantidad de aire no es suficiente para quemar todos los combustibles que están siendo pirolizados por el fuego, la capa del techo contendrá productos de la combustión sin quemar, tales como vapores hidrocarbonados, monóxido de carbono, y partículas de hollín.

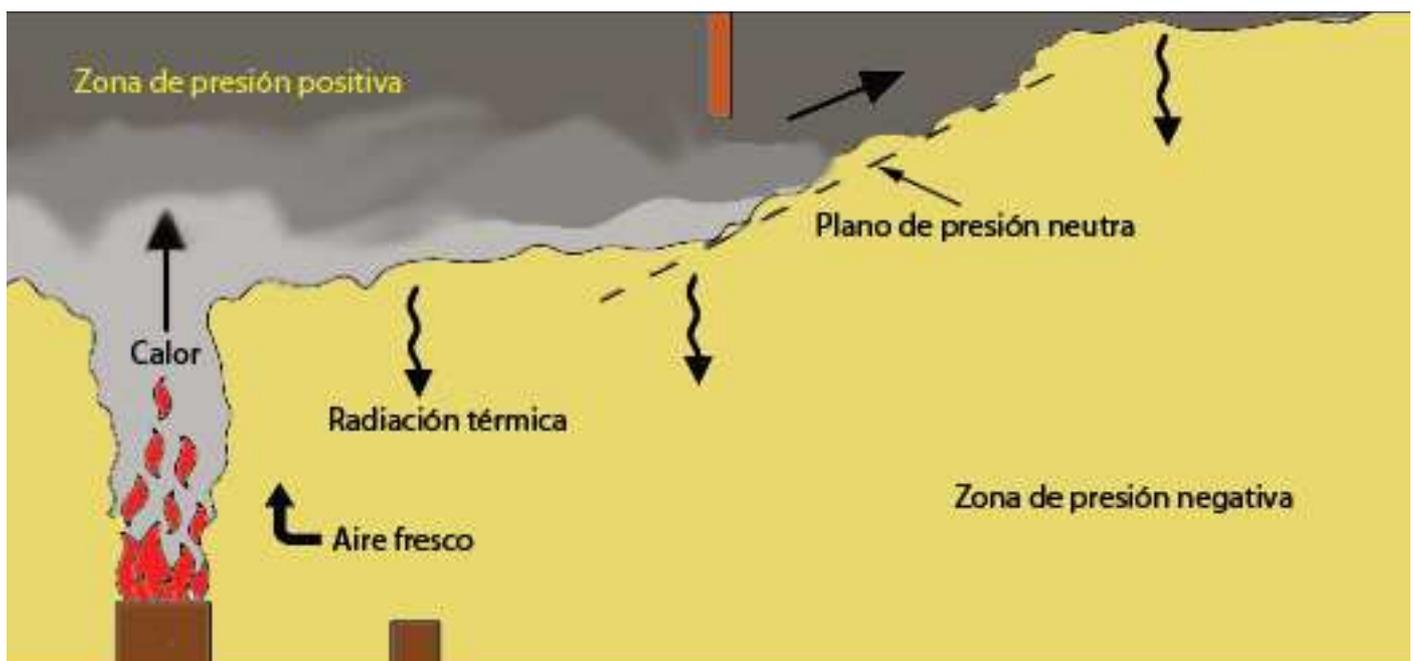


Figura 6.46. El penacho de humo y calor creado por el fuego aspira aire por su parte inferior e irradia calor a otros objetos.

Rollover

Si el incendio continúa creciendo, la temperatura de los gases de la capa del techo ascenderá, incrementando la intensidad de la radiación a los combustibles expuestos bajo la capa de gases.

Según asciende la temperatura de estos combustibles, se producen más gases de pirólisis, entre ellos monóxido de carbono y gases hidrocarbonados, cuya mezcla con el aire se irá aproximando progresivamente a su límite inferior de inflamabilidad, al tiempo que la temperatura se irá acercando su temperatura a la de ignición de algunos de los gases que forman parte del humo.

