

**Tema 2**

# Incendios de interiores: **Desarrollo de incendios de interiores**



José Miguel Basset Blesa, Inspector Jefe Consorci Provincial de Bombers de València /  
Manuel Alonso Herrerías, Oficial Consorci Provincial de Bombers de València

# Índice de contenidos

1. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO
  - 1.1. COMBUSTIBLE
    - 1.1.1. TIPO DE COMBUSTIBLE
    - 1.1.2. TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DE LOS COMBUSTIBLES SÓLIDOS
    - 1.1.3. UBICACIÓN DEL COMBUSTIBLE
  - 1.2. PROPAGACIÓN DEL INCENDIO
    - 1.2.1. LA INERCIA TÉRMICA, K C
    - 1.2.2. LA DIRECCIÓN DE LA SUPERFICIE
    - 1.2.3. LA GEOMETRÍA DE LA SUPERFICIE
  - 1.3. GEOMETRÍA DEL RECINTO
    - 1.3.1. EL VOLUMEN DEL RECINTO
    - 1.3.2. LA ALTURA DE LOS TECHOS
  - 1.4. HUECOS DE VENTILACIÓN
  - 1.5. PROPIEDADES DE LOS CERRAMIENTOS
  - 1.6. VÍAS DE PROPAGACIÓN
2. DESARROLLO DE INCENDIOS
  - 2.1. FASES EN EL DESARROLLO DEL INCENDIO
    - 2.1.1. IGNICIÓN
    - 2.1.2. ETAPA INICIAL DEL DESARROLLO DEL INCENDIO (CRECIMIENTO)
      - 2.1.2.1. GASES DE INCENDIO Y TASA DE CALOR LIBERADO
      - 2.1.2.2. COLUMNA (PLUMA) DEL INCENDIO
      - 2.1.2.3. GASES DE INCENDIO NO QUEMADOS
    - 2.1.3. FLASHOVER
      - 2.1.3.1. DEFINICIÓN DE FLASHOVER
      - 2.1.3.2. CONDICIONES NECESARIAS PARA QUE SE PRODUZCA UN FLASHOVER
      - 2.1.3.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO
      - 2.1.3.4. SIGNOS QUE INDICAN LA INMINENCIA DE UN FLASHOVER
    - 2.1.4. INCENDIO TOTALMENTE DESARROLLADO Y ETAPA DE DECAIMIENTO
3. DESARROLLO DE INCENDIOS EN RECINTOS CON VENTILACIÓN LIMITADA
  - 3.1. PULSACIONES
  - 3.2. AUTOEXTINCIÓN DEL INCENDIO
  - 3.3. INCENDIO QUE REINICIA SU DESARROLLO
  - 3.4. AUTO-IGNICIÓN DE LOS GASES DEL INCENDIO
  - 3.5. BACKDRAUGHT/BACKDRAFT

- 3.5.1 DEFINICIÓN DE BACKDRAUGHT
- 3.5.2. ESCENARIO TÍPICO DE UN BACKDRAUGHT
- 3.5.3. CONDICIONES NECESARIAS PARA QUE SE PRODUZCA UN BACKDRAUGHT
- 3.5.4. EVALUACIÓN DEL RIESGO
- 3.5.5. SEÑALES DE PELIGRO
- 3.5.6. DESARROLLO DE LA ACCIÓN

#### 4. EXPLOSIÓN DE GASES DE INCENDIO

- 4.1. DEFINICIÓN DE EXPLOSIÓN DE GASES DE INCENDIO
  - 4.1.1. CONDICIONES NECESARIAS PARA QUE SE PRODUZCA UNA EXPLOSIÓN DE GASES DE INCENDIO
- 4.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA POTENCIA DE UNA EXPLOSIÓN DE GASES DE INCENDIO
  - 4.2.1 HUECOS DE VENTILACIÓN/TAMAÑO DE LA ABERTURA(S)
  - 4.2.2 RESISTENCIA A LA PRESIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL EDIFICIO
  - 4.2.3. FACTOR DE EXPANSIÓN
- 4.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO. SIGNOS QUE INDICAN UNA EXPLOSIÓN DE GASES DE INCENDIO INMINENTE
- 4.4. DESARROLLO DE LA ACCIÓN

#### 5. ZONAS DE INDEFINICIÓN ENTRE LOS DIFERENTES FENÓMENOS

- 5.1. DIFERENCIANDO ENTRE UN FLASHOVER Y UN BACKDRAUGHT
- 5.2. DIFERENCIANDO ENTRE UNA AUTO-IGNICIÓN DE LOS GASES DEL INCENDIO Y UN INCENDIO QUE REANUDA SU DESARROLLO
- 5.3. DIFERENCIANDO ENTRE UN BACKDRAUGHT Y UNA EXPLOSIÓN DE GASES DEL INCENDIO
- 5.4. DIFERENCIANDO ENTRE UN FLASHOVER Y UNA EXPLOSIÓN DE GASES DEL INCENDIO

#### 6. TÉCNICAS DE EXTINCIÓN

- 6.1. INTRODUCCIÓN
- 6.2. ATAQUE INDIRECTO (DEFENSIVO)
  - 6.2.1. INTENCIÓN
  - 6.2.2. PROCEDIMIENTO
  - 6.2.3. EFECTO

#### 6.3. ATAQUE DIRECTO

- 6.3.1. INTENCIÓN
- 6.3.2. PROCEDIMIENTO
- 6.3.3. EFECTO
- 6.4. ENFRIAMIENTO DE LOS GASES DEL INCENDIO (3D)
  - 6.4.1. PULSACIONES CORTAS
    - 6.4.1.1. PROCEDIMIENTO
    - 6.4.1.2 EFECTO
  - 6.4.2. PULSACIONES LARGAS
    - 6.4.2.1. PROCEDIMIENTO
    - 6.4.2.2. EFECTO
  - 6.4.3. PULSACIONES LARGAS CON BARRIDO
    - 6.4.3.1. PROCEDIMIENTO
    - 6.4.3.2. EFECTO
- 6.5. MÉTODO DE ATAQUE OFENSIVO
  - 6.5.1. ASEGURAR LA ENTRADA/SALIDA AL RECINTO
  - 6.5.2. CONTROL DE TEMPERATURA
  - 6.5.3. ATAQUE OFENSIVO A LOS GASES DEL INCENDIO/ LLAMAS
  - 6.5.4. PINTAR PAREDES
  - 6.5.5. ATAQUE DIRECTO
- 6.6. ATAQUE EXTERIOR OFENSIVO
  - 6.6.1. DESCRIPCIÓN

#### 7. VENTILACIÓN

- 7.1. INTRODUCCIÓN
- 7.2. PRINCIPIO DE LA VENTILACIÓN
- 7.3. APLICACIÓN DE LA VENTILACIÓN FORZADA O PRESIÓN POSITIVA
- 7.4. TENDENCIAS EN EL USO DE LA VENTILACIÓN CON PRESIÓN POSITIVA
- 7.5. LECCIONES APRENDIDAS
  - 7.5.1. EFECTOS DE LA VENTILACIÓN CON PRESIÓN POSITIVA EN UNA HABITACIÓN INCENDIADA
- 7.6. EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN CON PRESIÓN POSITIVA EN EDIFICIOS DE ALTURA

#### 8. BIBLIOGRAFÍA

#### 9. LECTURAS RECOMENDADAS:

# 1. COMPORTAMIENTO DEL FUEGO

En este tema vamos a profundizar en lo que se denomina dinámica de incendios en interiores. Para abordar este estudio vamos a analizar, en primer lugar, cuales son los factores que intervienen en un incendio que se desarrolla en un recinto cerrado para así, posteriormente, ver de qué manera influyen sobre él.

