



Capítulo **2**

El comportamiento del fuego

Capítulo 2

El comportamiento del fuego

INTRODUCCIÓN

Los bomberos que responden a un incendio puede que tengan que hacer frente rápidamente a distintas condiciones. Puede que el humo y las llamas comporten un “riesgo para la vida” (peligro de supervivencia) de los ocupantes. La habitación origen del incendio puede estar a punto de un *flashover* (combustión súbita generalizada del contenido de una habitación). Si el edificio no se ventila, existe el riesgo de que se produzca una explosión de humo. Todas estas condiciones se derivan del fuego y su modo de comportamiento. Para realizar cualquier función de protección contraincendios de forma segura y efectiva, los bomberos deben tener conocimientos básicos sobre la ciencia del fuego y los factores que afectan a la ignición, el crecimiento y la propagación del mismo (comportamiento del fuego).

Este capítulo explica fundamentalmente los tipos de incendio que se encuentra un bombero que realiza intervenciones en edificios y construcciones. La mayoría de los conceptos que aparecen en este capítulo son válidos para los incendios forestales, aunque en este tipo de incidentes existe una serie de factores adicionales que también deben abordarse. Los incendios forestales se describen en otro manual.

El fuego ha sido una ayuda y también un obstáculo para la humanidad a lo largo de la historia. Pero el fuego, en su cara más hostil, también ha puesto en peligro nuestras vidas desde que empezamos a usarlo. El fuego es técnicamente una reacción química que requiere combustible, oxígeno y calor para producirse. Durante los últimos 30 años, los científicos y los ingenieros han aprendido mucho sobre el fuego y su comportamiento.

Este capítulo presenta varios conceptos básicos de las ciencias físicas que afectan a la ignición y propagación del fuego. La comprensión del comportamiento del fuego y las fases que éste atraviesa mientras crece, temas que también se incluyen en este capítulo, ayuda a los bomberos a seleccionar la táctica adecuada para luchar contra los incendios y extinguirlos. Este conocimiento también ayuda a los bomberos a identificar los riesgos potenciales para ellos mismos y otras personas mientras trabajan en el lugar del incendio.

CIENCIAS FÍSICAS

[NFPA 1001: 3-3.9(a); 3-3.11(a)]

El *fuego* es una reacción química rápida que libera energía y productos de combustión en una composición muy diferente al combustible y el oxígeno que se combinaron para generarlo. Las *ciencias físicas* estudian el mundo físico a nuestro alrededor e incluyen disciplinas como la química y la física y las leyes sobre la materia y la energía. La información científica básica a la que hacemos referencia en esta sección se verá a lo largo de este capítulo.

Sistemas de medida

Todos los análisis científicos presentan la información mediante números. Por regla general, utilizan un sistema numérico para describir las mangueras que utilizan para luchar contra el fuego (de 45 mm o 1 3/4 pulgadas), la capacidad de la bomba de un vehículo (de 5.678 L/min o 1.500 gpm) o la longitud de una escala (de 7,3 m o 24 pies). Para que estos números tengan sentido, deben utilizarse con unidades de medida que describan lo que se está midiendo; por ejemplo, la distancia, la masa o el tiempo. Las unidades se

TABLA 2.1
Las unidades básicas de medida

Magnitud	Sistema anglosajón	Sistema internacional
Longitud	pie (ft)	metro (m)
Masa		kilogramo (kg)
Tiempo	segundo (s)	segundo (s)
Temperatura	grado Fahrenheit (°F)	grado celsius (°C)
Intensidad de corriente eléctrica	amperio (A)	amperio (A)
Cantidad de sustancia		molécula (mol)
Intensidad luminosa		candela (cd)

basan en un sistema de medida. En Estados Unidos, se utiliza habitualmente el Sistema Anglosajón de medida. La mayoría de los demás países y la comunidad científica utiliza una forma del sistema métrico llamada Sistema Internacional de Unidades o SI (del francés, *Système International*)

Cada sistema define unidades específicas de medida. La tabla 2.1 muestra algunas de las unidades básicas utilizadas en cada sistema.

A partir de estas unidades básicas se forman una gran variedad de unidades derivadas; por ejemplo, la unidad básica de longitud del SI es el metro (*m*). A partir de esta unidad básica se pueden crear medidas para áreas como el metro cuadrado (m^2) y para volúmenes como el metro cúbico (m^3). Las medidas de velocidad pueden derivar de medidas de longitud y tiempo y expresarse en pies por segundo o metros por segundo (p^2 o m/s). En la explicación sobre el comportamiento del fuego que sigue a continuación, se presentarán y comentarán las unidades derivadas para el calor, la energía, el trabajo y la potencia. Otras unidades que se utilizan en el SI son la hora (*h*) y el litro (*L*). Aunque no se consideran unidades básicas, tienen una aceptación y un uso amplios. La masa se considera una unidad básica, pero el peso no. El peso es la medida de la fuerza gravitatoria que actúa sobre una masa específica. En el Sistema Anglosajón, la unidad del peso es la libra (*lb*). En el SI, el peso se considera una fuerza y se mide en newtons (*N*). En este capítulo las unidades se presentan en el SI y en el Sistema Anglosajón.

Uno de los motivos por los que la comunidad científica utiliza el SI es porque se trata de un sistema muy lógico y sencillo basado en el sistema decimal. Esto permite la manipulación y conversión de unidades sin las fracciones necesarias en el Sistema Anglosajón; por ejemplo, en el Sistema Anglosajón la unidad de longitud es el pie. Las otras unidades reconocidas son la pulgada (0,0833 pies), la yarda (36 pulgadas o 3 pies) y la milla (5.280 pies o 1.760 yardas). En el SI, la unidad de longitud es el metro. Para expresar la longitud en múltiplos y submúltiplos de estas unidades, el sistema utiliza los prefijos de la tabla 2.2. Por lo que un centímetro es 0,001 metros y un kilómetro son 1.000 metros.

TABLA 2.2
Nombres y símbolos de los prefijos del SI

Prefijo	Símbolo	Factor de multiplicación
Tera	T	10^{12} , un billón
Giga	G	10^9 , mil millones
Mega	M	10^6 , un millón
Kilo	k	10^3 , mil
Deci	d	10^{-1} , una décima parte
Centi	c	10^{-2} , una centésima parte
Mili	m	10^{-3} , una milésima parte
Micro	μ	10^{-6} , una millonésima parte
Nano	n	10^{-9} , una milmillonésima parte
Pico	p	10^{-12} , una billonésima parte

Energía y trabajo

En cualquier ciencia, la energía es uno de los conceptos más importantes. La *energía* se define sencillamente como la capacidad de realizar un trabajo. El trabajo se produce cuando se aplica una fuerza a un objeto a lo largo de una distancia (véase la figura 2.1); es decir, el *trabajo* es la transformación de la energía de una forma a otra. La unidad del SI para el trabajo es el julio (*J*). El julio es una unidad derivada que se basa en la fuerza expresada en newtons (que es, a su vez, una unidad derivada: $kg\ m/s^2$) y la distancia en metros. En el Sistema Anglosajón la unidad de trabajo es el pie-libra (*p/lb*).

Entre los muchos tipos de energía que se pueden encontrar en la naturaleza están los siguientes:

- **Química:** la energía que se libera como resultado de una reacción química, por ejemplo, una combustión.
- **Mecánica:** la energía que posee un objeto en movimiento, por ejemplo, una roca que baja rodando por una montaña.



Figura 2.1 Los bomberos trasladando una víctima en un rescate son un ejemplo de trabajo.

- **Eléctrica:** la energía que se desarrolla cuando los electrones pasan por un conductor.
- **Calorífica:** la energía que se transfiere entre dos cuerpos con temperatura diferente, por ejemplo, el Sol y la Tierra.
- **Luminosa:** radiación visible producida a nivel atómico, por ejemplo, una llama que se origina durante la reacción de combustión.
- **Nuclear:** la energía que se libera cuando los átomos se separan (fisión) o se unen (fusión); las centrales de energía nuclear generan energía a partir de la fisión del uranio-235.

La energía existe en dos estados: La *energía cinética* es la que posee un objeto en movimiento. La *energía potencial* es la que posee un objeto y que puede liberarse en el futuro (véase la figura 2.2). Una roca al filo de un acantilado posee energía mecánica potencial. Cuando la roca cae por el acantilado, la energía potencial se convierte en energía cinética. En un fuego, el combustible tiene energía química potencial. Cuando el combustible arde, su energía química se convierte en energía cinética adoptando las formas de calor y luz.

Potencia

La *potencia* es una cantidad de energía liberada durante un periodo de tiempo determinado. En nuestro ejemplo de trabajo anterior (véase la figura 2.1), se muestra a los bomberos trasladando una víctima a una distancia durante un rescate. Estos bomberos estaban gastando energía a lo largo de una distancia, por lo

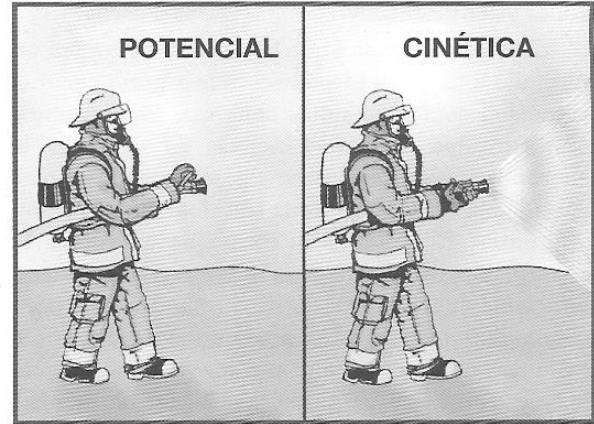


Figura 2.2 El agua en la manguera con la boquilla cerrada tiene energía potencial. Al abrir la boquilla, el agua se convierte en energía cinética.

que realizaban un trabajo. Si se supiera el tiempo que tardaron en completar el rescate, entonces se podría especificar la potencia necesaria para realizar el mismo.

A lo largo de la historia, las personas han utilizado el fuego para generar potencia de muchos modos. La energía potencial de un combustible se libera durante la combustión y se convierte en energía cinética que hace funcionar un generador o girar un eje que “alimenta” una máquina. Las unidades derivadas de la potencia son el *caballo (CV)* en el Sistema Anglosajón y el *vatio (W)* en el SI.

En el estudio del comportamiento del fuego, los investigadores utilizan a menudo el término potencia para referirse a la tasa de liberación de calor de varios combustibles o paquetes de combustible (grupos de combustibles) mientras arden. Durante las últimas décadas, los investigadores del National Institute of Standards and Technology (NIST, Instituto nacional de normas y tecnología estadounidense) han recopilado abundante información sobre las tasas de liberación de calor (TLC) de un gran número de combustibles y paquetes de combustible. Esta información es muy útil a la hora de estudiar el comportamiento del fuego, ya que proporciona datos sobre la cantidad de energía liberada durante un periodo cuando arden varios tipos de combustible. Las tasas de liberación de calor específicas de los paquetes de combustible se comentan más detalladamente en la sección Desarrollo del fuego más adelante en este capítulo.

Calor y temperatura

Cualquier persona que haya luchado contra un incendio o haya incluso observado alguna vez una actuación contraincendios sabe que se desprende una cantidad de calor enorme. *El calor* es la energía que se transfiere de un cuerpo a otro cuando las temperaturas de los cuerpos son diferentes. El calor es la forma de energía más común de la Tierra. La *temperatura* es un indicador del calor y se utiliza como medida para determinar hasta qué punto un objeto está frío o caliente basándose en alguna norma. En la mayoría de casos actualmente, la norma se basa en la temperatura de congelación (0°C o 32°F) y en la temperatura de ebullición (100°C o 212°F) del agua. La temperatura se mide mediante *grados Celsius* (°C) en el SI y mediante *grados Fahrenheit* (°F) en el Sistema Anglosajón (véase la figura 2.3).

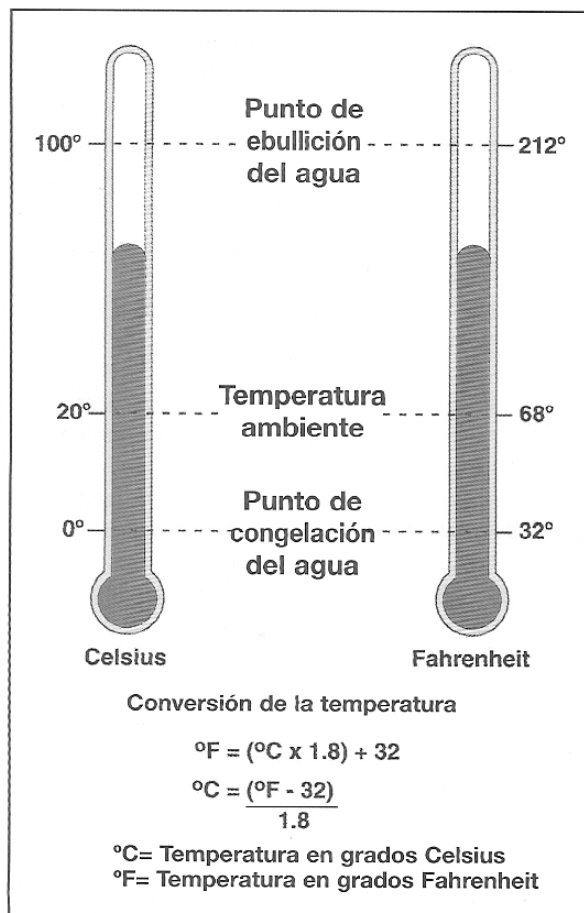


Figura 2.3 Comparación de las escalas Celsius y Fahrenheit.

La unidad aprobada por el SI para todas las formas de energía que incluyan calor es el *julio*. Una *caloría* es la cantidad de calor necesaria para aumentar un grado Celsius la temperatura de un gramo de agua. La *unidad térmica británica* es la cantidad de calor necesaria para aumentar un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua. Aunque la caloría y la Btu no son unidades aprobadas por el SI, aún se utilizan frecuentemente. La relación entre la caloría y el julio se denomina el *equivalente mecánico de calor*, donde una caloría es igual a 4,187 julios y una Btu es igual a 1.055 julios.

Transmisión del calor

La transferencia de calor de un punto u objeto a otro es un concepto básico en el estudio del fuego. La transferencia de calor del contenedor de combustible inicial a otros combustibles en la zona de origen del fuego y más allá controla el crecimiento de cualquier fuego. Los bomberos utilizan sus conocimientos sobre la transferencia de calor para determinar la envergadura de un incendio antes de atacarlo y evaluar la eficacia de un ataque. La definición de calor deja bien claro que para transferir calor de un cuerpo a otro, ambos cuerpos deben tener una temperatura diferente. El calor se transfiere de los objetos a más temperatura a los objetos de menos temperatura. La tasa de transferencia de calor depende de la diferencia de temperatura entre los cuerpos. Cuanto más grande sea la diferencia de temperatura entre los cuerpos, mayor será la tasa de transferencia. La transferencia de calor de un cuerpo a otro se mide como el flujo de energía (calor) en un tiempo determinado. En el SI, la transferencia de calor se mide en *kilovatios* (kW). En el Sistema Anglosajón, la unidad de medida es la *Btu por segundo* (Btu/s), del inglés *British thermal unit* (kilocaloría). Ambas unidades (kW y Btu/s) son expresiones que hacen referencia a la potencia (véase el texto sobre el equivalente de calor mecánico en la sección anterior Calor y temperatura).