Finalmente los gases junto al techo alcanzarán su rango de inflamabilidad y su temperatura de inflamación, y se prenderán generando grandes turbulencias. Un frente de llama se extenderá rápidamente en oleadas junto al techo. A este fenómeno se conoce como rollover.

Este fenómeno de aparición de un frente de llamas que se propaga a lo largo del techo se produce cuando la capa de humo se encuentra a una temperatura de entre 600 y 650 °C.

Flashover o combustión súbita generalizada

Una vez que se ha producido el rollover, la radiación que generan los gases del humo ardiendo al nivel del techo produce un dramático incremento de la radiación, que puede alcanzar 20 Kw/m².

La pirólisis de todos los combustibles de la habitación se acelera extraordinariamente y, finalmente se inflaman de forma casi simultánea. Este fenómeno se conoce como flashover, una condición que provoca la combustión súbita generalizada en toda la habitación.

El término inglés flashover es una composición de las palabras flash y over, que indica la llamarada generalizada. Es un término aceptado internacionalmente por la simplificación fácil de este fenómeno en una sola palabra.

El flashover o combustión súbita generalizada es un fenómeno caracterizado porque el fuego acelera su crecimiento bruscamente hasta llegar a afectar a todos los combustibles de la habitación.

La combustión generalizada provoca un rápido incremento tanto de la temperatura como de la producción de humo y gases tóxicos.



Figura 6.47. Rollover: los gases arden al nivel del techo.



Figura 6.48. Flashover o combustión súbita generalizada.

Influencia de la configuración del recinto en el desarrollo del incendio

La velocidad de crecimiento de un incendio en un recinto estará afectada por diversas variables: la cantidad, naturaleza y configuración del combustible; la cantidad y movimiento del aire de ventilación; el volumen del recinto, la altura del techo, y la localización del fuego respecto de paredes y rincones.

En los recintos de gran volumen la elevación de la temperatura será más lenta al dispersarse más ampliamente la capa de humo y disminuir la temperatura de la misma, y por tanto se retrasará o posiblemente se evitará el flashover. Los espacios más pequeños pueden acelerar el desarrollo de la capa de humo, reduciendo el tiempo hasta el flashover.

Cuando el combustible está lejos de una pared, el aire tiene libertad para fluir hacia el penacho desde todas las direcciones y mezclarse con los gases de la combustión. Esto lleva aire para la combustión a la zona de llamas. El aire también enfría la parte superior del penacho.

Páginas suprimidas en esta muestra

la energía de activación, mientras que en el caso del backdraft hay gases calientes que explotan al aportarles el comburente.

Para evitar estas explosiones de humo, los bomberos deben incluir entre sus tácticas de intervención para incendios en edificios una ventilación efectiva, de modo que se eliminen lo antes posibles los vapores combustibles que genera la propia combustión.

Pero no siempre la inflamación de los gases del humo se produce con fuerza explosiva. En ocasiones los embolsamientos de gases inflamables durante un incendio pueden inflamarse súbitamente pero sin reunir los requisitos de onda de presión asociados a una explosión.

Flashover y explosión de humo son los peligros mas graves con los que se enfrentan los bomberos mientras combaten un incendio en el interior de un edificio.



Figura 6.53. La aplicación de agua puede perturbar la estratificación térmica, y dificultar las tareas de extinción.

Evolución de las temperaturas en función del tiempo

Según avanza el incendio dentro de un recinto, las temperaturas irán creciendo, aunque de forma estratificada, siendo más rápido el incremento a nivel del techo y más lento al nivel del suelo.

Las diferencias de temperatura pueden ser considerables según la altura a la que se tomen, pudiendo

haber diferencia de varios cientos de grados centígrados entre la temperatura medida junto al suelo y la medida junto al techo en fases avanzadas del incendio.