## 1.1. COMBUSTIBLE

### 1.1.1. TIPO DE COMBUSTIBLE

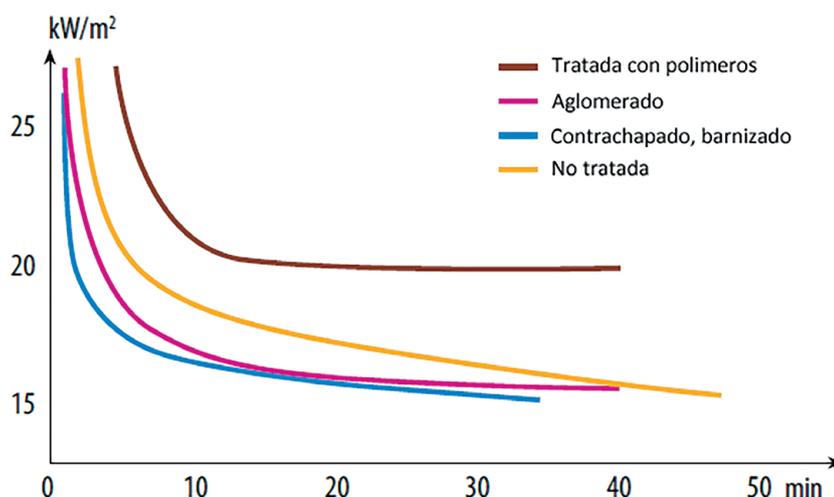
Uno de los factores determinantes en la evolución de un incendio en un recinto cerrado es el tipo y la cantidad de material combustible. En el caso que nos ocupa, los materiales que nos podemos encontrar en los incendios confinados de viviendas van a ser fundamentalmente muebles compactos, por lo general de madera o aglomerado. Este tipo de combustibles sólidos darán lugar a evoluciones de incendio lentas, pero que se pueden mantener durante un tiempo prolongado. Por otra parte, y cada vez en mayor cantidad, también nos encontraremos materiales sintéticos compuestos por polímeros plásticos por lo general porosos y ligeros, los cuales arden con mayor rapidez, pero durante menos tiempo. Esto provoca que los incendios se desarrollen a mayor velocidad y por lo tanto sean más peligrosos para las personas que se encuentran en el interior de los edificios. Dependiendo del tipo de material que dé origen al incendio este se desarrollará con mayor o menor rapidez.

Como ya analizamos en el capítulo anterior, la combustión en sí misma es un proceso que implica toda una serie de reacciones químicas mediante las cuales el combustible se oxida dando como resultado el desprendimiento de luz y calor. Consecuentemente, este proceso químico viene acompañado de una serie de efectos físicos, donde el calor es la energía física liberada durante el proceso químico y la luz es la consecuencia física de la energía acumulada en las partículas de hollín.

La ignición es el primer efecto visible del proceso de la combustión. El material combustible puede autoinflamarse debido a las altas temperaturas o puede inflamarse por la acción de una fuente de energía externa como puede ser una cerilla o una chispa. En el caso de los materiales sólidos, existe una temperatura crítica a la cual tiene lugar la ignición, aunque lógicamente ésta varía en base al material que está ardiendo. La temperatura que deben alcanzar los materiales sólidos en su superficie para arder en presencia de una llama piloto, se encuentra alrededor de los 300 a 400°C. En el caso de no existir la llama, esta temperatura debe ser mayor. Para el caso de la madera se necesita una temperatura en la superficie del material entre los 500 a 600°C para que los vapores se autoinflamen.

La medida de la inflamabilidad de los materiales sólidos se calcula mediante el tiempo que tarda en tener lugar la ignición y ésta se produce cuando en la superficie del material se genera la suficiente cantidad de gases para que éstos se puedan inflamar con una pequeña llama. Materiales tales como la madera o el papel (que son polímeros orgánicos) necesitan emitir del orden de 2 g/m<sup>2</sup>s de gases combustibles para que puedan arder. Para materiales plásticos (polímeros sintéticos), los cuales disponen de un contenido de energía mayor, se necesita 1 g/m<sup>2</sup>s de gases combustibles para que ardan.

La siguiente figura, muestra la intensidad de la radiación (kW/m<sup>2</sup>) frente al tiempo necesario para que se inflamen los vapores procedentes de la madera tratada de diferentes formas.



*Tiempo de ignición en función de la radiación incidente.*

En la figura se puede observar, como la madera de pino tratada con polímeros sólo se inflama tras un largo periodo de tiempo si la intensidad de la radiación no supera los 20 kW/m<sup>2</sup>. Si la comparamos con la **madera de pino sin tratar**, con la misma intensidad de radiación se inflama en apenas 7 minutos cuando la temperatura alcanza unos **500°C**. Consecuentemente, la inflamabilidad para materiales sólidos se puede calcular en base al tiempo que necesitan para inflamarse cuando reciben un cierto impacto de calor.

### 1.1.2. TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DE LOS COMBUSTIBLES SÓLIDOS

La superficie de un material se calienta rápidamente en materiales que tengan una inercia térmica baja, entendiendo como inercia térmica el factor  $k\rho c$ . Los materiales que tienen un valor  $k\rho c$  alto se calentarán lentamente. En la tabla siguiente, se muestran los valores de inercia térmica para diversos combustibles.

Si comparamos el tiempo que necesitan el contrachapado y el aglomerado para arder cuando ambos se encuentran sometidos a la misma radiación (20 kW/m<sup>2</sup>), observamos que el aglomerado arde pasados los 3 minutos, mientras que el contrachapado con un coeficiente  $k\rho c$  mucho menor, se inflama en apenas 50 segundos. Tiempo considerablemente menor que el del aglomerado.

Material	k (W/mK)	c (J/kgK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$k\rho c$ (W <sup>2</sup> s/m <sup>4</sup> K <sup>2</sup> )
Aglomerado	0,14	1.400	600	120.000
Contrachapado	0,05	2.090	300	32.000
Poliuretano	0,034	1.400	30	1.400
Acero	45	460	7.820	160.000.000
Pino natural	0,14	2.850	520	210.000

*Inercia térmica de diferentes materiales.*

### 1.1.3. UBICACIÓN DEL COMBUSTIBLE

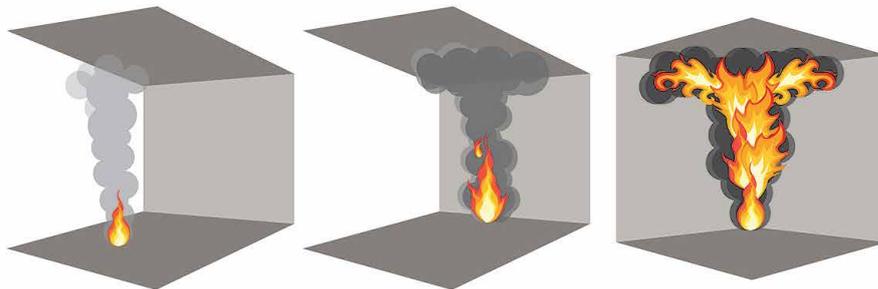
La posición con respecto al recinto que ocupe el material donde se inicia el incendio, va a tener una influencia determinante en la evolución del mismo.

Cuando el material que compone el foco del incendio se encuentra **alejado de las paredes**, por ejemplo, en el centro del recinto, el aire se incorpora al incendio por la zona inferior, a través del perímetro total de la superficie del material que arde, éste aire está más frío que los gases que se están generando, y en consecuencia provoca una cierta ralentización del proceso de incendio, al menos en los momentos iniciales.

Si el material se encuentra **junto a una pared**, el acceso del aire al foco del incendio quedará limitado a la superficie expuesta. Finalmente, si el material está situado **sobre una esquina** la cantidad de aire que llega al foco del incendio queda aún más limitada y este efecto junto con el calor reflejado al propio foco desde los cerramientos **hará que el incendio progrese con mayor velocidad** ya que las llamas se propagarán más rápidamente.