Se puede transferir el calor de un cuerpo a otro mediante tres métodos: *conducción*, *convección* y *radiación*. Cada uno de estos métodos se describe detalladamente en las secciones siguientes.



Figura 2.4 La temperatura a lo largo de la barra sube por causa del mayor movimiento de moléculas debido al calor de la llama. Éste es un ejemplo de conducción.

CONDUCCIÓN

Cuando calentamos el extremo de una barra de metal con una llama, el calor se desplaza a través de toda la barra (véase la figura 2.4). Esta transferencia de energía se debe al incremento de la actividad de los átomos de un objeto. Al aplicar calor al extremo de la barra, los átomos de esa área empiezan a moverse más rápido que sus vecinos. Esta actividad provoca un incremento de las colisiones entre átomos. Cada colisión transfiere energía al átomo con que se ha chocado. La energía, en forma de calor, se transfiere a toda la barra.

Este tipo de transferencia de calor se denomina conducción. La *conducción* es la transmisión punto a punto de esta energía calorífica. La conducción se produce cuando un cuerpo se calienta como resultado del contacto directo con una fuente de calor. No se puede realizar una conducción de calor en el vacío, ya que no existe ningún medio para el contacto punto a punto.

En general, la transferencia de calor que se produce al principio de la propagación de todos los fuegos es casi toda por conducción. Posteriormente, a medida que el incendio crece, los gases calientes empiezan a fluir hacia los objetos situados a cierta distancia del punto de ignición y la conducción se convierte nuevamente en un factor. El calor de los gases en contacto directo con los componentes estructurales u otros paquetes de combustible se transfiere al objeto mediante conducción.

El aislamiento térmico está muy relacionado con la conducción. Los buenos aislantes son materiales que no conducen bien el calor debido a

su composición física, por lo que interrumpen la transferencia de energía calorífica punto a punto. Los mejores aislantes del mercado utilizados en la construcción son los fabricados a partir de partículas o fibras finas con espacios vacíos intermedios llenos de un gas como el aire.

CONVECCIÓN

Cuando el fuego empieza a crecer, el aire a su alrededor se calienta mediante conducción. Si pone la mano por encima de una llama, puede sentir el calor aunque su mano no esté en contacto directo con la llama. El calor se transfiere a su mano mediante convección. La *convección* es la transferencia de energía calorífica por el movimiento de líquidos y gases calientes. Cuando el calor se transfiere por convección, se produce un movimiento o circulación de un fluido (cualquier sustancia líquida o gaseosa que fluya) de un lugar a otro. Como en todas las transferencias de calor, el flujo de calor se dirige desde el área donde la temperatura es más elevada hasta donde hay una temperatura más baja (véase la figura 2.5).

RADIACIÓN

Si pusiera la mano unos cuantos milímetros (o pulgadas) por encima de la llama que hemos

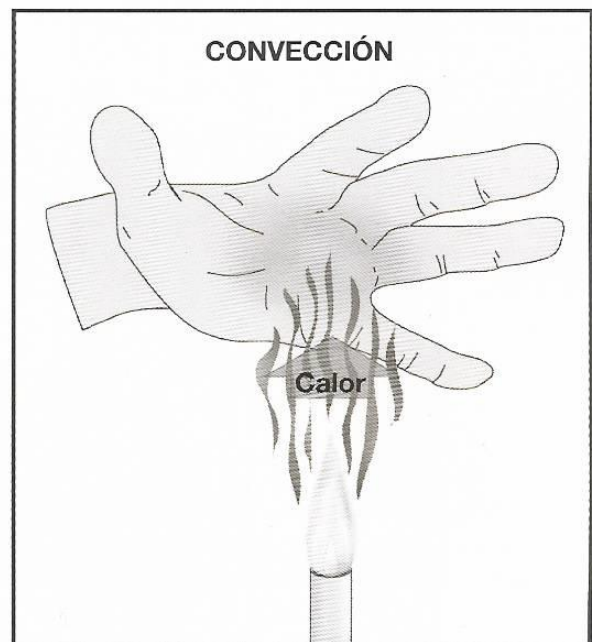


Figura 2.5 La convección es la transferencia de energía calorífica mediante el movimiento de líquidos y gases calientes.

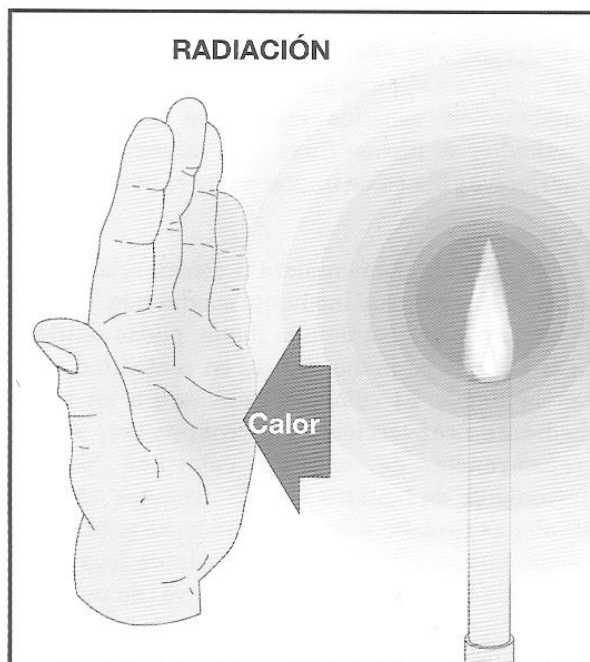
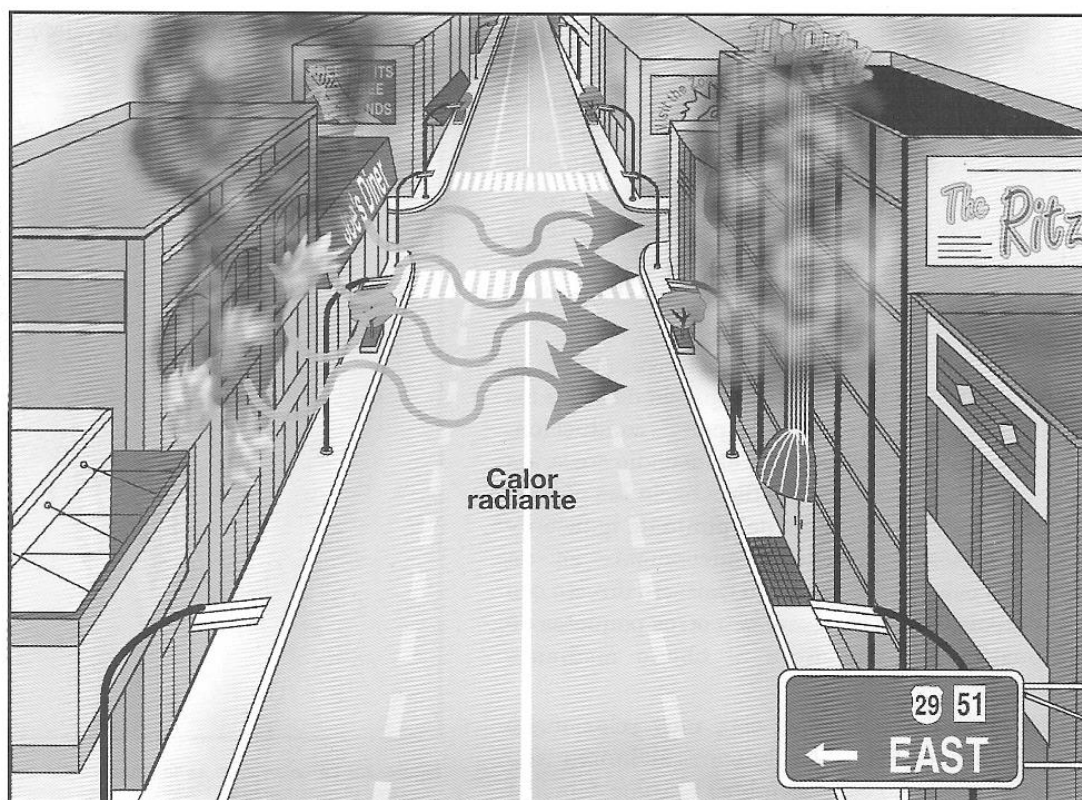


Figura 2.6 La radiación es la transmisión de energía a modo de onda electromagnética sin que intervenga un medio.

utilizado en la sección anterior como ejemplo, también sentiría el calor. Este calor llega a su mano mediante radiación. La *radiación* es la transmisión de energía a modo de onda electromagnética (como las ondas de luz, de radio o los rayos X) sin que intervenga ningún medio (véase la figura 2.6). Dado que se trata de una onda electromagnética, la energía viaja en línea recta a la velocidad de la luz. Todos los objetos calientes irradian calor. El mejor ejemplo de transferencia de calor por radiación es el calor del Sol. La energía viaja a la velocidad de la luz desde el Sol a través del espacio (un vacío) y calienta la superficie de la Tierra. La radiación es la causa de muchos incendios de exposición (incendios que se producen en paquetes de combustible o edificios alejados del contenedor de combustible o del edificio de origen del fuego). Cuando un incendio crece, irradia cada vez más energía en forma de calor. En los incendios grandes, el calor radiado puede provocar la ignición de edificios u otros paquetes de combustible ubicados a cierta distancia (véase la figura 2.7). La energía calorífica que se transmite por radiación puede

Figura 2.7 El calor radiado es una de las fuentes principales de propagación del fuego a los alrededores.



viajar a través del vacío o de espacios de aire considerables, donde no se podría producir normalmente la conducción ni la convección. Los materiales que reflejan la energía irradiada interrumpen la transmisión de calor.

Materia

Los materiales físicos que existen en el mundo a su alrededor se denominan *materia*. La materia se define como la “sustancia” que conforma nuestro universo. La *materia* es cualquier cosa que ocupe espacio y tenga masa. La materia se puede describir según su aspecto físico o más técnicamente según sus propiedades físicas como masa, tamaño o volumen.

Además de estas propiedades que pueden medirse, la materia también posee propiedades que pueden observarse como su estado físico (sólido, líquido o gaseoso), color u olor. Uno de los mejores y más comunes ejemplos de los estados físicos de la materia es el agua. A una presión atmosférica normal (la presión ejercida por nuestra atmósfera sobre todos los objetos) y a temperaturas superiores a 0°C (32°F), el agua se encuentra en estado líquido. Al nivel del mar, la *presión atmosférica* se define como 760 mm de mercurio en un barómetro. Cuando la temperatura del agua es inferior a 0°C (32°F) y la presión permanece igual, el agua cambia su estado y pasa a ser un sólido llamado *hielo*. A temperaturas superiores a su punto de ebullición, el agua cambia su estado y se convierte en un gas llamado *vapor*.

Sin embargo, la temperatura no es el único factor que determina cuando se produce un cambio de estado. El otro factor es la presión. A medida que disminuye la presión en la superficie de una sustancia, también lo hace la temperatura de ebullición. Lo contrario también es cierto. Si la presión en la superficie aumenta, también lo hará el punto de ebullición. Este es el principio que se utiliza en las ollas a presión. El punto de ebullición aumenta a medida que la presión del recipiente se incrementa. Por lo tanto, la comida se cocina más rápidamente en el recipiente, ya que la temperatura del agua en ebullición es superior a 100°C (212°F).

La materia también se puede describir utilizando términos derivados de sus propiedades físicas de masa y volumen. La *densidad* es la

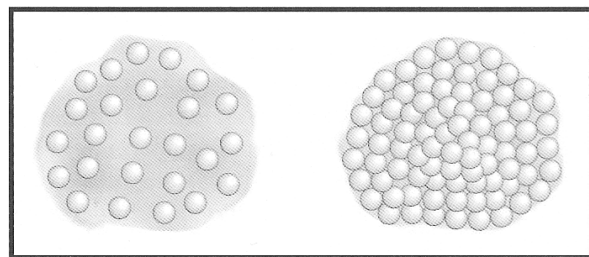


Figura 2.8 Las moléculas a la derecha son más densas que las de la izquierda.

medida que se utiliza para determinar lo unidas que están las moléculas de una sustancia sólida (véase la figura 2.8). La densidad se determina dividiendo la masa de una sustancia por su volumen. Se expresa en kg/m^3 en el SI y en libras por pie cúbico (lb/ft^3) en el Sistema Anglosajón.

La descripción habitual para los líquidos es la gravedad específica. La *gravedad específica* es la relación de la masa del volumen determinado de un líquido en comparación con la masa del mismo volumen de agua. El agua tiene una gravedad específica de 1. Por lo tanto, los líquidos con una gravedad específica inferior a 1 son más ligeros que el agua, mientras que los que tienen una gravedad específica mayor de 1 son más pesados que el agua.

La descripción para los gases es la densidad de vapor relativa. La *densidad de vapor relativa* se define como la densidad del gas o vapor en relación con el aire. Como se utiliza el aire para establecer la comparación, éste tiene una densidad de vapor relativa de 1 (al igual que la gravedad específica y los líquidos). Los gases con una densidad de vapor relativa inferior a 1 ascenderán y aquellos con una densidad mayor de 1 descenderán.

Conservación de la masa y la energía

Dado que el fuego consume un combustible, su masa se reduce. ¿Qué sucede con este material? ¿A dónde va? La respuesta a estas preguntas es uno de los conceptos básicos de la física moderna: la *Ley de conservación de masa-energía* (que se abrevia normalmente como la *Ley de conservación de la masa*). Este es el enunciado de la ley: *la masa puede convertirse en energía y viceversa, pero nunca se produce una pérdida neta de la masa-energía total*. Es decir, la masa y la energía no se crean ni se destruyen. Esta ley es fundamental

para la ciencia del fuego. La reducción de la masa de un combustible produce como resultado la liberación de energía a modo de luz y calor. Este principio permite a los investigadores calcular la tasa de liberación de calor de los materiales utilizando instrumentos que determinan la pérdida de masa y el aumento de temperatura cuando un combustible arde.

El bombero debe tener en cuenta este concepto durante las actuaciones de planificación previa y valoración (evaluación inicial de una situación) en los incendios. Cuanto más combustible esté disponible para arder, mayor es el potencial de liberación de grandes cantidades de energía como calor durante un incendio. Cuanto más calor se libere, más agentes extintores se necesitarán para controlar un fuego.

Reacciones químicas

Antes de empezar a explicar la combustión y propagación del fuego, es importante comprender el concepto de reacciones químicas. Cuando la materia se transforma de un estado a otro o se produce una nueva sustancia, los químicos describen la transformación como una *reacción química*. La más sencilla de estas reacciones ocurre cuando la materia cambia de estado, lo que se denomina *cambio físico*. En un cambio físico, la composición química de la sustancia no se altera. El cambio de estado que ocurre cuando el agua se congela es un cambio físico.