La figura 6.50 muestra las temperaturas medidas por distintos termopares situados a diversas alturas de una habitación en la que desarrolla un incendio.

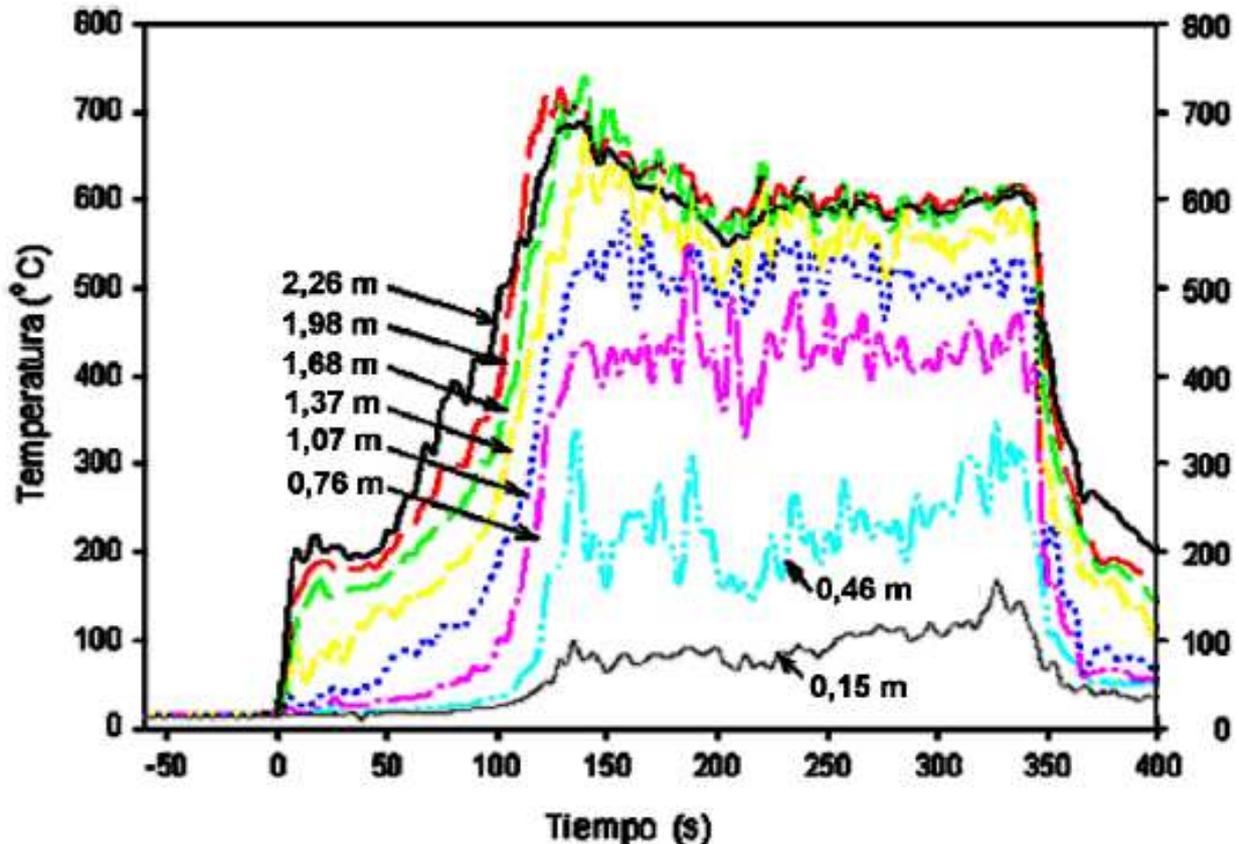


Figura 6.52. Evolución de las temperaturas dentro de un recinto incendiado de 2,26 m de altura de techo. Cada curva muestra la temperatura a una altura diferente de la habitación.

Páginas suprimidas en esta muestra