**En general cuanto más agudo sea el ángulo que formen las paredes entre sí, mayor será la velocidad de propagación de las llamas.** Los gases que se van generando como resultado de la combustión se calentarán en la medida que el cojín succione menos cantidad de aire

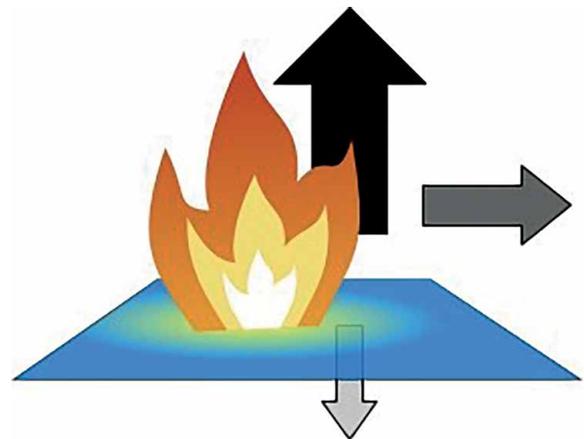
También ejerce una influencia importante en la evolución del incendio la separación a la que se encuentren los materiales que pueden constituir los focos secundarios del incendio con respecto al foco principal ya que determinarán en gran medida la rapidez con que se propague el incendio entre ellos.



### 1.2. PROPAGACIÓN DEL INCENDIO

En general, se puede establecer como norma general que la propagación de las llamas **en sentido ascendente** será mucho más rápida que la propagación lateral en sentido horizontal, y ésta a su vez más rápida que la propagación en sentido descendente.

Los materiales utilizados en los revestimientos de paredes y/o techos del recinto, pueden dar lugar a un desarrollo muy rápido del incendio. En los techos donde se utilizan estos materiales, las llamas se propagan con el flujo de gases (**propagación de llamas en el sentido del flujo de gases**), causando un crecimiento rápido. Con techos no combustibles



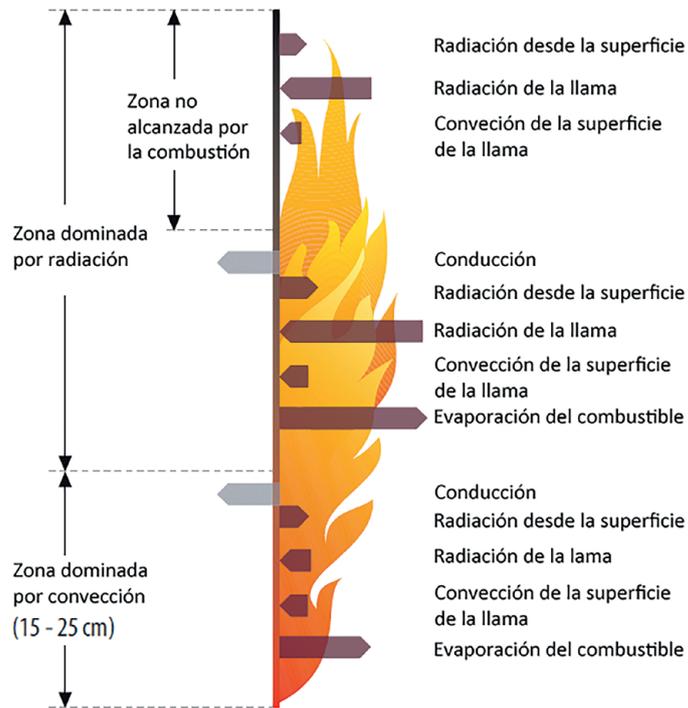
Regla general para la propagación del incendio.

las llamas se propagan horizontalmente (**propagación de llamas contraria al flujo de gases**) a través del material, un proceso que es mucho más lento y que necesita que el material de revestimiento se deba calentar de forma considerable antes de que la llama pueda propagarse con rapidez sobre él.

La superficie de un material combustible es de gran importancia en el desarrollo del incendio. Un material que presente una gran superficie arderá más rápidamente que la misma cantidad de material combustible con una superficie menor. Una pila de palillos de madera, por ejemplo, arderá más rápido que un tronco con la misma masa.

Cuando hablamos de la velocidad con que se propaga el incendio, nos referimos a la velocidad con que la llama avanza y, siendo más precisos, a la velocidad inicial de la llama, por ejemplo, cuando el fuego se inicia, aunque obviamente esta situación también se da bajo el cojín de gases de incendio, ya que por lo general el inicio de las llamas tiene su origen bastante lejos de la posición donde se están produciendo los gases de la pirólisis.

La evolución de las llamas también puede entenderse como una serie de continuas igniciones, dado que la ignición depende en gran medida de la inercia térmica del material, tal como se indicó anteriormente, la evolución de la llama también dependerá del valor del material combustible.



*Evolución de la llama en una pared.*

Como ya se ha dicho, la evolución rápida de la llama puede contribuir al incremento del área incendiada, y en consecuencia también a aumentar la tasa de calor liberado. Esto puede llevarnos gradualmente a una situación muy peligrosa. No obstante, es importante clarificar cuales son los factores que influyen en la evolución de la llama.

En la figura anterior, se muestra lo que ocurre a nivel de la superficie de una pared cuando se quema. Para ello se divide la pared en tres secciones. La sección del fondo está dominada por el calor por convección transferido por la superficie. En la sección del medio, el principal factor es la radiación de la llama debido al aumento del ancho de la llama con la altura, a mayor anchura de la llama, mayor es la transferencia de calor por radiación. En la sección superior, la pared todavía no se ha incendiado. En la figura, la longitud de las flechas indica la magnitud de los diferentes efectos.

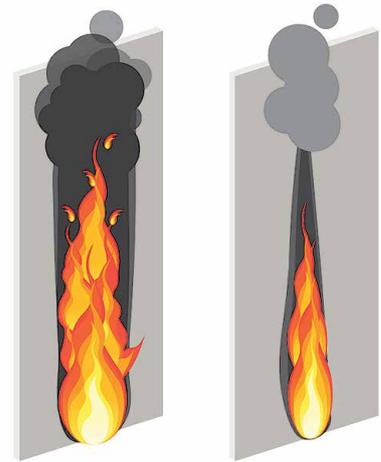
**La velocidad con la que crecen las llamas** sobre la superficie de los materiales depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- La inercia térmica de los materiales,  $k\rho c$
- La dirección de la superficie
- La geometría de la superficie
- El entorno

### 1.2.1. LA INERCIA TÉRMICA, $k\rho c$

La velocidad de crecimiento de la llama depende, en gran medida, del tiempo de ignición, es decir, del tiempo que le cuesta a empezar a arder al combustible, el cual a su vez depende de la inercia térmica del combustible, la cual es una propiedad del mismo. Cuanto mayor es la inercia térmica de un material, más lentamente evolucionará la llama a lo largo de su superficie.

En el caso de combustibles sólidos, el coeficiente de conducción térmica (valor de  $k$ , por lo general aumenta cuanto mayor es la densidad. En la mayoría de los casos, la densidad determina la rapidez con que las llamas evolucionaran a través de la superficie. Esto se traduce en que la velocidad de evolución de la llama a lo largo de la superficie de un material pesado, normalmente es inferior que a lo largo de un material ligero. Por ejemplo, en el caso de espumas sintéticas, las llamas pueden propagarse extremadamente rápidas.



Evolución de la llama en un material ligero (izquierda) y en un material pesado (derecha).

### 1.2.2. LA DIRECCIÓN DE LA SUPERFICIE

La velocidad de propagación de la llama, por lo general es en sentido ascendente. En sentido descendente, esta velocidad es mucho menor, lo cual se debe al hecho de que la superficie no se calienta en la misma medida. En los casos intermedios, la velocidad variará de acuerdo con el grado de inclinación de la superficie.

En el caso de propagaciones de llama en sentido vertical, la altura de las llamas para muchos materiales combustibles, tales como el contrachapado y el aglomerado, dobla su tamaño para un mismo intervalo de tiempo, es decir, si a una llama de 25 cm de altura le cuesta 30 segundos alcanzar una altura el doble de grande (50 cm), para alcanzar 1 m le costará alrededor 2 minutos, si el material de la pared es homogéneo. Estos valores deben entenderse como una medida aproximada.