Cuando las sustancias se transforman en sustancias nuevas con diferentes propiedades físicas y químicas, se produce una reacción más compleja. Estos cambios se definen como *cambios químicos*. El cambio que sucede cuando el hidrógeno y el oxígeno se combinan para formar el agua es un cambio químico. En este caso, las propiedades químicas y físicas de los materiales en combinación se alteran. Dos materiales que son normalmente gases (el hidrógeno y el oxígeno) a temperatura ambiente se convierten en una sustancia que es claramente un líquido (el agua) a temperatura ambiente.

Los cambios químicos y físicos prácticamente siempre implican un intercambio de energía. Las reacciones que liberan energía mientras se producen se denominan *exotérmicas*. Las reacciones que absorben energía mientras se

producen se denominan *endotérmicas*. Cuando los combustibles arden en el aire, los vapores de combustible reaccionan químicamente con el oxígeno del aire y las energías calorífica y luminosa se liberan en una reacción exotérmica. El agua que cambia de estado de líquido a gas (vapor) necesita absorber energía, por lo que la conversión es endotérmica.

Una de las reacciones químicas más habituales de la Tierra es la oxidación. La *oxidación* es la formación de un enlace químico entre el oxígeno y otro elemento. El oxígeno es uno de los elementos más comunes de la Tierra (nuestra atmósfera está compuesta de un 21% de oxígeno) y éste reacciona con casi todos los elementos del planeta. La reacción de oxidación libera energía o es exotérmica. El ejemplo más familiar de oxidación es la herrumbre del hierro. La combinación de oxígeno y hierro produce un componente rojizo escamoso que se denomina *óxido de hierro* o, más comúnmente, *herrumbre*. Dado que se trata de un proceso exotérmico, siempre produce calor. Por regla general, el proceso es muy lento y el calor se disipa antes de que pueda percibirse. Si el material que se está oxidando se encuentra en un espacio cerrado y el calor no puede disiparse, el proceso de oxidación provocará que la temperatura del espacio aumente.

Uno de los ejemplos más comunes de la producción de calor en espacios cerrados se da en los buques de carga que transportan limaduras de hierro. La oxidación de las limaduras almacenadas en la bodega del buque produce calor que no se puede disipar por su ubicación. Este calor se desplaza al casco del buque y, por consiguiente, al agua alrededor del mismo. Cuando el buque está en movimiento, el calor se transfiere al agua pero no se percibe, ya que éste está en movimiento. Sin embargo, cuando el buque está parado, la transferencia de calor al agua alrededor del mismo se hace patente cuando ésta empieza a hervir. Aunque la temperatura normalmente no llega al punto en que se produce la ignición con llama (fuego), la situación puede ser bastante dramática.

COMBUSTIÓN

[NFPA 1001: 3,30,10(a); 4-3,2(b)]

"Fuego" y "combustión" son términos cuyo uso a menudo se intercambia. Sin embargo, el fuego es



Figura 2.9 La combustión, una reacción química en cadena, puede ser muy lenta o muy rápida.

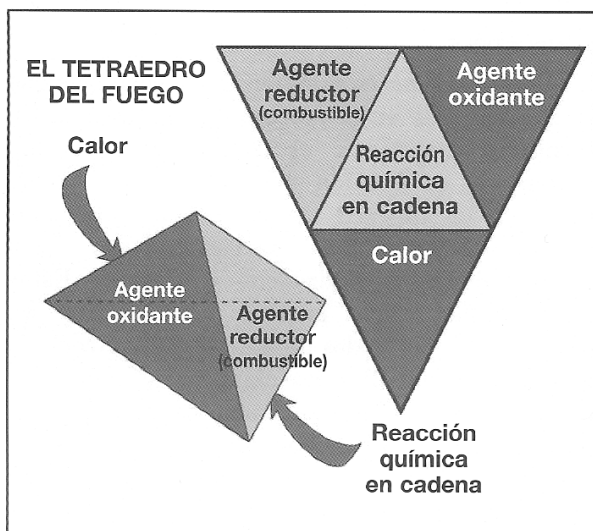


Figura 2.10 Los componentes del tetraedro del fuego.

técnicamente una forma de combustión. *La combustión es una reacción química en cadena que libera energía o productos que provocan reacciones sucesivas del mismo tipo.*¹ La combustión es, si utilizamos el término explicado anteriormente, una reacción exotérmica. *El fuego es un proceso de oxidación rápido y en cadena que va acompañado de la evolución del calor y de la luz en distintas intensidades.*² El tiempo que tarda en suceder una

reacción determina el tipo de reacción que se observa. El tipo más lento es la oxidación, una reacción demasiado gradual para que se pueda observar, mientras que el tipo más rápido son las explosiones que son resultado de una reacción muy rápida de un combustible y un oxidante. Estas reacciones liberan una gran cantidad de energía durante un periodo de tiempo muy breve (véase la figura 2.9).

El tetraedro del fuego

Durante muchos años, el triángulo del fuego (oxígeno, combustible y calor) se utilizó para enseñar los componentes del fuego. Aunque este ejemplo sencillo resulta útil, no es técnicamente correcto. Para que se produzca una combustión, se necesitan cuatro componentes:

- Oxígeno (agente oxidante)
- Combustible
- Calor
- Reacción química en cadena

Estos componentes se pueden describir gráficamente como el *tetraedro del fuego* (véase la figura 2.10). Cada componente del tetraedro debe estar en su lugar para que la combustión se produzca. Este concepto es extremadamente importante para las personas que estudian la supresión, prevención e investigación de incendios. Si falta uno de los cuatro componentes, la combustión no se produce. Si la ignición ya se ha producido, el fuego se extingue cuando uno de los componentes se elimina de la reacción.

Para explicar mejor el fuego y su comportamiento, cada uno de los componentes del tetraedro se explica en las secciones siguientes.

OXÍGENO (AGENTE OXIDANTE)

Los *agentes oxidantes* son aquellos materiales que ceden oxígeno u otros gases oxidantes durante el curso de una reacción química. Los oxidantes no son combustible en sí, pero hacen que se produzca una combustión cuando se combinan con un combustible. Aunque el oxígeno es el oxidante más habitual, también existen otras sustancias que entran en esta categoría. La tabla 2.3 enumera otros oxidantes habituales.

Para el objetivo de este capítulo, el oxígeno en el aire a nuestro alrededor se considera el agente oxidante primario. Por regla general, el aire está

TABLA 2.3
Oxidantes habituales

Bromatos
Bromina
Cloratos
Clorina
Fluorina
Yodina
Nitratos
Ácido nítrico
Nitritos
Percloratos
Permanganatos
Peróxidos

compuesto por un 21% de oxígeno. A temperatura ambiente (21°C o 70°F), la combustión puede seguir produciéndose en concentraciones de oxígeno tan bajas como un 14%. Sin embargo, las investigaciones muestran que a medida que aumenta la temperatura de un incendio en un compartimiento, se necesitan menores concentraciones de oxígeno para que siga existiendo combustión con llama. En estudios de fuegos en compartimientos, se ha observado la combustión con llama en condiciones de temperatura *post-flashover* (la fase de desarrollo completo y la fase de disminución) cuando las concentraciones de oxígeno han sido muy bajas (véase la sección Desarrollo del fuego). Algunas investigaciones indican que la concentración puede ser inferior al 2%.

Cuando las concentraciones de oxígeno sobrepasan el 21%, se dice que la atmósfera está *enriquecida con oxígeno*. En estas condiciones, los materiales presentan unas características en lo que respecta a su modo de combustión muy diferentes. Los materiales que arden en los niveles normales de oxígeno, se queman más rápidamente en las

atmósferas enriquecidas con oxígeno y pueden incendiarse más fácilmente de lo normal. Algunos materiales derivados de la gasolina se autoinflamarán en atmósferas enriquecidas con oxígeno. Muchos materiales que no arden a niveles normales de oxígeno arden con rapidez en atmósferas enriquecidas con oxígeno. Uno de estos materiales es Nomex[®], un material resistente al fuego que se utiliza para fabricar mucha de la ropa protectora que llevan puesta los bomberos. Con niveles de oxígeno normales, el Nomex[®] no arde. Sin embargo, cuando se encuentra en una atmósfera enriquecida con oxígeno del 31% aproximadamente, el Nomex[®] se incendia y arde con mucha energía. Los incendios en atmósferas enriquecidas con oxígeno son más difíciles de extinguir y presentan un peligro de seguridad potencial para los bomberos que intervienen en ellos. Estas condiciones se pueden dar en instalaciones de atención sanitaria, en industrias o incluso en domicilios particulares, cuyos inquilinos utilicen equipos de respiración de oxígeno.

COMBUSTIBLE

El *combustible* es el material o la sustancia que se oxida o arde en el proceso de combustión. En términos científicos, el combustible de una reacción de combustión se conoce como el *agente reductor*. La mayoría de los combustibles más comunes contienen carbón junto con combinaciones de hidrógeno y oxígeno. Estos combustibles se pueden subdividir en combustibles derivados de hidrocarburos (como la gasolina, el fuel-oil y los plásticos) y materiales derivados de la celulosa (como la madera o el papel). Otros combustibles con una combustión menos compleja tienen una composición química que incluye gas hidrógeno y metales combustibles tales como el magnesio y el sodio. En el proceso de combustión intervienen dos factores claves relacionados con el combustible: el estado físico del combustible y su distribución. Estos factores se explican en los párrafos siguientes.

De la sección anterior sobre la materia se desprende que un combustible puede encontrarse en cualquiera de los tres estados de la materia: sólido, líquido o gaseoso; pero para que los combustibles ardan, éstos deben estar normalmente en estado gaseoso. En el caso de los

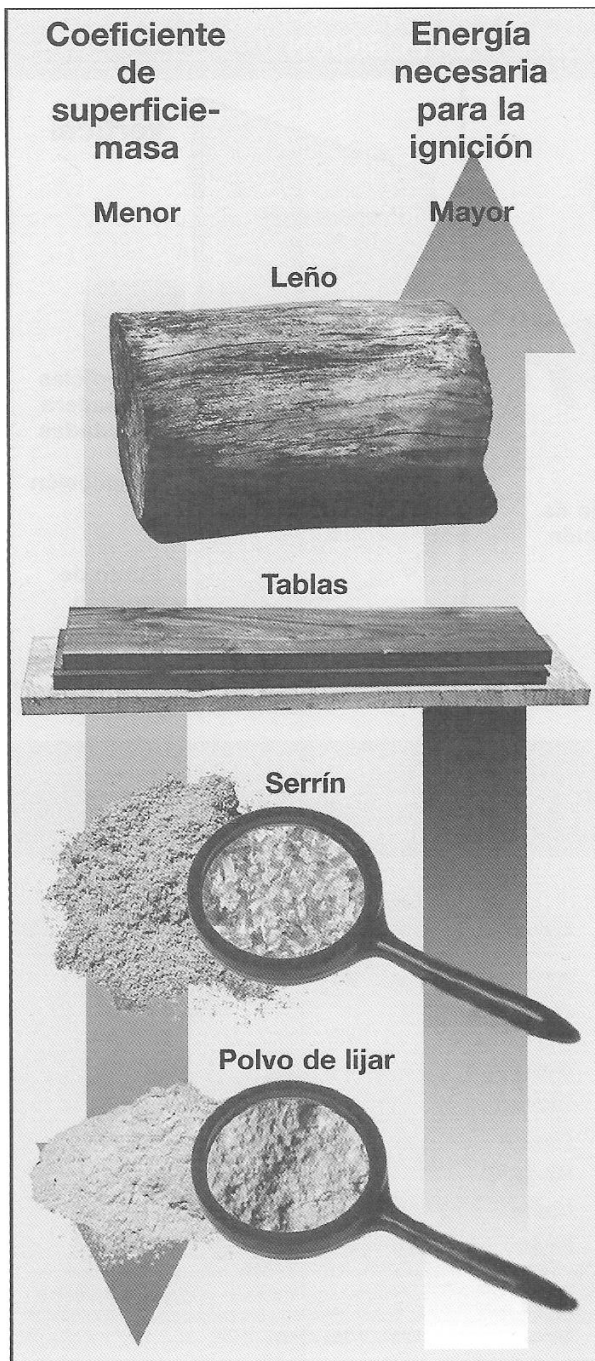


Figura 2.11 Los materiales con un coeficiente superficie-masa alto necesitan menos energía para prenderse.

sólidos y los líquidos, se debe emplear energía para provocar que cambien de estado.

Los combustibles sólidos se transforman en gases combustibles mediante la pirólisis. La *pirólisis* es la descomposición química de una

sustancia mediante la acción del calor. Dicho de un modo sencillo, cuando los combustibles sólidos se calientan, los materiales combustibles se desprenden de la sustancia. Si existe suficiente combustible y calor, el proceso de pirólisis genera la cantidad suficiente de gas inflamable para provocar la ignición, siempre y cuando los demás elementos del tetraedro del fuego estén presentes.

Por su naturaleza, los combustibles sólidos tienen una forma y un tamaño definidos. Esta propiedad afecta significativamente a la facilidad con que se encienden. Es muy importante tener en cuenta el coeficiente de superficie-masa del combustible. El *coeficiente de superficie-masa* es el área de superficie del combustible en proporción a la masa. Uno de los mejores ejemplos del coeficiente de superficie-masa es la madera. Para producir materiales útiles, se debe cortar un árbol en un leño. La masa de este leño es muy alta, pero su área de superficie es relativamente escasa, por este motivo el coeficiente de superficie-masa es bajo. Se sierra el leño en tablas. El resultado de este proceso es una reducción de la masa de las tablas individuales en comparación con el leño, pero el área de superficie resultante aumenta, por lo que el coeficiente de superficie-masa también se incrementa. El serrín que se desprende mientras se sierra la madera tiene incluso un coeficiente de superficie-masa superior. Si las tablas se lijan, el polvo resultante tiene el coeficiente superficie-masa más alto de todos los ejemplos. A medida que este coeficiente aumenta, las partículas combustibles se hacen más pequeñas (están divididas más finas; por ejemplo, el serrín en oposición a los leños) y su capacidad de ignición se incrementa extraordinariamente (véase la figura 2.11). A medida que el área de superficie aumenta, se expone al calor más parte del material, lo que genera más gases inflamables debido a la pirólisis.

La posición real de un combustible sólido también afecta al modo en cómo arde. Si el combustible sólido está en posición vertical, la expansión del fuego será más rápida que si está en posición horizontal; por ejemplo, si fuera a encender una plancha de madera contrachapada de 0,32 cm (0,125 pulgadas) que estuviera colocada horizontalmente entre dos caballetes de aserrar, el fuego consumiría el combustible con un coeficiente relativamente lento.