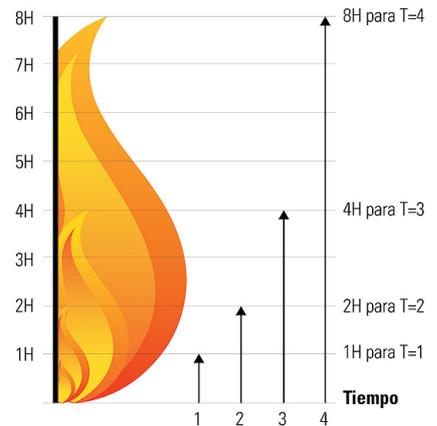
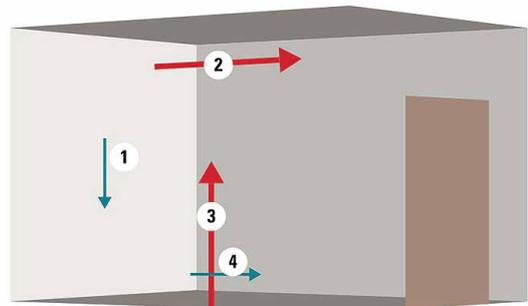


Diagrama representativo de la evolución vertical de la llama.

La misma situación se aplica a la propagación de la llama a lo largo del lado inferior de una superficie horizontal (2) como al de la llama vertical que se propaga hacia arriba (3). Por el contrario, la propagación de la llama en la parte superior de una superficie horizontal (4) o hacia abajo sobre una superficie vertical (1) se puede describir como que se "desliza", ya que es más lenta que la llama que se propaga hacia arriba. Ver figura siguiente.



Evolución de las llamas en diferentes direcciones. Las más rápidas son en la vertical ascendente y a lo largo del techo.

Evolución de las llamas en diferentes direcciones. Las más rápidas son en la vertical ascendente y a lo largo del techo

### 1.2.3. LA GEOMETRÍA DE LA SUPERFICIE

Como ya vimos en la parte referente a la ubicación del combustible, las llamas se propagarán con mayor rapidez cuando se localizan en una esquina que sobre una pared, o cuando el foco del incendio se encuentra en el centro del recinto.

#### El entorno

Cuando la temperatura ambiente aumenta, también lo hace la propagación de la llama. La superficie se calienta y la temperatura de ignición se alcanza más rápidamente. Cuanto mayor sea la temperatura inicial, más rápida será la propagación de la llama. Otra de las consecuencias es que cuanto mayor es la temperatura del material combustible al inicio, más rápidamente se producen gases inflamables en la superficie.

## 1.3. GEOMETRÍA DEL RECINTO

La geometría del recinto donde se desarrolla el incendio, también afecta directamente a la forma en que se comportará el incendio. Podemos resumir que son dos los factores relacionados con la forma del recinto los que van a marcar el comportamiento del incendio:

- El volumen del recinto
- La altura de los techos

Durante el proceso del incendio los gases caliente procedentes del foco del incendio alcanzan el techo del recinto y se acumulan en él, de tal manera que desde el cojín de gases formado y del propio techo se radiará calor hacia el combustible que está ardiendo, aumentando así su velocidad de combustión. Además, este calor radiante también afectará a otros objetos combustibles contenidos en el recinto. El espesor del cojín de gases calientes y su temperatura, así como la temperatura radiada desde el techo tienen por tanto un impacto considerable en el desarrollo del incendio.

### 1.3.1. EL VOLUMEN DEL RECINTO

Cuando el proceso de combustión tiene lugar en un recinto pequeño, se generarán temperaturas relativamente altas y un desarrollo rápido del incendio. Si el recinto es grande, para la misma cantidad de combustible que en el recinto pequeño, dará lugar a temperaturas más bajas de los gases de combustión, y se necesitará más tiempo para que los gases de incendio adquieran el espesor y la temperatura necesaria. En consecuencia, la potencia radiante hacia el combustible será menor, y por tanto el desarrollo del incendio será más lento.

El aire que se incorpora al incendio se verá succionado hacia el foco del incendio para incorporarse a la mezcla de los productos de la combustión y consecuentemente ascenderá hacia el techo. La cantidad de aire frío que entre, dependerá del espacio que quede entre el foco del incendio y la parte inferior del cojín de gases calientes.

### 1.3.2. LA ALTURA DE LOS TECHOS

Cuando el recinto dispone de techos altos este efecto refrigerante del aire, provoca temperaturas de los gases relativamente bajas, pero como consecuencia de la cantidad de aire succionado, el recinto se llenará de gases de combustión con bastante rapidez.

Cuanto menor sea el volumen del recinto, más rápidamente se llenará de gases de combustión. Cuando los techos son bajos la transmisión de calor al combustible será mayor y más rápida. Además, las llamas podrán alcanzar el techo y propagarse horizontalmente. Esto provoca un aumento considerable de la radiación emitida tanto hacia el material combustible que está ardiendo como al resto de los otros materiales, haciendo inminente un desarrollo del incendio rápido.

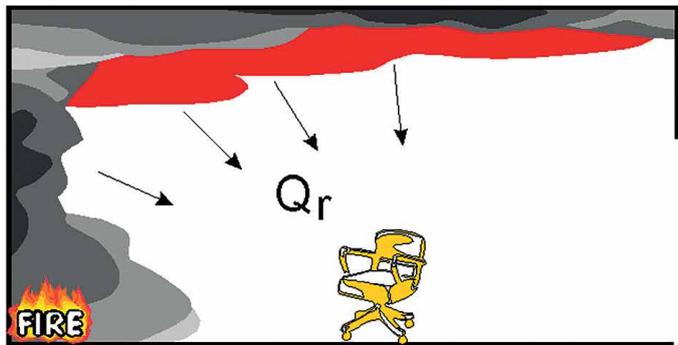
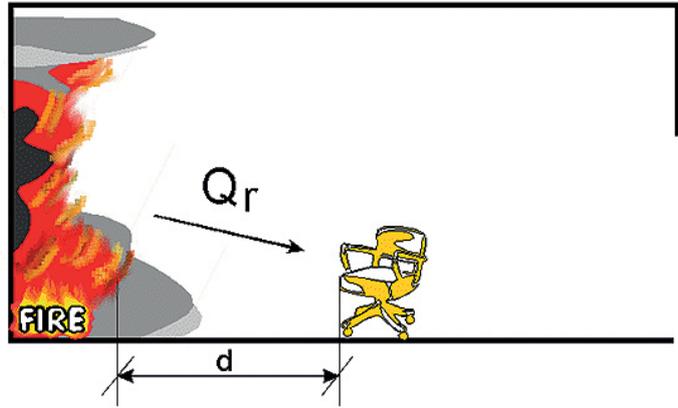
Para recintos con techos altos y una gran superficie, las llamas no alcanzarán el techo y el calor revertido hacia el combustible será menor. El crecimiento del incendio ocurre en este caso por radiación directa de la llama a los objetos próximos, y por tanto la separación entre los materiales combustibles adquiere mayor importancia. Cuanto mayor sea esta distancia, más tiempo tardará el material en incorporarse al proceso del incendio.

En edificios de gran volumen y con los techos bajos, la emisión de calor sobre el foco del incendio desde el cojín de gases calientes y las llamas del techo puede llegar a ser muy intensa.

En la medida en que nos alejamos del foco del incendio, el cojín de gases calientes pierde energía debido al intercambio de calor con el aire frío que está entrando, así como por el propio contacto con la superficie del techo, por tanto, el flujo de calor hacia los materiales combustibles en la etapa inicial del incendio, desde el cojín de gases, es menor que el flujo de calor en las proximidades del foco.

Podemos concluir que la proximidad de techos y paredes puede incrementar el desarrollo del incendio de forma significativa.

Incluso en grandes volúmenes, los gases calientes atrapados bajo el techo pueden calentar los combustibles que hay debajo de ellos y desembocar en una propagación extremadamente rápida a lo largo de superficies extensas.



*Si los techos son altos, la pirólisis de los materiales en el recinto dependerá directamente de la distancia de estos al foco del incendio.*

## 1.4. HUECOS DE VENTILACIÓN

Cuando un incendio alcanza el estado de combustión con llama, este necesita aporte de oxígeno para seguir desarrollándose. En recintos de tamaño medio cerrados o con pocas aberturas, el incendio se sofocará con rapidez por la falta de oxígeno (caso de un incendio controlado por la ventilación) y puede autoextinguirse o continuar ardiendo muy lentamente, dependiendo del aporte de oxígeno.

Bajo determinadas circunstancias, en recintos que disponen de huecos de ventilación, su tamaño, forma, y la posición serán importantes para el desarrollo del incendio. Durante la etapa de crecimiento del incendio, antes de que este llegue a estar controlado por ventilación, la abertura puede actuar como vía de salida de los gases calientes, siempre que su altura y/o posición sea tal que permita que éstos puedan salir del recinto de una forma efectiva. Esto reducirá la tasa de radiación hacia el combustible y se traducirá en un desarrollo más lento del incendio. En condiciones de incendio controlado por combustible la geometría de la abertura no tiene un efecto significativo en el desarrollo del incendio.

En el momento en que el incendio pasa a estar controlado por el aporte de aire, es cuando el tamaño y la forma de los huecos pasa a ser el factor más importante, de tal forma que la velocidad de combustión queda determinada por el flujo de aire que entra en el recinto y a su vez este dependerá del tamaño y distribución de los huecos de ventilación.

## 1.5. PROPIEDADES DE LOS CERRAMIENTOS

El material de los cerramientos del recinto puede afectar considerablemente a la temperatura de los gases calientes y por tanto al flujo de calor hacia la fuente de combustible primaria y hacia el resto de objetos. Algunos materiales utilizados en los cerramientos diseñados para actuar como aislantes, como la lana de roca, evitarán la pérdida de calor de los gases de combustión permitiendo que éstos conserven la mayor parte de la energía que contienen. Por el contrario, los cerramientos de ladrillo y hormigón, facilitarán las pérdidas de calor por conducción a través de los mismos, traduciéndose en una disminución de la temperatura de los gases calientes.

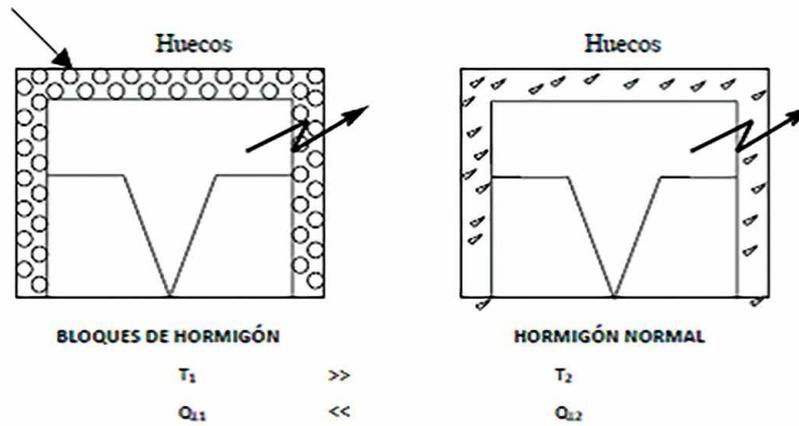
Las propiedades térmicas del material que compone los cerramientos, va a determinar la cantidad de calor que se puede concentrar en el interior del recinto y la que se va a disipar al ambiente exterior a través de ellos y por tanto contribuirá a la velocidad de desarrollo del incendio.

Partamos de la hipótesis de que disponemos de dos recintos exactamente iguales (ver las figuras siguientes) contruidos en materiales diferentes. Consideraremos que uno de ellos dispone de cerramientos de hormigón tradicional y el otro de bloques de hormigón. También consideraremos que ambos disponen en su interior de la misma carga térmica y que arden en iguales condiciones de ventilación.

La primera consecuencia que observamos desde el punto de vista de la transmisión de calor al exterior del recinto, es que vamos a obtener valores necesariamente diferentes, a los que denominaremos respectivamente  $Q_{L1}$  y  $Q_{L2}$ .

Si analizamos las características de conductividad térmica de los componentes de nuestras dos estructuras, observamos que en el bloque de hormigón la cantidad de aire contenido es mayor que en la de hormigón normal. Este factor va a influir de forma que las pérdidas de calor sean menores en el de hormigón ligero que en el normal, debido a que en el primero la conductividad térmica es menor que en el segundo, ya que el aire es un mal conductor del calor (o dicho de otra forma, un buen aislante) y en consecuencia todo el poder calorífico generado por el incendio se utilizará en aumentar la pirólisis de los materiales contenidos en el recinto.

Al contrario, en el de **hormigón normal**, la cantidad de calor destinada al mismo efecto es menor, debido a que se **fuga mayor cantidad de calor al exterior**, y por tanto podemos decir que la temperatura que se alcanzará en el recinto de hormigón ligero, será mayor que en la del hormigón normal.



Este efecto acabará incidiendo en una mayor acumulación de calor en el recinto de bloques de hormigón y por lo tanto en una evolución de incendio más favorable.

## 1.6. VÍAS DE PROPAGACIÓN

La propagación de un incendio más allá del recinto donde se originó, generalmente se debe a una exposición excesiva al calor y a la formación de huecos en los cerramientos que lo limitan. Por donde haya un hueco o abertura, el incendio se propagará ya que buscará/se desarrollará hacia lugares donde exista disponibilidad de oxígeno. A continuación, se enumeran una serie de posibles vías de propagación que pueden darse previamente al incendio o que pueden crearse como consecuencia del mismo:

- Aberturas existentes (p. ej. Puertas abiertas, ventanas abiertas, huecos de cubierta abiertos, etc.)
- Formación de huecos como resultado de roturas de ventanas o zonas acristaladas
- Formación de huecos como resultado del deterioro de los cerramientos que delimitan el recinto por fallo estructural, formación de grietas o un aumento excesivo de temperatura en la cara no expuesta por conducción
- Formación de huecos como resultado del fallo en los sistemas de conducción de servicios del edificio a través de los cerramientos, debido al flujo de gases calientes que los atraviesa.

La propagación de los gases de incendio es otro aspecto importante a tener en cuenta. Los gases se propagarán de forma ascendente y saldrán por las aberturas ya existentes o las creadas por los gases calientes del incendio. Si los gases calientes no pueden salir por las aberturas, se acumularán en el techo e irán aumentando su volumen. Si encuentran alguna abertura en algún punto (o se practica una durante las tareas de extinción), los gases saldrán por allí. En estas circunstancias, el riesgo reside en que los gases del incendio pueden inflamarse bastante lejos del punto donde se originó el incendio, si la temperatura es lo suficientemente alta. En todos los casos los gases del incendio provocaran daños en el interior del edificio allí donde se encuentren.

## 2. DESARROLLO DE INCENDIOS

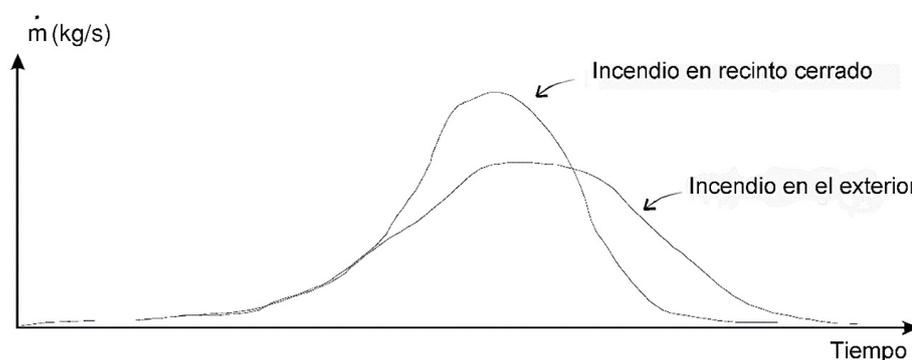
Hasta aquí hemos visto cuales son los factores que hacen posible que un incendio se inicie y progrese, así como los efectos que produce en un recinto cerrado.