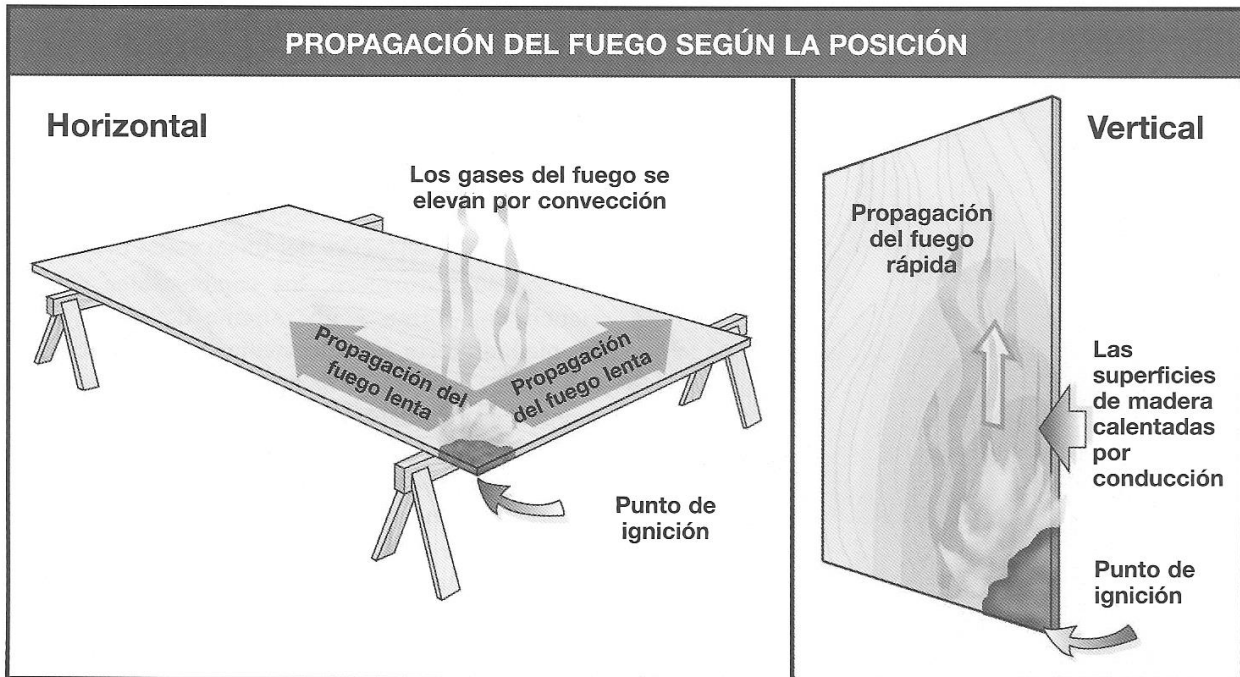


Figura 2.12 La posición real de un combustible sólido afecta a su modo de arder.

El mismo tipo de planchas en una posición vertical ardería más rápidamente. La rapidez de diseminación del fuego se debe al aumento de la transferencia de calor mediante convección, así como conducción y radiación (véase la figura 2.12).

En el caso de los líquidos, los gases combustibles se generan a partir de un proceso llamado vaporización. En términos científicos, la *vaporización* es la transformación de un líquido a su estado de vapor o gaseoso. La transformación de líquido a vapor o gas se produce cuando las moléculas de la sustancia escapan de la superficie del líquido a la atmósfera circundante. Para que las moléculas se liberen de la superficie del líquido debe haber una entrada de energía. En la mayoría de los casos, esta energía se presenta en forma de calor; por ejemplo, el agua que queda en una olla acaba evaporándose. La energía que se necesita para este proceso procede del Sol o del entorno de alrededor. El agua en la misma olla sobre un fogón y calentada hasta la ebullición se vaporiza más rápidamente porque se aplica energía al sistema. La tasa de vaporización se determina según la sustancia y la cantidad de energía calorífica que se le aplica.

La vaporización de los combustibles líquidos requiere generalmente una entrada de energía

TABLA 2.4
Rangos de inflamabilidad de materiales seleccionados

Material	Límite inferior de inflamabilidad (LII)	Límite superior de inflamabilidad (LSI)
Acetileno	2,5	100,0
Monóxido de Carbono	12,5	74,0
Alcohol etílico	3,3	19,0
Fuel-oil n°. 1	0,7	5,0
Gasolina	1,4	7,6
Hidrógeno	4,0	75,0
Metano	5,0	15,0
Propano	2,1	9,5

Fuente: NFPA 325, *Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids* (Propiedades peligrosas de los líquidos, gases y sólidos volátiles inflamables), 1994.

menor que la pirólisis de los combustible sólidos. Esto se debe, principalmente, a las diferentes densidades de las sustancias en estado sólido y líquido, y al hecho que las moléculas de una sustancia en estado líquido tienen más energía que cuando están en estado sólido. Los sólidos también absorben más energía por su masa. La volatilidad o facilidad con que un líquido libera

Identificar grupos de combustibles o paquetes de combustible en un área o compartimiento del edificio puede ayudar a menudo al bombero. En las áreas exteriores, los paquetes de combustible podrían ser claustros de sotobosque o árboles que crecen juntos cerca. En un área de almacenamiento exterior, un paquete de combustible podría ser un tanque de fuel-oil o líquido inflamable, una pila de leña o materiales de construcción (véase la figura 2.13). En los edificios, los componentes combustibles (estructurales y acabados interiores) y los contenidos se pueden considerar paquetes de combustible. Una silla o un sofá tapizados y rellenos de espuma en un comedor, un colchón y los muelles de la cama en un dormitorio o un ordenador y el mobiliario de oficina en un despacho se considerarían paquetes de combustible.

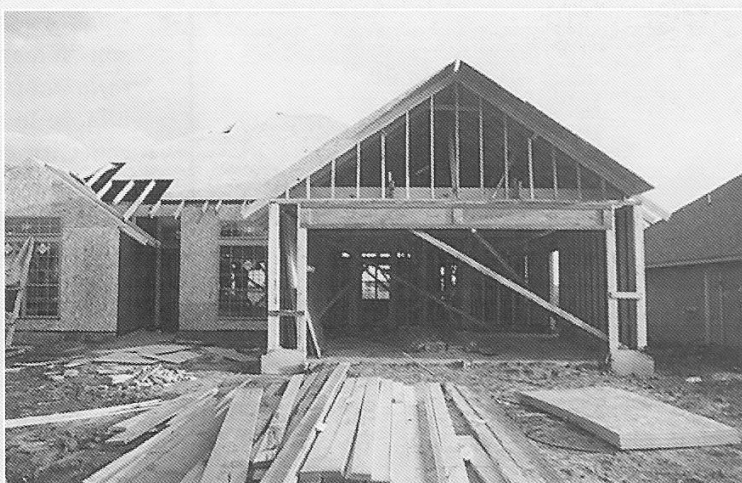


Figura 2.13 La madera apilada delante de esta casa al igual que sus elementos estructurales son ejemplos de paquetes de combustible.

La cantidad total de (masa) combustible en un compartimiento o una ubicación específica multiplicada por el calor de combustión de los materiales se denomina *potencial de combustible o potencial incendiario*. El término se utiliza normalmente para describir el calor máximo que se liberaría si todos los materiales de un área o compartimiento ardieran. El concepto de potencial incendiario es la base de un gran número de los requisitos de resistencia contra el fuego de los códigos de construcción actuales. En un estudio, los investigadores descubrieron que los potenciales incendiarios de los suelos típicos de las salas de estar eran de media un $28,3 \text{ kg/m}^2$ ó $5,8$ libras por pie cuadrado (lb/p^2). El potencial incendiario se expresa normalmente en términos de calor de combustión de la madera. Los materiales con diferentes calores de combustión se convierten para que equivalgan a la madera. El combustible disponible en un espacio y la proximidad de paquetes de combustible repercuten considerablemente en el crecimiento y la propagación de los incendios. A medida que el combustible disponible aumenta, la tasa de liberación de calor potencial de un incendio en un compartimiento se incrementa. Si los paquetes de combustible están muy cerca los unos de los otros, la cantidad de energía necesaria para que un incendio en un paquete genere el calor suficiente para incendiar el paquete de combustible a su lado (objetivo) es menor que la de los paquetes objetivo situados a mayores distancias.

vapor influencia su capacidad de ignición. Todos los líquidos liberan vapores en mayor o menor medida sencillamente por evaporación. Los líquidos que liberan fácilmente cantidades de vapores inflamables o combustibles pueden ser peligrosos.

Al igual que el coeficiente de superficie-masa de los combustible sólidos, el coeficiente de superficie-volumen de los líquidos también es un factor importante en su capacidad de ignición. Un líquido adopta la forma del recipiente que lo contiene. Por lo tanto, cuando se derrama o es liberado, el líquido adopta la forma del suelo (plano), fluye y se acumula en áreas bajas. Cuando está en un recipiente, el volumen específico de un líquido tiene un coeficiente de superficie-volumen relativamente bajo. Cuando se libera, este coeficiente aumenta significativamente al igual que la cantidad de combustible vaporizado de la superficie.

Los combustibles gaseosos pueden ser los más peligrosos de todos los tipos de combustibles, porque ya se encuentran en el estado natural necesario para la ignición. No se necesita ninguna pirólisis o vaporización para preparar el combustible y se requiere menos energía para la ignición.

Para que se produzca una combustión después de que un combustible haya pasado al estado gaseoso, éste debe mezclarse con aire (oxidante) en la proporción adecuada. La gama de concentraciones del vapor combustible y el aire (oxidante) se denomina el *rango (explosivo) de inflamabilidad*. El rango de inflamabilidad de un combustible se calcula utilizando el porcentaje por volumen de gas o vapor en el aire para el límite de inflamabilidad inferior (LII) y el límite de inflamabilidad superior (LIS). El *límite de inflamabilidad inferior* es la concentración mínima de vapor combustible y aire que permite la

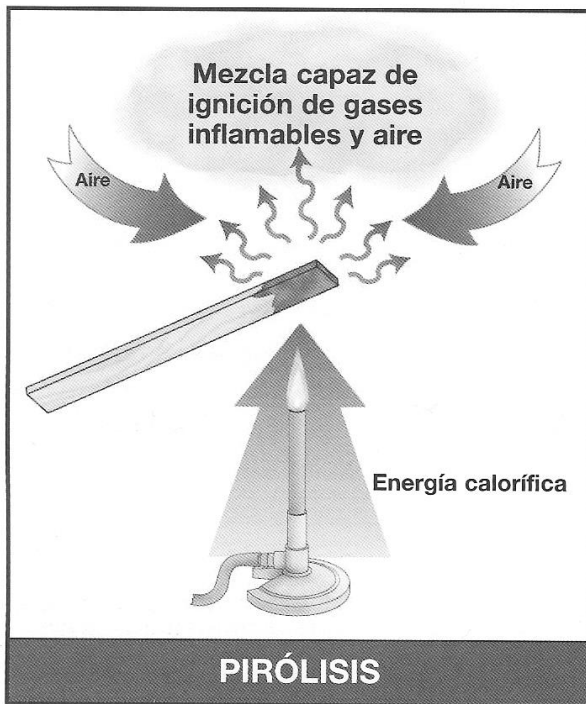


Figura 2.14a La pirólisis sucede cuando la madera se descompone debido a la acción de los vapores generadores de calor. Los vapores se mezclan con el aire y producen una mezcla inflamable

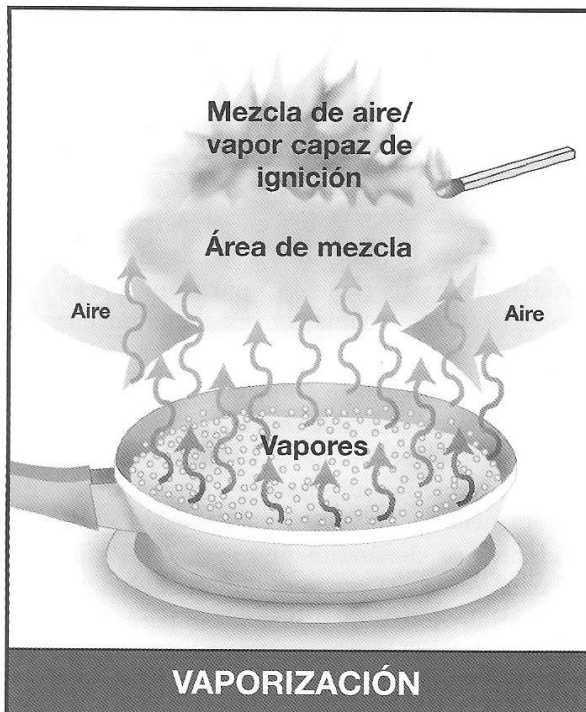


Figura 2.14b La vaporización sucede cuando los gases combustibles se generan a partir de la acción del calor. Los vapores se mezclan con el aire y producen una mezcla inflamable.

combustión. Las concentraciones inferiores al LII son demasiado *pobres* para arder. El *límite de inflamabilidad superior* es la concentración más allá de la cual no se produce la combustión. Las concentraciones inferiores al LIS son demasiado *ricas* para arder.

La tabla 2.4 presenta las gamas de inflamabilidad de algunos de los materiales más habituales. Los límites de inflamabilidad de los gases combustibles se presentan en los manuales de química y en documentos como la norma 49, *Hazardous Chemicals Data* (Datos sobre los productos químicos peligrosos) y la norma 325, *Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids* (Propiedades peligrosas de los líquidos, gases y sólidos volátiles inflamables) de la National Fire Protection Association (NFPA, Asociación Nacional de Protección Contra incendios de Estados Unidos). Los límites se calculan normalmente a temperatura y presión atmosférica normales. Las variaciones en la temperatura y la presión pueden hacer que el rango de inflamabilidad varíe considerablemente. Por regla general, los incrementos de temperatura o de presión amplían el rango y las disminuciones lo reducen.

CALOR

El *calor* es el componente energético del tetraedro del fuego. Cuando el calor entra en contacto con un combustible, la energía hace que la reacción de combustión continúe de los siguientes modos (véanse las figuras 2.14 a y b):

- Provoca la pirólisis o vaporización de los combustibles sólidos y líquidos; y la producción de vapores o gases capaces de ignición
- Proporciona la energía necesaria para la ignición
- Causa la producción e ignición continuas de los vapores o gases combustibles, de modo que la reacción de combustión pueda continuar

La mayoría de los tipos de energía que hemos comentado anteriormente en el capítulo producen calor. Sin embargo, en lo que se refiere a nuestra explicación sobre el fuego y su comportamiento, las energías química, eléctrica y mecánica son las fuentes más comunes de calor que provocan la ignición de un combustible. Cada una de estas

fuentes se describe en profundidad en la siguiente sección.

Química. La energía calorífica química es la fuente de calor más habitual en las reacciones de combustión. Cuando un combustible está en contacto con el oxígeno, se produce la oxidación. Este proceso casi siempre produce calor. El calor generado cuando una cerilla normal arde es un ejemplo de energía calorífica química.

La *autoinflamación* (también conocida como calentamiento espontáneo) es una forma de energía calorífica química que se produce cuando la temperatura de un material se incrementa sin que intervenga calor externo. Por regla general, el calor se produce lentamente mediante la oxidación y se escapa a su alrededor casi tan rápido como se genera. Para que la autoinflamación se convierta en ignición espontánea, el material debe calentarse hasta su temperatura de ignición la temperatura mínima que permite que se produzca la combustión en cadena de una sustancia específica). Para que se produzca una ignición espontánea, se deben dar las siguientes condiciones:

- La tasa de producción de calor debe ser suficientemente alta para incrementar la temperatura del material hasta su temperatura de ignición.
- El suministro de aire disponible (ventilación) en el material que se calienta y a su alrededor debe ser el adecuado para que la combustión exista.
- Las propiedades de aislamiento del material que rodea inmediatamente el combustible deben ser tales que el calor generado no se disipe.

Un ejemplo de situación que podría conducir a una ignición espontánea serían unos cuantos trapos mojados con aceite y enrollados en forma de bola tirados en una esquina. Si el calor generado por la oxidación natural del aceite y el tejido no puede disiparse, ya sea por el movimiento de aire alrededor de los trapos o algún otro método de transferencia del calor, la temperatura del tejido será finalmente suficiente para provocar la ignición.

La tasa de la reacción de oxidación y, por lo tanto, la producción de calor aumenta a medida

TABLA 2.5
Materiales sujetos a
calentamiento espontáneo

Material	Tendencia
Carbón vegetal	Alto
Pescado/aceite de pescado	Alto
Trapos con aceite de linaza	Alto
Cebada	Moderado
Fertilizantes	Moderado
Goma espuma	Moderado
Heno	Moderado
Estiércol	Moderado
Polvo metálico de hierro	Moderado
Papel desechable	Moderado
Trapos (embalaje)	De bajo a moderado

Fuente: *Fire Protection Handbook* (Manual de protección contraincendios), NFPA 18 edición, tabla A-10, 1997.

que se incrementa el calor generado y conservado por los materiales que aíslan el combustible. De hecho, la tasa en la que se producen más reacciones químicas se duplica con cada incremento de $-7,7^{\circ}\text{C}$ (18°F) en la temperatura de los materiales de la reacción. Cuanto más calor genera y absorbe el combustible, más rápido se produce la reacción causante de la generación de calor. Cuando el calor generado por una reacción de autoinflamación sobrepasa el calor que se pierde, el material puede alcanzar la temperatura de ignición y prenderse espontáneamente. La tabla 2.5 muestra una lista con algunos de los materiales habituales que son susceptibles a la autoinflamación.

Eléctrica. La energía calorífica eléctrica puede generar temperaturas lo suficientemente altas como para hacer prender los materiales combustibles cerca del área calentada. El calentamiento eléctrico puede producirse de muchos modos, incluyendo los siguientes:

- Flujo de corriente a través de una resistencia
- Sobrecorriente o sobrecarga
- Formación de arco eléctrico
- Chispas
- Electricidad estática
- Rayos

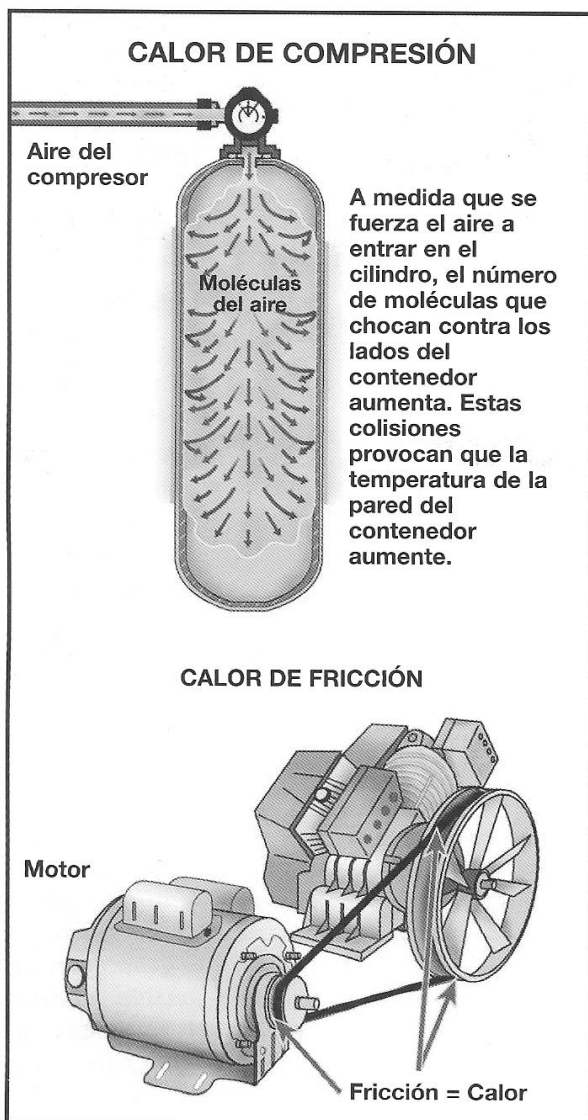


Figura 2.15 Ejemplos de energía calorífica mecánica.

Mecánica. La energía calorífica mecánica se genera por fricción y compresión. El *calor de fricción* se crea por el movimiento de dos superficies la una contra la otra. Este movimiento provoca que se genere calor y/o chispas. El *calor de compresión* se genera cuando un gas se comprime. Los motores diesel utilizan este principio para encender el vapor combustible sin una bujía de encendido. Este es el mismo principio por el cual los cilindros del aparato de respiración autónoma están calientes después de rellenarlos (véase la figura 2.15).

Nuclear. La energía calorífica nuclear se genera cuando se separan (fisión) o se combinan

(fusión) los átomos. En un ambiente controlado, la fisión calienta el agua para que mueva turbinas de vapor y produzca electricidad. Las reacciones de fusión no se pueden contener en la actualidad, por lo que no tienen un uso comercial. El calor del Sol (la energía solar) es producto de una reacción de fusión, por lo que es una forma de energía nuclear.

REACCIÓN QUÍMICA EN CADENA

La combustión es una reacción compleja que necesita un combustible (en estado gaseoso o de vapor), un oxidante y energía calorífica combinados de forma muy específica. Una vez se produce la combustión con llama o el fuego, éste sólo puede continuar si existe energía calorífica suficiente que produzca la formación continua de los vapores o gases combustibles. Los científicos denominan reacción en cadena a este tipo de reacción. Una *reacción en cadena* es una serie de reacciones que ocurren secuencialmente cuyos resultados individuales se suman a los del resto. El libro de texto de Faughn, Chang y Turk titulado *Physical Science* (Ciencia física) describe muy bien en qué consiste una reacción en cadena:

Un ejemplo de reacción química en cadena es un incendio forestal. El calor de un árbol puede iniciar la reacción (combustión) de un segundo árbol, que, a su tiempo, también encenderá un tercero y así sucesivamente. Entonces, el incendio se propagará a un ritmo estable, pero si este árbol prende, digamos, dos árboles más, y cada uno de estos dos árboles enciende dos más, con un total de cuatro y así sucesivamente, el ritmo al que arden se acelera rápidamente. Estas reacciones en cadena, incontroladas e imparables son la base de las bombas nucleares.³

La reacción química en cadena y la propagación relativamente rápida son los factores que distinguen el fuego de las reacciones de oxidación más lentas. Las reacciones de oxidación lentas no producen calor lo suficientemente rápido para llegar a la ignición y nunca generan suficiente calor para ser en cadena. Algunos ejemplos de oxidación lenta son la herrumbre (antes mencionada) y el amarilleo del papel.

Desarrollo del fuego

Cuando los cuatro componentes del tetraedro del fuego están presentes, se produce la ignición. En la fase inicial de un fuego, el calor aumenta y

forma un penacho de gas caliente. Si el fuego está en un espacio abierto (en el exterior o en un edificio grande), el penacho del fuego se eleva sin obstrucción y el aire entra en él (se arrastra hacia él) mientras se eleva. Debido a que el aire que entra en el penacho es más frío que los gases del fuego, esta acción tiene un efecto de enfriamiento sobre los gases por encima del fuego. La propagación de un fuego en una área abierta se debe principalmente al calentamiento de la energía que se transmite desde el penacho hasta los combustibles situados alrededor. La propagación del fuego exterior puede verse incrementada por el viento y un terreno con pendiente, los cuales permiten precalentar los combustibles expuestos (véase la figura 2.16).

El desarrollo de los fuegos en un compartimiento es más complejo que en los espacios abiertos. En este texto, un *compartimiento* designa una habitación o espacio cerrado en un edificio. El término *incendio de compartimiento* se define como un incendio que se produce en un espacio de dichas características. El crecimiento y la propagación de un incendio de compartimiento depende normalmente de la existencia de combustible y oxígeno. Cuando la cantidad de combustible disponible para quemar es limitada, se dice que el incendio está *controlado a nivel de combustible*. Cuando la cantidad de oxígeno es limitada, se dice que la situación está *controlada a nivel de ventilación*.

Los investigadores han intentado recientemente describir los incendios de compartimiento según las etapas o fases que se producen mientras el fuego se desarrolla. Estas fases son las siguientes:

- Ignición
- Crecimiento
- *Flashover* o explosión espontánea tipo flamazo
- Desarrollo completo
- Disminución

La figura 2.17 muestra el desarrollo de un incendio de compartimiento en términos de tiempo y temperatura. Conviene observar que las fases son un intento de describir la compleja reacción que se produce mientras se desarrolla un incendio en un espacio donde no se realiza una acción de supresión. La ignición y el desarrollo de un fuego

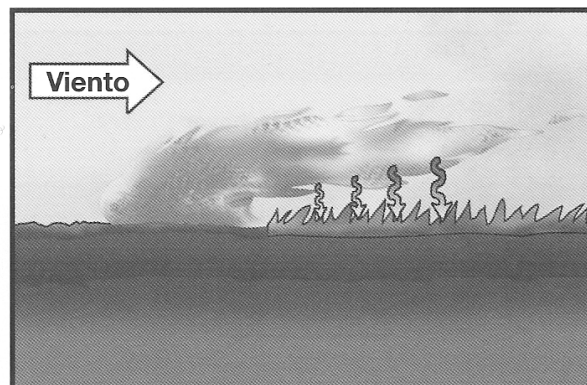


Figura 2.16 La propagación de los incendios exteriores se ve afectada por el viento y el terreno.

de compartimiento son muy complejos, y dependen de numerosas variables. Por lo tanto, puede que no todos los incendios se desarrollen siguiendo cada una de las fases descritas. La información se presenta para describir el fuego como un suceso dinámico, cuyo crecimiento y propagación dependen de muchos factores.

IGNICIÓN

La ignición describe el periodo en que los cuatro elementos del tetraedro del fuego coinciden y se inicia la combustión. El acto físico de la ignición puede ser *guiado* (causado por una chispa o llama) o *no guiado* (causado cuando un material llega a la temperatura de ignición como resultado de la autoinflamación), como la ignición espontánea. En este punto, el incendio es pequeño y se circunscribe generalmente al material que se enciende primero (combustible). Todos los incendios, en un lugar abierto o bien en un compartimiento, son el resultado de algún tipo de ignición.

CRECIMIENTO

Poco después de la ignición, se empieza a formar el penacho del incendio sobre el combustible que arde. Mientras el penacho se desarrolla, empieza a atraer o arrastrar aire desde el espacio circundante a la columna. El crecimiento inicial se parece al de un incendio exterior no limitado, con el crecimiento como función del combustible que se enciende primero. Sin embargo, a diferencia del incendio no limitado, en un compartimiento el penacho se ve afectado rápidamente por el techo y las paredes del espacio. La primera consecuencia es la cantidad de aire que

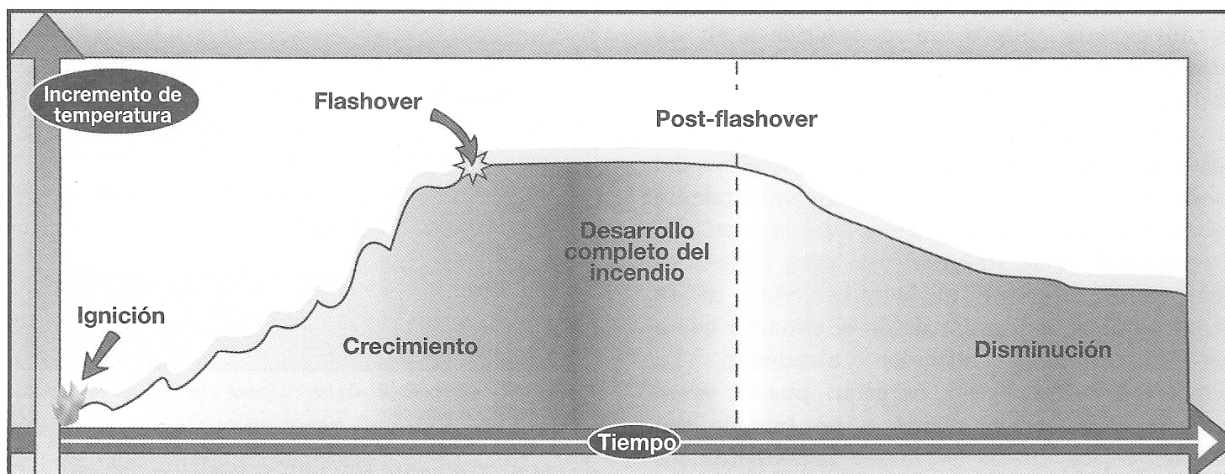


Figura 2.17 Fases de desarrollo de un incendio en un compartimiento.

atrae el penacho. Debido a que el aire es más frío que los gases calientes que genera el incendio, éste tiene un efecto de enfriamiento sobre las *temperaturas del penacho*. La ubicación del paquete de combustible en relación a las paredes del compartimiento determina la cantidad de aire que atrae y, por lo tanto, el enfriamiento que se produce. Los paquetes de combustible a proximidad de las paredes atraen menos aire, por lo que las temperaturas del penacho son superiores. Los paquetes de combustible situados en las esquinas atraen incluso menos aire, por lo que las temperaturas del penacho son las más altas. Este factor afecta significativamente a las temperaturas de la capa de gas caliente que se desarrolla encima del incendio. A medida que los gases calientes se elevan, éstos empiezan a propagarse al exterior cuando tocan el techo. Los gases continúan diseminándose hasta llegar a las paredes del compartimiento. Entonces, la profundidad de la capa de gas empieza a incrementarse.

Las temperaturas del compartimiento durante este periodo dependen de la cantidad de calor que se transmite al techo y las paredes del compartimiento, ya que los gases fluyen sobre ellos y sobre la ubicación del paquete de combustible inicial y el arrastre de aire resultante. La investigación muestra que las temperaturas del gas disminuyen a medida que la distancia de la línea central del penacho aumenta. La figura 2.18

muestra el penacho de un incendio de compartimiento típico y los factores que afectan a la temperatura de la capa de gas caliente en propagación.

La fase de crecimiento continuará si hay suficiente combustible y oxígeno disponibles. Los incendios de compartimiento en la fase de crecimiento generalmente tienen el combustible controlado. A medida que el incendio crece, la temperatura general del compartimiento aumenta (véase la figura 2.17, fases de un incendio) al igual que la temperatura de la capa de gas al nivel del techo (véase la figura 2.19).