En esta sección vamos a analizar que, aunque resulte cierta la expresión de que cada incendio es diferente, lo cierto es que todos siguen unas pautas muy concretas y de hecho los procesos que tienen lugar en su desarrollo son iguales. Lo que realmente los hace diferentes, y esto también es cierto, son las condiciones particulares que en cada uno de ellos se dan y que son lo que realmente le imprimen su "personalidad propia". Vamos a analizar cuáles son estas claves y de qué manera influyen.

Para que un incendio se desarrolle desde el material que comienza a arder inicialmente, el calor debe ser transmitido más allá de dicho material hacia otras fuentes de combustible adicionales. En la primera etapa de un incendio, la tasa de calor liberado aumenta y se va conformando un cojín de gases procedentes del incendio a través de una columna de convección.

En términos generales, podemos decir que el efecto que produce un objeto cuando arde en el interior de un compartimento cerrado depende principalmente de dos factores, la energía liberada y la velocidad de combustión (tasa de pérdida de masa). Inicialmente los gases calientes que se acumulan a nivel del techo calientan las paredes y el propio techo. Las capas de gases calientes junto con los cerramientos radian calor hacia la superficie del combustible y ambos efectos hacen que aumente la velocidad de combustión. Por otra parte, los huecos de ventilación (puertas, ventanas, etc.) pueden limitar la disponibilidad del oxígeno necesario para la combustión. Consecuentemente, no todo el combustible que se genera se quema, lo que da lugar a un aumento de la concentración de los gases no quemados y al descenso de la tasa de calor liberado.

En el siguiente gráfico podemos observar la velocidad de combustión de un objeto que arde en el exterior comparado con la combustión del mismo objeto en un recinto cerrado (con una abertura). Las superficies calientes de los cerramientos y la capa de gases calientes transfieren calor al combustible haciendo que la velocidad de combustión aumente en el caso del recinto cerrado.



El desarrollo de incendios en recintos cerrados es mucho más complejo que los declarados en espacios abiertos.

A nuestros efectos, consideraremos como "recinto cerrado" a una habitación o espacio cerrado en el interior de un edificio. Se define como "incendio de interior" al incendio que transcurre en un espacio como el definido.

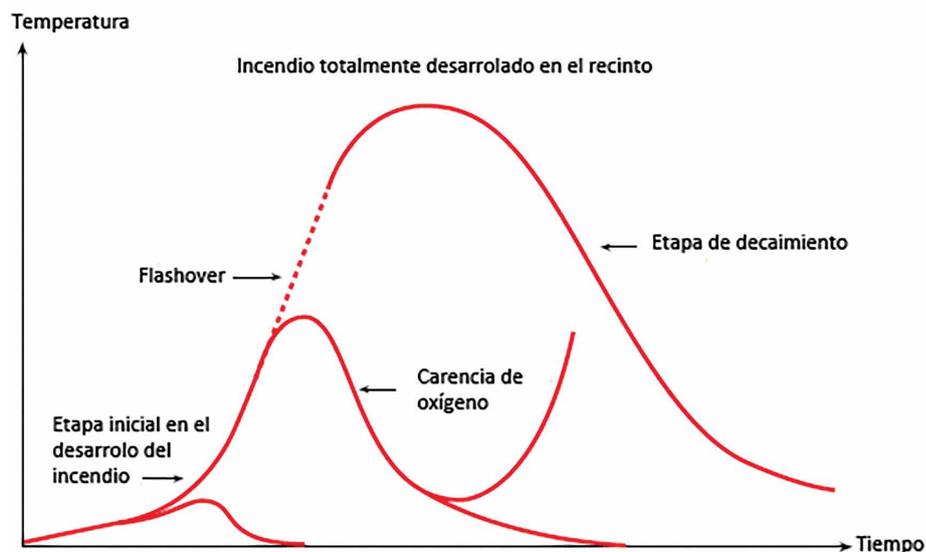
El crecimiento y desarrollo de un incendio en un recinto cerrado está habitualmente controlado por la disponibilidad de combustible y de oxígeno. Cuando la cantidad de combustible para ser quemado es limitada, se dice que el incendio está controlado por el combustible, es decir, se dispone de la cantidad suficiente de aire por lo que es la cantidad de combustible la que limita la velocidad de crecimiento del incendio.

Cuando la cantidad disponible de oxígeno es limitada, se dice que el incendio está controlado por ventilación. Cuando se alcanza esta condición no existen limitaciones respecto a la cantidad de combustible implicado en el incendio, ya que posiblemente en este momento todos los materiales en el recinto están implicados en el incendio, pero no se dispone de la suficiente cantidad de oxígeno para que la combustión se mantenga.

Con el fin de facilitar la comprensión del desarrollo de incendios en recintos cerrados, comúnmente se divide su evolución en etapas. Estas vendrán determinadas por diferentes variables del entorno, aunque nosotros centraremos su análisis en las temperaturas que se desarrollan dentro del recinto.

## 2.1. FASES EN EL DESARROLLO DEL INCENDIO

Las etapas en las que se divide el estudio de la evolución de un incendio en un compartimento se establecen de acuerdo con la evolución de la temperatura durante el proceso. En la siguiente figura se muestra una curva idealizada de la variación de la temperatura con respecto al tiempo, a lo largo del cual se desarrollan las etapas, en el caso en que no se intervenga sobre el incendio. Walton y Thomas establecieron estas etapas de la siguiente forma:



Idealización de las etapas de la evolución de un incendio en función de la temperatura.

- Ignición
- Crecimiento
- Flashover
- Incendio totalmente desarrollado
- Decaimiento

### 2.1.1. IGNICIÓN

Cuando se habla del inicio de un incendio comúnmente se utiliza el término *iniciador del incendio*. Este término se utiliza para hacer referencia al objeto que da lugar al incendio.

Vamos a comenzar el análisis del progreso de estos incendios. El punto de partida se establece cuando un objeto comienza a arder. Un factor fundamental para el desarrollo del incendio es si el objeto que comienza a arder puede constituir una fuente de combustible suficiente por sí mismo o si hay más materiales combustibles cerca de él. Si el incendio no progresa, permanecerá controlado por el combustible y éste arde por sí mismo.

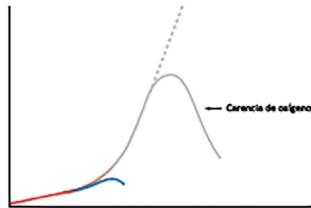
Cuando el incendio está controlado por el combustible, el calor liberado depende de la disponibilidad de combustible. En esta situación, se dispone por lo tanto de suficiente oxígeno para que arda todo el combustible. Por otra parte, cuando el incendio pasa a estar controlado por la ventilación, es la cantidad de oxígeno e indirectamente, el tamaño de la/s aberturas, de lo que va a depender el calor liberado. También resulta crucial la disposición del combustible en el comportamiento del incendio. ¿De qué manera evoluciona entonces el incendio? En la medida en que el incendio avance, la tasa de calor liberado aumentará. De esta manera, el calor desprendido por el objeto que comienza a arder en primer lugar provocará el incendio de los que se encuentren más próximos a él.

Resulta habitual hacer referencia al objeto o material donde comienza el incendio como inicio del incendio. Puede tratarse de un sofá, una vela sobre una mesa etc.



Comencemos con el inicio del incendio. En teoría existen dos posibles vías de evolución para el incendio una vez este ha comenzado, puede detenerse o crecer.

El primer escenario (el fuego se detiene) es muy fácil de manejar desde un punto de vista táctico. A menudo habrá gases de incendio en el recinto, pero el foco del incendio será muy fácil de extinguir.



El incendio puede evolucionar de maneras diferentes, puede crecer o detenerse.



El incendio no evoluciona.