Flashover

El *flashover* es la etapa de transición entre el crecimiento y el desarrollo completo de las fases del incendio, pero no es un suceso específico como lo sería la ignición. Durante el *flashover*, las condiciones en el compartimiento cambian muy rápidamente a medida que el incendio pasa de quemar los materiales que se encienden primero a quemar todas las *superficies de combustible expuestas* en el compartimiento. La capa de gas caliente que se crea en el techo durante la fase de crecimiento causa un calor radiante en los materiales de combustible situados lejos del origen del incendio (véase la figura 2.20). Por regla general, la energía radiante (el flujo de calor) de la capa de gas caliente sobrepasa los 20 kW/m^2 cuando se produce el *flashover*. Este calor radiante produce la pirólisis en los materiales combustibles

del compartimiento. Los gases que se generan durante este periodo se calientan hasta la temperatura de ignición por la energía radiante de la capa de gas en el techo (véase la figura 2.21).

Aunque los científicos definen el *flashover* de muchos modos, la mayoría basan su definición en la temperatura de un compartimiento resultante de la ignición simultánea de todo el contenido

combustible en el espacio. Aunque esta incidencia no lleva asociada ninguna temperatura exacta, en la mayoría de las ocasiones se utiliza un rango aproximado de 483°C a 649°C (900°F a 1.200°F). Este rango está en correlación con la temperatura de ignición del monóxido de carbono (CO) (609°C o 1.128°F), uno de los gases más habituales que se desprenden de la pirólisis.



Figura 2.18 Al principio, la temperatura de los gases del fuego disminuye a medida que éstos se desplazan lejos de la línea central del penacho.

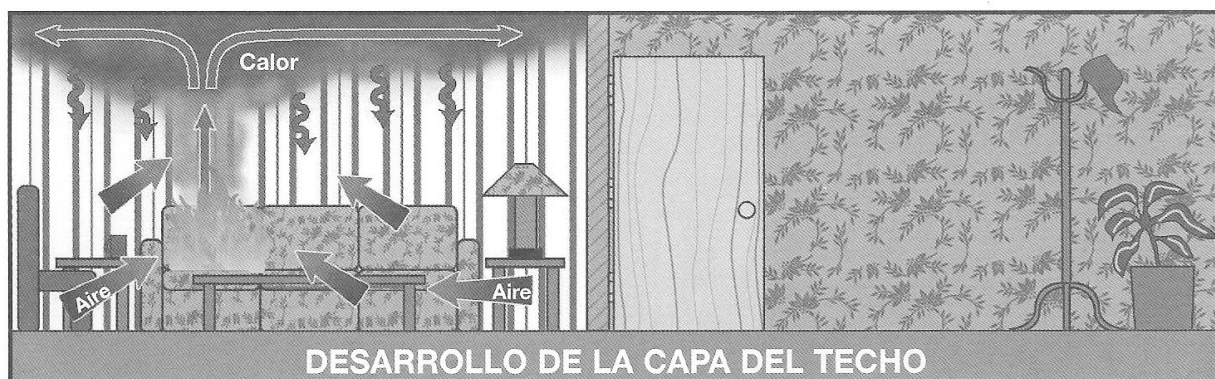


Figura 2.19 A medida que el incendio se propaga, la temperatura general del compartimiento aumenta al igual que la temperatura de la capa de gas en el nivel del techo.

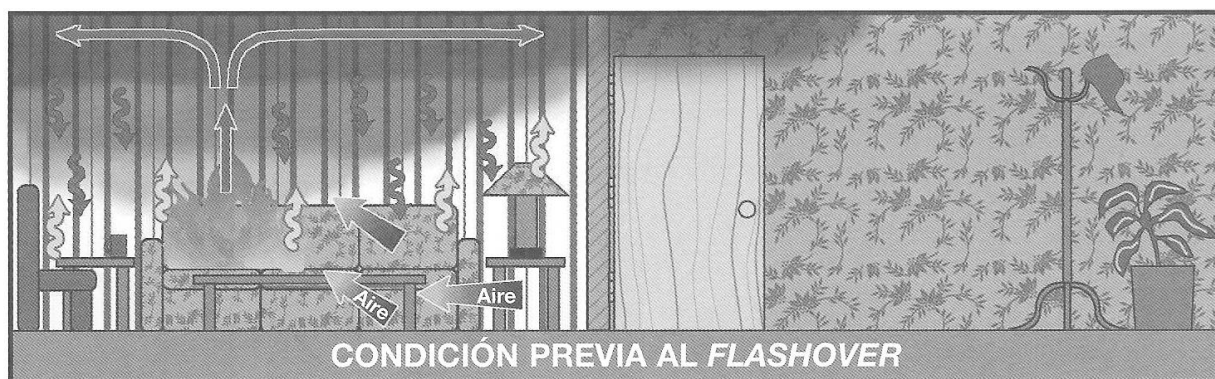


Figura 2.20 El calor radiante (flechas rojas) de las capas de gas caliente del techo calienta a los materiales combustibles, lo que produce los vapores (flechas verdes).

Justo antes del *flashover*, suceden muchas cosas en el compartimiento que arde: las temperaturas aumentan rápidamente, los paquetes de combustible adicionales empiezan a verse involucrados y desprenden gases combustibles como resultado de la pirólisis. A medida que el *flashover* ocurre, los materiales combustibles en el compartimiento y los gases desprendidos de la pirólisis se encienden. El resultado es que toda la habitación se ve afectada. La liberación de calor de una habitación con un *flashover* completamente desarrollado puede ser del orden de 10.000 kW o más.

No es probable que las personas que no hayan podido escapar del compartimiento antes de que se produjera el *flashover* sobrevivan. Los bomberos que se encuentran en un compartimiento cuando se produce el *flashover* corren un riesgo extremo incluso si llevan puesto el equipo de protección personal.

DESARROLLO COMPLETO

La fase de desarrollo completo de un incendio tienen lugar cuando todos los materiales combustibles de un compartimiento se ven afectados por el fuego. Durante este periodo de tiempo, los combustibles que arden en el compartimiento liberan la máxima cantidad de calor posible de los paquetes de combustible y producen grandes volúmenes de gases del fuego. El calor liberado y el volumen de los gases del fuego que se producen dependen del número y del tamaño de las aberturas de ventilación del compartimiento. El incendio se convierte con frecuencia en un incendio controlado a nivel de ventilación, por lo que se producen grandes volúmenes de gases no quemados. Durante esta fase, los gases del fuego calientes no quemados pueden empezar a fluir fuera del compartimiento de origen hacia los espacios o compartimientos adyacentes. Estos gases se prenden cuando penetran en un espacio donde el aire es más abundante (véase la figura 2.22).

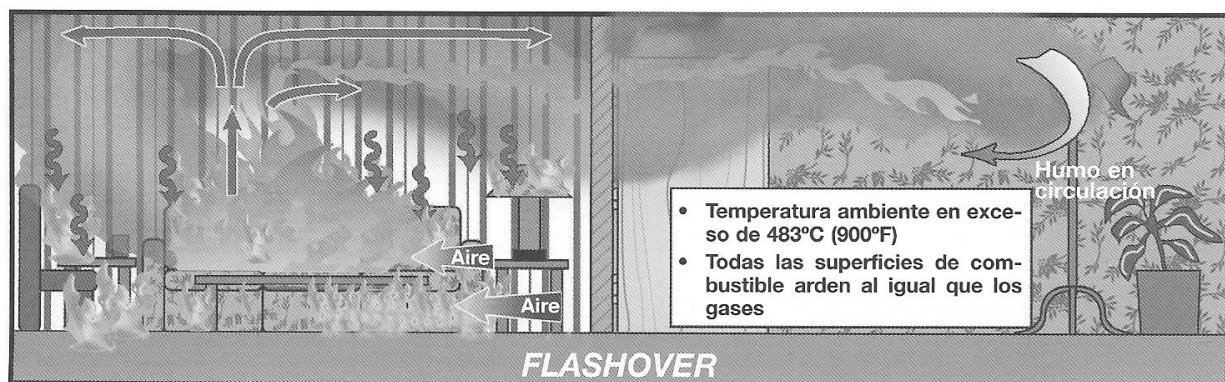


Figura 2.21 Un ejemplo de *flashover* o explosión espontánea tipo flamazo.

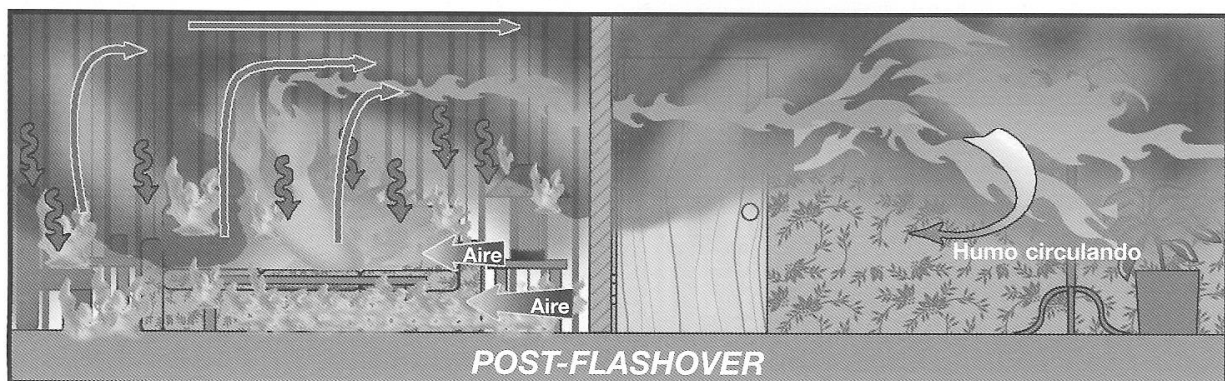


Figura 2.22 Un incendio completamente desarrollado.

DISMINUCIÓN

A medida que el incendio consume el combustible disponible en el compartimiento, la tasa de liberación de calor empieza a disminuir. Una vez más, el incendio se convierte en un incendio controlado a nivel de combustible, la cantidad de fuego disminuye y las temperaturas del compartimiento empiezan a reducirse. Sin embargo, la masa restante de las ascuas puede mantener temperaturas moderadamente altas en el compartimiento durante algún tiempo.

FACTORES QUE AFECTAN AL DESARROLLO DEL FUEGO

A medida que el incendio avanza de la fase de ignición a la fase de disminución, muchos factores afectan a su comportamiento y desarrollo:

- El tamaño, el número y la organización de las aberturas de ventilación
- El volumen del compartimiento
- Las propiedades térmicas de los cierres del compartimiento
- La altura del techo del compartimiento
- El tamaño, la composición y la ubicación del paquete de combustible que se enciende primero
- La disponibilidad y las ubicaciones de los paquetes de combustible adicionales (los combustibles objetivos)

Para que un incendio se desarrolle, debe haber suficiente aire disponible para que el incendio pueda continuar más allá del estado de ignición. El tamaño y el número de aberturas de ventilación de un compartimiento determina cómo se desarrolla el fuego en el espacio. El tamaño, la forma y la altura del techo del compartimiento determinan si se formará una capa de gas caliente considerable. La ubicación del paquete de combustible inicial también es muy importante en la propagación de la capa de gas caliente. Los penachos de los paquetes de combustible que arden en el centro de un compartimiento atraen más aire y son más fríos que aquellos que están en las paredes o en las esquinas del compartimiento.

Las temperaturas que se crean en un compartimiento que arde son el resultado directo de la energía liberada mientras se queman los combustibles. Dado que la materia y la energía se conservan, cualquier pérdida de masa por causa del incendio se convierte en energía. En un

TABLA 2.6
Tasas de liberación de calor de los materiales habituales

Material	Tasa de liberación de calor máxima	
	kW	Btu/s
Cubo de la basura (0,53 kg) con tetrabriks de leche (0,40 kg)	15	14,2
Silla tapizada (con relleno de algodón) (31,9 kg)	370	350,7
Cuatro sillas apiladas (marco metálico, poliuretano y rellenas de espuma) (7,5 kg cada una)	160	151,7
Silla tapizada (espuma de poliuretano) (28,3 kg)	2.100	1.990,0
Colchón (algodón y yute) (25 kg)	40	37,9
Colchón (espuma de poliuretano) (14 kg)	2.630	2.492,9
Colchón y muelles (algodón y espuma de poliuretano) (62,4 kg)	660	626,0
Sofá tapizado (espuma de poliuretano)(51,5 kg)	3.200	3.033,0
Gasolina/queroseno (contenedor de 1.658 cm ² o 2 pies ²)	400	379,0
Árbol de navidad (seco) (7,4 kg)	500	474,0

Fuente: NFPA 921, *Guía de investigaciones sobre incendios y explosiones*, tabla 3-4; NBSIR 85-3223 *Data Sources for Parameters Used in Predictive Modeling of Fire Growth and Smoke Spread* (Fuentes de información para los parámetros utilizados en los modelos de predicción de la propagación del fuego y el humo); y NBS Monograph 173, *Fire Behavior of Upholstered Furniture* (Comportamiento del fuego de los muebles tapizados).

incendio, la energía resultante está en forma de calor y luz. La cantidad de energía calorífica liberada a lo largo del tiempo en un incendio se denomina *tasa de liberación de calor* (TLC). La TLC se mide en Btu/s o kilovatios (kW). La tasa de liberación de calor se relaciona directamente con la cantidad de combustible que se consume en el tiempo y el calor de combustión (la cantidad de calor que desprende una masa específica de una sustancia cuando se quema) del combustible que arde. Vea la tabla 2.6 para conocer las tasas de liberación de calor máximas de muchos objetos habituales. Esta información ofrece números representativos para objetos combustibles típicos.

Los bomberos deben ser capaces de reconocer los paquetes de combustible potenciales en un edificio o compartimiento, y utilizar esta información para estimar la propagación potencial del incendio en el edificio o espacio. Los materiales con elevadas tasas de liberación de calor como, por ejemplo, muebles rellenos de espuma de poliuretano, colchones de espuma de poliuretano o pilas de palets de madera arderán rápidamente después de la ignición. Los incendios de materiales con tasas de liberación de calor menores tardarán más en desarrollarse. En general, los materiales con una densidad baja (como la espuma de poliuretano) arden más rápido (tienen una TLC más alta) que los materiales con una densidad superior (rellenos de algodón) de una composición similar.

Una última relación entre el calor generado en un incendio y los paquetes de combustible es la ignición de los paquetes de combustible adicionales que están situados lejos del primer paquete que se enciende. El calor generado en un incendio de compartimiento se transmite desde el paquete de combustible inicial a los otros combustibles que se encuentran en el espacio mediante los tres modos de transferencia de calor. El calor que se eleva del penacho inicial se transporta por convección. Mientras los gases calientes viajan sobre las superficies de los otros combustibles del compartimiento, el calor se transfiere a estas superficies mediante la conducción. La radiación tiene una función importante en la transición desde un incendio que crece hasta un incendio completamente desarrollado en una habitación. Mientras se forma

la capa de gas caliente en el techo, las partículas calientes del humo empiezan a radiar energía a los demás paquetes de combustible del compartimiento. Estos paquetes de combustible a larga distancia se denominan a veces *combustibles objetivo*. A medida que aumenta la energía radiante, los combustibles objetivo empiezan la pirólisis y desprenden los gases capaces de ignición. Cuando la temperatura del compartimiento alcanza la temperatura de ignición de estos gases, el incendio afecta a toda la habitación (*flashover*).