En el segundo de los escenarios (el incendio crece), debemos prestar algo más de atención. La disposición y el tipo de materiales combustibles en el recinto serán fundamentales para que el incendio continúe. Los materiales porosos y los fabricados a base de madera (aglomerado) que componen el mobiliario contribuirán a un desarrollo del incendio rápido. Los materiales plásticos, sobre todo cuando los suelos son de madera, son la causa de que el incendio se propague muy rápidamente debido a que gotean y forman charcos que se incendian en el suelo.

Tal como se hizo mención en los apartados anteriores, es importante entender el proceso de ignición de los materiales y la forma en que se propagan los diferentes tipos de llamas, para poder ser capaces de comprender como aumenta la intensidad del fuego.

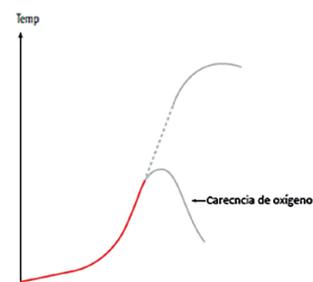


El incendio inicial en el sofá se hace más grande. El área del incendio aumenta.

## 2.1.2. ETAPA INICIAL DEL DESARROLLO DEL INCENDIO (CRECIMIENTO)

Hasta aquí hemos definido el proceso físico que da lugar a la ignición y la evolución de las llamas. A partir de ahora vamos a describir el proceso químico, el cual adopta un papel significativo en el desarrollo del incendio y que permite su evolución. El proceso químico relacionado con el proceso puede ser complejo, pero en la mayoría de los casos, resulta fácil para los bomberos identificar estos procesos.

Para comprender lo que ocurre en esta etapa, debemos familiarizarnos con los conceptos de gases no quemados y de llamas premezcladas y de difusión, así como con los procesos químicos que ya definimos en anteriores apartados.



*Etapa inicial del desarrollo del incendio donde los gases de incendio se acumulan bajo el techo.*

Imaginemos una situación donde la capa de gases del incendio se está comenzando a formar bajo el techo, mientras que la intensidad del incendio continúa creciendo. ¿Qué ocurre con los gases del incendio que se acumulan bajo el techo y qué puede ocurrir en el recinto si estos gases comienzan a arder? Todavía nos encontramos en la etapa inicial del desarrollo del incendio en la que éste comienza a crecer y donde la intensidad del incendio aumenta como consecuencia de que las tasas de pérdida de masa y de emisión de calor (calor liberado) que la acompaña están aumentando.

Para poder llevar a cabo una intervención de la manera más eficiente posible, es importante familiarizarse con lo que ocurre durante la etapa inicial del desarrollo de un incendio. El proceso que tiene lugar en el interior del recinto incendiado en esta etapa es altamente complejo. Todavía nos encontramos con un incendio controlado por el combustible, lo cual implica que se dispone del volumen de oxígeno suficiente para que se queme el combustible. Cuando la cantidad de oxígeno en el interior del recinto es suficiente para la combustión, el hecho de que el recinto se encuentre abierto o cerrado no influye.

Este es un escenario habitual a la llegada de las dotaciones de bomberos al lugar del incendio. Es entonces cuando es muy importante ser capaz de determinar si el incendio se encuentra controlado por el combustible o por la ventilación, ya que esto condicionará el tipo de actuación que deberá llevarse a término. Si el incendio está controlado por el combustible la tasa de calor liberado no se incrementará cuando la puerta se abra y no será necesario preocuparse de que los gases del incendio se inflamen rápidamente.

### 2.1.2.1. GASES DE INCENDIO Y TASA DE CALOR LIBERADO

Cuando el incendio crece (en la medida en que aumenta la tasa de calor liberado), tienen lugar una serie de procesos complejos en la capa de los gases del incendio. Bajo determinadas circunstancias, **estos gases pueden arder**. Para que esto ocurra, **necesitamos disponer de suficiente combustible y oxígeno presentes**, así como algún tipo de fuente de ignición.

Si los gases del incendio se inflaman el incendio se propagará muy rápidamente y en determinados casos, también aumentará la presión, lo cual afectará tanto a las personas como a la estructura del recinto.

### 2.1.2.2. COLUMNA (PLUMA) DEL INCENDIO

Cuando un material sólido se calienta, comienza a emitir gases. Este proceso se conoce como pirólisis. Habitualmente la pirólisis **comienza cuando el rango de temperaturas oscila entre los 100 a 250°C**. Son los gases de la pirólisis los que comienzan a arder cuando se mezclan con el oxígeno. El proceso de

pirólisis implica una descomposición química en la que constituyentes complejos de la materia se transforman en otros más simples. Parte de los gases que se acumulan en la superficie del combustible no arderán en la zona de la llama. Estos gases no quemados se incorporarán a la columna ascendente y pasarán a formar parte del cojín de gases de incendio. En las siguientes figuras se muestran algunos ejemplos de los tipos de productos que se pueden encontrar en el cojín de gases del incendio.



Los gases de incendio comienzan a acumularse bajo el techo. Pero las condiciones en la zona inferior del recinto todavía son buenas para que una persona pueda permanecer ahí durante un periodo de tiempo pequeño.

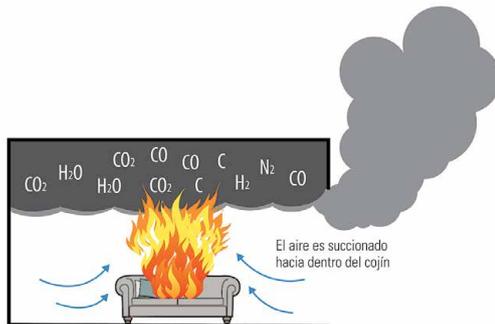
Vamos a describir en que consiste la columna del incendio o, tal como se define en inglés en los manuales técnicos la pluma del incendio, ya que, por diferentes motivos, esta determina el desarrollo del incendio.

La columna tiene lugar por lo general cuando una llama de difusión se propaga a través del material combustible.



El incendio se propaga adecuadamente.

Dado que en la masa gaseosa se registran diferentes temperaturas, también se dan zonas de diferentes densidades. La parte caliente de la masa gaseosa, la cual tiene la densidad más baja, ascenderá sobre los gases del entorno, los cuales se encuentran a una temperatura inferior y que por lo tanto son más densos. Este efecto tiene lugar sobre el foco del incendio.



La columna del incendio viene acompañada de una gran variedad de productos, los cuales se acumulan en el cojín de gases del incendio.



Una alta concentración de combustible que asciende gradualmente, hará que las llamas alcancen la parte inferior de la capa de gases del incendio.

La columna está constituida por el flujo de gases calientes que se forman sobre una llama natural. Las propiedades de la columna del incendio dependen del tamaño del incendio, es decir, de la tasa de calor liberado generada por el incendio.

Estas propiedades influyen en el desarrollo del incendio en aspectos tales como la rapidez con que el edificio se llena de gases de incendio y el impacto de calor que deben soportar las estructuras circundantes.

### 2.1.2.3. GASES DE INCENDIO NO QUEMADOS

Siempre que tiene lugar una combustión en la que el aporte de oxígeno sea insuficiente se generan gases de incendio no quemados. Sin embargo, aun cuando el aporte de oxígeno sea el suficiente para que todo el combustible pueda arder, siempre se llegan a formar gases de incendio no quemados.

Los productos combustibles que se encuentran en los gases de incendio se originan en:

1. La pirólisis de los materiales que no están en contacto con el foco de incendio. Como habitualmente la temperatura a nivel del techo es alta, los materiales combustibles del techo van a pirolizar.
2. La combustión incompleta del foco del incendio.

Cuanto más incompleta sea la combustión, más productos combustibles habrá en el cojín de gases del incendio. Cuanto más pobre sea el acceso de aire, más incompleto será el proceso de combustión. De esta manera aumenta la probabilidad de que el cojín de gases se inflame.