CONSIDERACIONES ESPECIALES

[NFPA 1001: 3-3.10(a); 3-3.11(a)]

Durante el crecimiento y desarrollo de un incendio, existen varias condiciones o situaciones que merecen ser comentadas.

Flameover/Rollover

Los términos ingleses *flameover* y *rollover* describen una situación en la que las llamas se mueven a través o a lo largo de los gases no quemados durante la progresión de un incendio. El *flameover* se distingue del *flashover* (explosión espontánea tipo flamazo) porque sólo implica a los gases del fuego y no a las superficies de los otros paquetes de combustible del compartimiento. Esta situación puede producirse durante la fase de crecimiento mientras la capa de gas caliente se forma en el techo del compartimiento. Se pueden observar llamas en la capa cuando los gases combustibles alcanzan la temperatura de ignición. A medida que las llamas se suman al total de calor generado en el compartimiento, esta situación deja de ser un *flashover*. El *flameover* también se puede

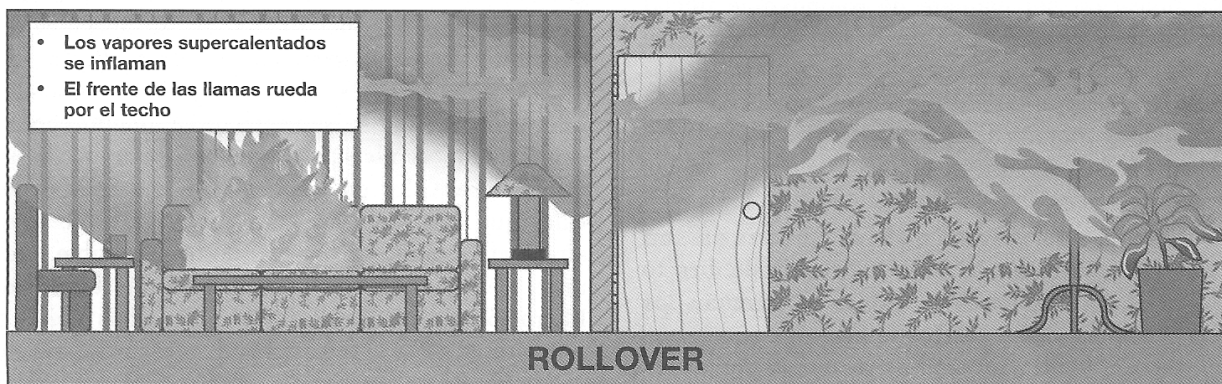


Figura 2.23 Un ejemplo de rollover.

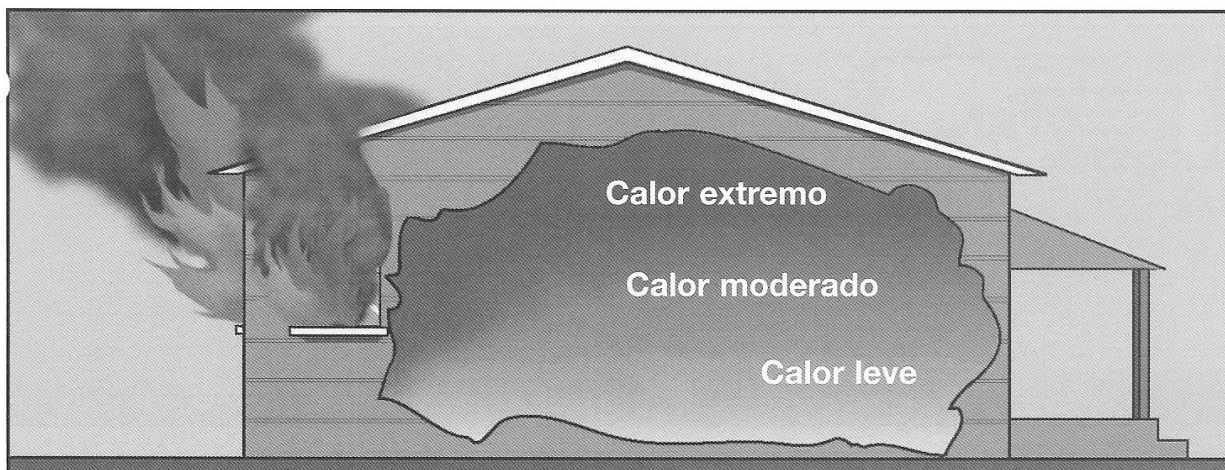


Figura 2.24 En condiciones de incendio normales en una estructura cerrada, los niveles más altos de calor se encontrarán al nivel del techo y los más bajos al nivel del suelo.

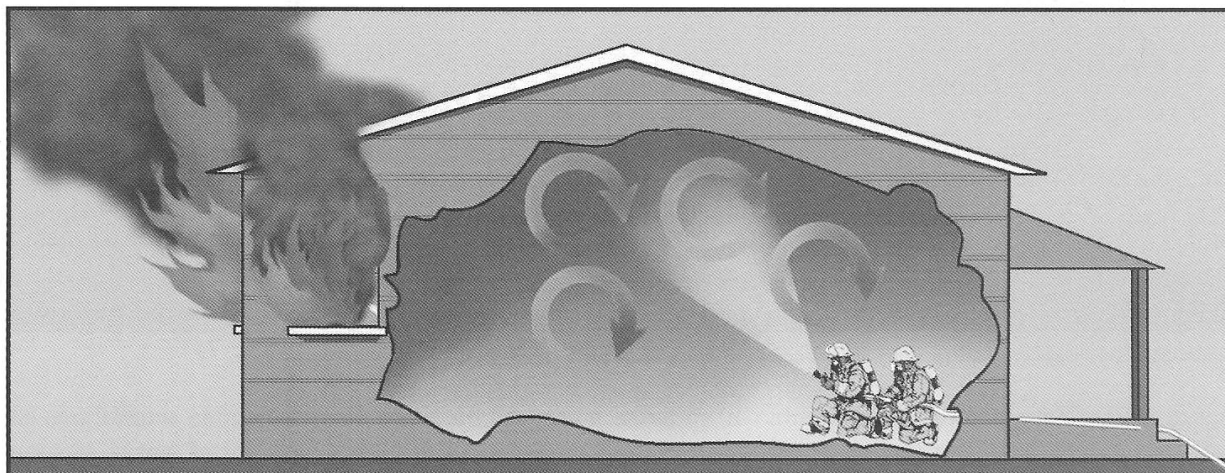


Figura 2.25 Si se aplica agua al nivel superior de la capa térmica se crea un desequilibrio térmico.

observar cuando los gases del fuego sin quemar salen de un compartimento durante las fases de crecimiento y desarrollo completo en el transcurso de un incendio. A medida que estos gases calientes pasan del compartimento que arde al espacio adyacente, se mezclan con el oxígeno. Si se encuentran en la temperatura de ignición, las llamas a menudo se hacen visibles en la capa (véase la figura 2.23).

Capas térmicas de los gases

Las *capas térmicas* de los gases se refieren a la tendencia que tienen los gases de formar capas según la temperatura. Otros términos que se utilizan con frecuencia para describir esta tendencia son la *estratificación del calor* y el *equilibrio térmico*. Los gases más calientes suelen

estar en la capa superior, mientras que los gases más fríos se forman en las capas inferiores (véase la figura 2.24). El humo, una mezcla calentada de aire, gases y partículas, se eleva. Si se abre un agujero en el techo, el humo saldrá del edificio o de la habitación al exterior. Las capas térmicas son vitales para las actividades de protección contraincendios. Cuanto más se permita que el aire y los gases más calientes salgan, más seguros serán los niveles inferiores para los bomberos.

Estas capas normales de los gases más calientes situadas arriba y fuera en la abertura de ventilación pueden suprimirse si se aplica agua directamente sobre las capas. Esta mezcla en forma de remolino de humo y vapor destruye las capas térmicas normales y los gases calientes se mezclan por todo el compartimento (véase la



Figura 2.26 La ventilación inadecuada durante una actuación contra un incendio puede provocar una explosión de humo.

figura 2.25). Este proceso se denomina a veces *destrucción del equilibrio térmico* o *formación de un desequilibrio térmico*. Un gran número de bomberos han resultado quemados al producirse una destrucción de las capas térmicas. Después de una destrucción de las capas normales, se deben utilizar procedimientos de ventilación forzada (como el uso de ventiladores) para airear el área. El procedimiento adecuado frente a estas condiciones es ventilar el compartimiento, permitir que los gases calientes escapen y dirigir el chorro hacia la base del fuego, manteniéndolo alejado de las capas de gases calientes superiores.

Explosión de humo

Los bomberos que trabajan en incendios de edificios deben ir con precaución cuando abren un edificio para entrar en él o proporcionar ventilación horizontal (abrir puertas o ventanas). A medida que el incendio crece en un compartimiento, grandes volúmenes de calor y

gases del fuego sin quemar pueden acumularse en los espacios no ventilados. Estos gases pueden encontrarse a temperatura de ignición o superior, pero carecen del suficiente oxígeno para encenderse realmente. Cualquier acción durante las operaciones de protección contraincendios que permita que el aire se mezcle con estos gases calientes puede provocar una ignición explosiva o explosión de humo (en inglés, *backdraft*) (véase la figura 2.26). Muchos bomberos han resultado muertos o heridos a causa de una explosión de humo. La probabilidad de que ocurra una explosión de humo se puede reducir con una ventilación vertical apropiada (abriendo el punto más alto) para que los gases sin quemar se eleven. Al abrir el punto más alto posible de un edificio o espacio se permite que los gases escapen antes de entrar.

Las siguientes características pueden indicar una condición para que ocurra una explosión de humo:

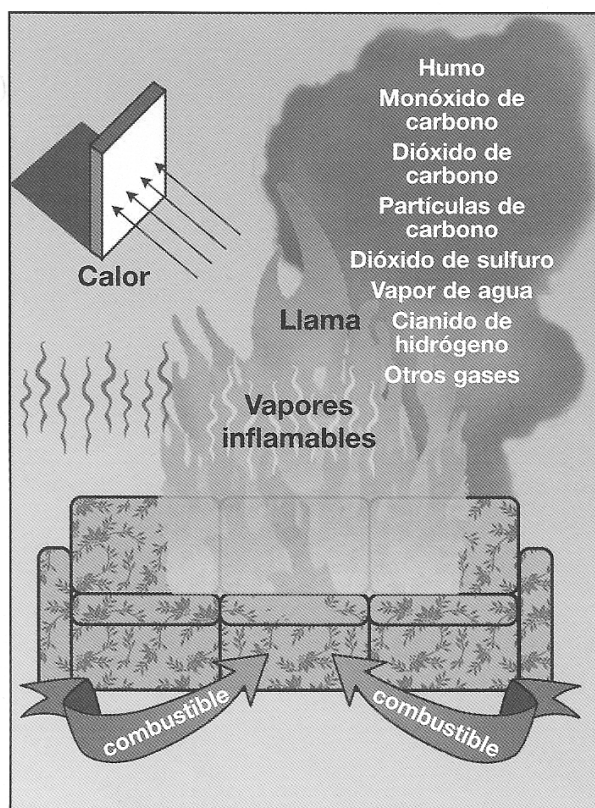


Figura 2.27 Los cuatro productos de combustión son el calor, la luz, el humo y los gases del fuego.

- Humo bajo presión saliendo de aberturas pequeñas
- Humo negro convirtiéndose de un color grisáceo amarillento y denso
- Aislamiento del incendio y calor excesivo
- Llamas pequeñas o invisibles
- Humo que sale del edificio en bocanadas o en intervalos (similar a la respiración)
- Ventanas manchadas por el humo

Productos de combustión

Mientras el combustible arde, la composición química del material cambia. Este cambio produce sustancias nuevas y genera energía (véase la figura 2.27). Cuando se quema un combustible, una parte del mismo se consume en realidad. La Ley de conservación de la masa nos dice que cualquier pérdida de masa se convierte en energía. En el caso del fuego, esta energía está en forma de calor y luz. En la combustión también se generan gases, partículas y líquidos que se transportan

mediante el aire. A lo largo de este capítulo se ha hecho referencia a estos materiales como productos de combustión o humo. El calor generado durante el incendio es uno de los productos de combustión. Además de ser el responsable de la propagación del incendio, el calor también provoca quemaduras, deshidratación, agotamiento por calor y heridas en el tracto respiratorio de una persona.

Aunque la energía calorífica del incendio supone un peligro para todos los que se exponen a ella directamente, el humo provoca la mayoría de las muertes de los incendios. Los materiales que componen el humo varían de combustible a combustible, pero generalmente todo el humo puede considerarse tóxico. El humo que se genera en un incendio contiene gases narcóticos (asfixiantes) e irritantes. Los gases narcóticos o asfixiantes son los productos de combustión que causan la depresión del sistema nervioso central, lo que reduce el conocimiento, provoca intoxicación y puede comportar la pérdida de la conciencia y la muerte. Los gases narcóticos más comunes que se encuentran en el humo son el monóxido de carbono (CO), cianuro de hidrógeno (HCN) y dióxido de carbono (CO₂). La reducción de los niveles de oxígeno como resultado de un incendio en un compartimiento también provocará efectos narcóticos en los humanos. Los agentes irritantes del humo son las sustancias que causan molestias en la respiración (irritantes pulmonares) y la inflamación de los ojos, el tracto respiratorio y la piel (irritantes sensoriales). Según los combustibles que intervengan, el humo contendrá muchas sustancias que pueden considerarse como irritantes.

La más habitual de las sustancias peligrosas del humo es el monóxido de carbono. Aunque el CO no es el más peligroso de los materiales que se encuentran en el humo, casi siempre está presente cuando se produce la combustión. Aunque una persona puede morir o resultar herida al respirar varias sustancias tóxicas en el humo, el monóxido de carbono es una de las sustancias más fácilmente detectables en la sangre de las víctimas de un incendio y, por ello, es la que aparece más a menudo en los informes. Dado que las sustancias en el humo de los



Figura 2.28 Cuatro métodos de extinción de incendios.

incendios de compartimiento son mortales (ya sea individualmente o en combinación), los bomberos deben utilizar aparatos de respiración autónoma (SCBA) para protegerse cuando trabajan en ambientes con humo.

La llama es un cuerpo luminoso y visible de un gas que arde. Cuando un gas que arde se mezcla con las cantidades de oxígeno adecuadas, la llama se calienta más y su luz se reduce. La pérdida de luminosidad se debe a una combustión más completa del carbón. Por estos motivos, se considera que la llama es un producto de combustión. Por supuesto, no está presente en esos

tipos de combustión que no producen llamas como los incendios incandescentes.

TEORÍA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS

[NFPA 1001: 3-3.10(a)]

El incendio se extingue limitando o interrumpiendo uno o más elementos esenciales en el proceso de combustión (el tetraedro del fuego). Un incendio se extingue reduciendo la temperatura (enfriamiento), eliminando el combustible o el oxígeno disponibles o deteniendo la reacción química en cadena (véase la figura 2.28).

Enfriamiento

Uno de los métodos más comunes de extinción es el enfriamiento mediante agua. Este proceso depende de la reducción de la temperatura de un combustible hasta un punto en el que no produzca suficiente vapor para arder. Los combustibles sólidos y líquidos con puntos de ignición elevados pueden extinguirse mediante el enfriamiento. Sin embargo, el enfriamiento con agua no puede reducir suficientemente la producción de vapor para extinguir incendios en los que intervengan líquidos con puntos de ignición bajos y gases inflamables. El uso de agua para el enfriamiento es también el método más efectivo disponible para la extinción de los incendios incandescentes. Para extinguir un incendio mediante la reducción de temperatura, se debe aplicar suficiente agua al combustible que arde para absorber el calor generado por la combustión. Los tipos de chorro y los métodos de extinción se explican más adelante en este manual.

Eliminación del combustible

La eliminación de la fuente del combustible extingue de modo efectivo algunos incendios. La fuente del combustible puede suprimirse deteniendo el flujo del combustible líquido o gaseoso, o suprimiendo el combustible sólido en el camino del incendio. Otro método para suprimir el combustible es dejar que un incendio arda hasta que todo el combustible se consuma.

Dilución de oxígeno

La dilución del oxígeno disponible en el proceso de combustión disminuye la propagación del incendio y puede extinguirlo totalmente con el tiempo. En su forma más sencilla, este método se utiliza para extinguir los incendios en los fogones de las cocinas cuando se coloca una tapa en una sartén con comida ardiendo. El contenido de oxígeno se puede reducir inundando un área con un gas inerte, como el dióxido de carbono, que desplaza el oxígeno e interrumpe el proceso de combustión. El oxígeno también puede separarse del combustible expandiendo una capa de espuma sobre el combustible. Por supuesto, ninguno de estos métodos funciona en los combustibles raros que se autooxidan.

Inhibición de la reacción química en cadena

Los agentes extintores tales como algunos agentes químicos secos y halogenados (halones) interrumpen la reacción de combustión y detienen las llamas. Este método de extinción es efectivo para los combustibles gaseosos y líquidos, porque deben tener llama para arder. Los incendios incandescentes no se extinguen fácilmente con estos agentes. Las concentraciones de agentes muy elevadas y los largos periodos de tiempo de extinción necesarios para extinguir los incendios incandescentes hacen que en estos casos no se puedan utilizar estos agentes.

Los líquidos con una capacidad más alta de ignición (aquellos que permiten que una combustión continúe) tienen una gravedad específica inferior a 1. Si se utiliza el agua como un agente de extinción, el combustible puede flotar en ella mientras continua ardiendo. Si el combustible no está aislado, al utilizar agua se podría propagar el incendio sin querer.

La solubilidad (capacidad de una sustancia para mezclarse con el agua) de un combustible líquido en el agua también es un factor importante a la hora de la extinción. Los líquidos con una estructura molecular similar tienden a ser solubles entre ellos, pero los que tienen estructuras y cargas eléctricas diferentes no tienden a mezclarse. En química, aquellos líquidos que se mezclan con el agua se denominan *solventes polares*. El alcohol y otros solventes polares se disuelven en el agua. Si se utilizan grandes volúmenes de agua, se puede diluir el alcohol y otros solventes polares hasta el punto que ya no arderán más. Por regla general, los líquidos hidrocarburos (solventes no polares, no solubles en agua) no se disuelven en el agua y flotan sobre el agua. Este es el motivo por el cual no se puede limpiar el aceite de las manos con agua; el aceite no se disuelve en el agua. Se debe añadir jabón al agua para que disuelva el aceite.

La densidad de vapor también afecta a la extinción de los combustibles líquidos y gaseosos con capacidad de ignición. Los gases que son menos densos que el aire (densidad de vapor inferior a 1) tienden a elevarse y disiparse cuando se liberan. Los gases o vapores con densidades de vapor superiores a 1 tienden a quedarse en el suelo y a desplazarse según el terreno y el viento. Los

62 FUNDAMENTOS

gases hidrocarburos comunes como el etano y el propano tienen densidades de vapor superiores al aire y tienden a acumularse cerca de la superficie cuando se liberan. El gas natural (metano) es un ejemplo de un gas hidrocarburo con una densidad de vapor inferior al aire. Cuando se libera, el metano tiende a subir y disiparse.

CLASIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS

[NFPA 1001: 3-3,15(a)]

La clasificación de un incendio es importante para el bombero a la hora de tratar su extinción. Cada clase de incendio tiene sus propias necesidades de extinción. Las cuatro clases de incendio se comentan a continuación, junto con los métodos de extinción normal y los problemas. Estas clases se utilizarán a lo largo de todo el manual cuando los diferentes métodos de extinción se expliquen detalladamente.

Incendios de clase A

En los incendios de clase A intervienen materiales combustibles normales como la madera, la ropa, el papel, la goma y gran número de plásticos (véase la figura 2.29). El agua se utiliza para enfriar o apagar los materiales que arden por debajo de su temperatura de ignición. La adición de espumas de clase A (a veces denominadas *agua húmeda*) puede potenciar la capacidad del agua para extinguir los incendios de clase A, especialmente aquellos que tienen muchos materiales de embalaje (como pilas de balas de heno, pilas de serrín, etc.). Esto se debe a que el agente de espuma de la clase A reduce la tensión de la superficie del agua, permitiendo que penetre más fácilmente en las pilas del material. Los incendios de clase A son difíciles de extinguir mediante los métodos de exclusión de oxígeno como la inundación de CO₂ o capas de espuma, ya que dichos métodos no proporcionan el efecto de enfriamiento necesario para la extinción total.

Incendios de clase B

Los incendios de clase B implican líquidos y gases inflamables y combustibles como la gasolina, el aceite, la laca, la pintura, los alcoholes minerales y el alcohol (véase la figura 2.30). El efecto de sofocación o tapamiento de la exclusión del oxígeno es el más efectivo para la extinción y también ayuda a reducir la producción de vapores

adicionales. Los otros métodos de extinción incluyen la supresión del combustible, la reducción de la temperatura cuando sea posible y la interrupción de la reacción en cadena con agentes químicos secos como Purple K[®].

Incendios de clase C

Los incendios que implican equipos eléctricos activados constituyen los incendios de clase C (véase la figura 2.31). Los electrodomésticos, ordenadores, transformadores y líneas de transmisión aérea son algunos ejemplos. Estos incendios pueden controlarse a veces mediante un agente extintor no conductor como el halón, un agente químico seco o el dióxido de carbono. El procedimiento de extinción más rápido es quitar la energía de los circuitos de alto voltaje y, posteriormente, combatir el incendio de forma apropiada según el combustible implicado.

Incendios de clase D

Los incendios de clase D implican metales combustibles como el aluminio, magnesio, titanio, circonio, sodio y potasio (véase la figura 2.32). Estos materiales son especialmente peligrosos cuando se encuentran en polvo. Las concentraciones adecuadas en el aire de polvos de metales pueden causar potentes explosiones, si existe una fuente de ignición adecuada. La temperatura extremadamente alta de algunos metales cuando arden hace que el agua y otros

agentes extintores habituales sean ineficaces. No existe ningún agente que pueda controlar solo los incendios de todos los metales combustibles de modo eficaz. Existen agentes extintores especiales para controlar el incendio de cada uno de los metales. Están específicamente indicados para el incendio del metal que pueden extinguir. Estos agentes se utilizan para cubrir el material que arde.

Los bomberos pueden encontrar estos materiales en muchas instalaciones industriales o de almacenamiento. La precaución es esencial en los incendios con materiales de clase D. La información referente a un material y sus características debe revisarse antes de intentar extinguir un incendio. El material que arde debe estar aislado y tratado tal y como se recomienda en la *Material Safety Data Sheet (MSDS)* o en la *North American Emergency Response Guidebook (NAERG)* del Departamento de transporte del gobierno estadounidense. Todo el

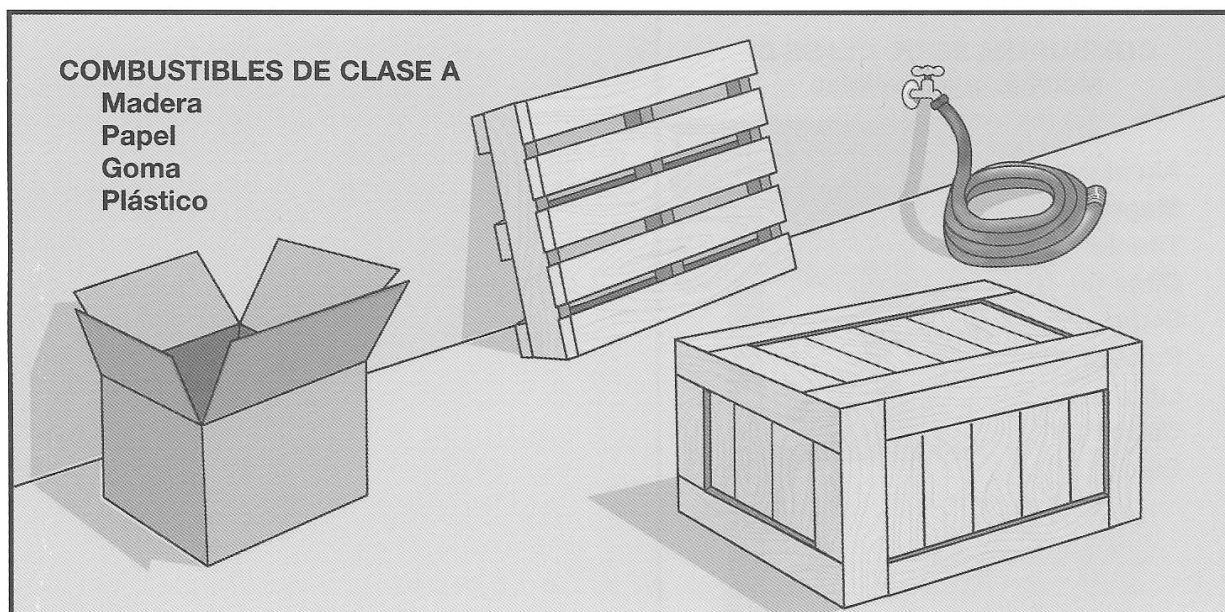


Figura 2.29 Ejemplos de combustibles de clase A.



Figura 2.30 Ejemplos de combustibles de clase B.

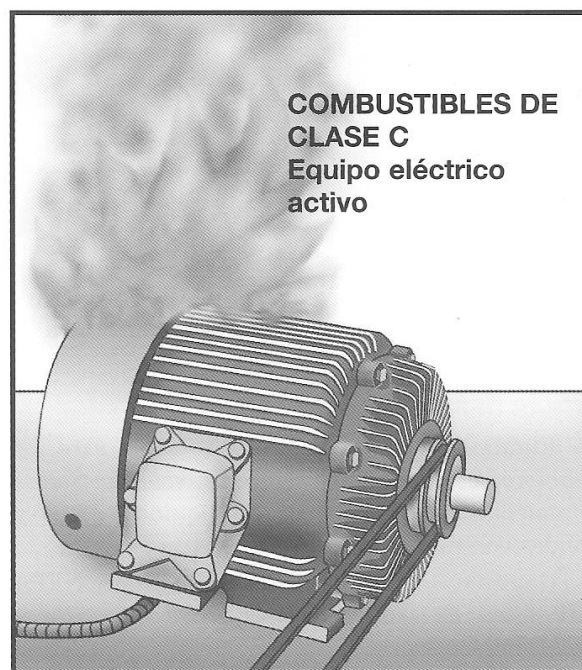


Figura 2.31 Ejemplos de combustibles de clase C.

personal que trabaje en el área del material debe llevar puesto el equipo de protección completo y se debe limitar el número de personas expuestas a las imprescindibles para contener o extinguir un incendio.

NOTAS FINALES

- 1 TUVE, Richard L. *Principios de la química de protección contra incendios*, Boston: National Fire Protection Association, 1976, p. 125.
- 2 Ídem.

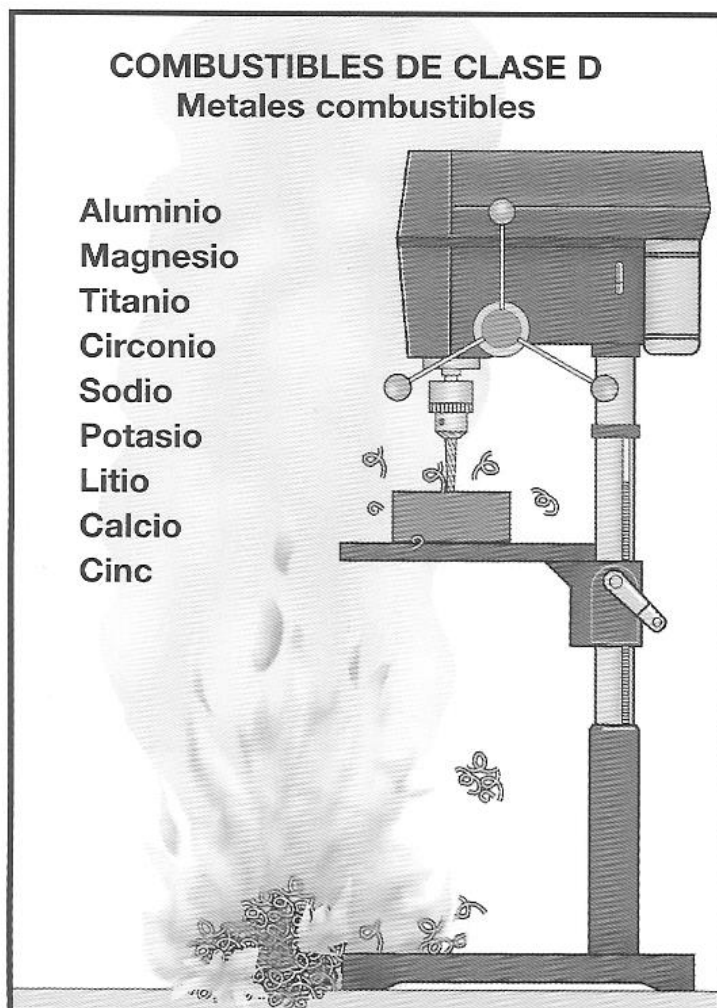


Figura 2.32 Ejemplos de combustibles de clase D.

- 3 FAUGHN, Jerry S.; CHANG, Raymond y TURK, Jon. *Physical Science* (Ciencia física), segunda edición, Orlando: Harcourt Brace, 1995, p. 317.

OTRAS REFERENCIAS

Flammable Ranges, NFPA 325, *Fire of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids* (Propiedades peligrosas de los líquidos, gases y sólidos volátiles inflamables), 1994

Capítulo 3, “Ciencia física elemental”, NFPA 921, *Guía de investigaciones sobre incendios y explosiones*, 1995.