### 2.1.3. FLASHOVER

La última etapa de la fase de crecimiento es la que se denomina flashover. Vamos a definir los mecanismos que pueden hacer que en un incendio se produzca un flashover. Los requisitos previos básicos para que esto suceda es que exista la cantidad suficiente de combustible en relación con el volumen del recinto. El incendio tendrá posibilidades de progresar hacia un episodio de flashover si existen aberturas en el recinto. También se describirá qué es lo que ocurre en el cojín de gases de incendio durante la transición de un incendio de la etapa de crecimiento a la etapa de totalmente desarrollado. Finalmente, también resulta particularmente interesante analizar qué tipo de llamas se producen en un flashover.

En nuestro camino en la evolución del incendio, todavía nos encontramos en

el tramo ascendente de la curva de crecimiento del incendio. Hasta este punto, se ha definido la manera como se comporta el incendio en la etapa inicial de su desarrollo. No se ha tomado en consideración ninguna abertura en el recinto, pero se ha asumido que el incendio aún se encuentra controlado por el combustible.

Todavía no se ha alcanzado la situación donde el incendio se ha propagado a otros objetos en el recinto.

Al presumir que el incendio se encuentra controlado por el combustible, damos por sentado que existe un acceso de aire, el cual permite que el proceso de combustión continúe. Sin embargo, el incendio puede evolucionar de diferentes formas. El momento en que el incendio pasa a estar controlado



*Caso 1: El incendio evoluciona hacia flashover. En este caso, el recinto dispone de un buen aporte de aire, lo cual significa, teóricamente, que existen aberturas en el recinto.*

*Caso 2: Si existe carencia de oxígeno en el recinto, la intensidad del incendio decaerá y la temperatura descenderá. Lo cual puede acabar de manera que el incendio se extinga espontáneamente o que comience una combustión latente.*

por la ventilación variará de acuerdo con una serie de factores. La descripción que se va a hacer a continuación no pretende ilustrar todos los posibles casos que se pueden dar en el desarrollo del incendio, ya que éste puede hacerlo de muy diferentes maneras. La siguiente figura pretende ser una representación de la evolución de dos escenarios básicos de incendios.

**Primer escenario.** El incendio dispone de una vía de acceso de aire/oxígeno y este continúa con su desarrollo.

El calor aumenta en el cojín de gases del incendio y comienza a radiarse calor hacia las partes inferiores del recinto. Este proceso, será capaz de acelerarse conduciéndonos a lo que se denomina como flashover.

Los episodios de flashover, en ocasiones, tienen como resultado la muerte de personas, por lo que es importante estar familiarizado con las situaciones que pueden acabar desarrollando este tipo de evento.

Cuando un incendio en su etapa inicial evoluciona hacia un flashover, en teoría, no existe posibilidad de supervivencia para ninguno de los ocupantes del recinto. En consecuencia, **es muy importante atacar el incendio antes de que alcance la situación de flashover.** Por este motivo, los bomberos deben disponer de los conocimientos básicos para comprender cuales son los factores que intervienen en el desarrollo de un incendio en un recinto cerrado, es decir, de aquellos factores que pueden hacer que el incendio acabe en una situación de flashover.

### 2.1.3.1. DEFINICIÓN DE FLASHOVER

El término flashover se ha utilizado como concepto al menos durante los últimos 50 años. Su definición ha sido imprecisa en algunos momentos lo que ha provocado que en los últimos años se hayan desarrollado diferentes interpretaciones sobre este concepto. Sería deseable que todos estuviesen de acuerdo en aceptar una misma definición (una definición ISO, por ejemplo) que cualquiera pudiera utilizar en cualquier parte del mundo, con independencia de que se trabaje en un servicio contra incendios, en el sector de las empresas aseguradoras o en cualquier consultoría. Si realmente se llegase a alcanzar un acuerdo en el significado del concepto de flashover ya no existiría ninguna necesidad en el futuro de "inventar" ningún otro término.

La definición de la ISO sobre flashover es la siguiente:

*La transición rápida al estado donde todas las superficies de los materiales contenidos en un compartimento se ven involucradas en un incendio.*

Sin embargo, esta definición puede explicarse con mayor detalle. De tal manera que podemos clarificarla de la siguiente forma:

*Durante el incendio de un compartimento se puede alcanzar una etapa donde la radiación térmica procedente del incendio, los gases calientes y las superficies calientes de los cerramientos dan lugar a que las superficies de todos los materiales combustibles contenidos en el compartimento pirolícen. Esta transición súbita y mantenida*



*El incendio se ha extendido a otros objetos del recinto. Pronto la totalidad del recinto se verá afectada.*

de un incendio en etapa de crecimiento a incendio totalmente desarrollado es a lo que se le denomina como flashover.

Siempre que se alcanza una situación de flashover, el incendio acaba evolucionando a un incendio totalmente desarrollado. El punto A de la figura anterior pretende indicar el estado del incendio cuando las llamas alcanzan el techo del recinto. En el punto B ya se ha alcanzado el estado de incendio totalmente desarrollado.



Periodo de tiempo sobre el que tiene lugar el flashover.

El periodo de tiempo comprendido entre los puntos A y B puede variar en función de una serie de parámetros como son el volumen o la altura de los techos del recinto, en algunos casos concretos este periodo puede ser muy corto, incluso de unos pocos segundos. Se podría describir el flashover como el tiempo que transcurre desde que el incendio se manifiesta hasta que la totalidad del recinto es consumido por las llamas.

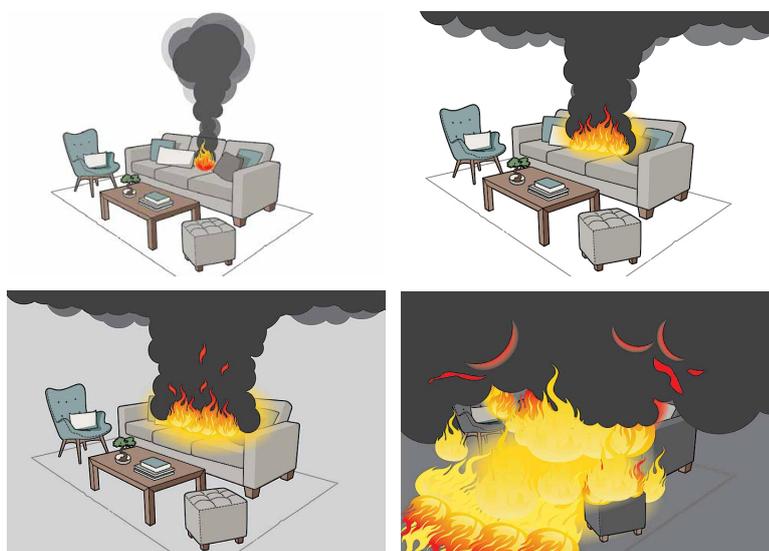
La geometría del recinto es uno de los factores que influyen en el tiempo que tarda en desarrollarse este periodo.

En la descripción que se ha hecho, se asume que al principio el incendio se encuentra controlado por el combustible, es decir, el recinto tiene una abertura. Cuando se produce el flashover el incendio pasa a estar controlado por la ventilación. Esto tiene su explicación en el hecho de que todos los productos de la pirólisis que se están generando en el recinto no pueden arder en el mismo lugar donde se producen debido a la carencia de oxígeno. Los gases no quemados se inflamarán en el exterior del recinto, lo que se hace evidente por la aparición de llamas.

### 2.1.3.2. CONDICIONES NECESARIAS PARA QUE SE PRODUZCA UN FLASHOVER

A través de numerosos ensayos a escala real llevados a cabo en Suecia y en otros países, se ha observado que para que se produzca un flashover el incendio necesita superar un cierto nivel crítico, el cual se establece en base al calor liberado (KW). Este nivel depende principalmente del tamaño del recinto, las propiedades térmicas de los cerramientos y de las superficies de ventilación. También es necesario que exista una cierta cantidad de combustible/superficie incendiada.

Hablando en términos generales, cuando la temperatura supera el valor de los 600°C en el cojín de los gases del incendio, la mayoría de la gente considera que el flashover ha ocurrido. De forma similar, la mayoría de la gente considera que un nivel de calor radiante por encima de los 20 KW/m<sup>2</sup> es suficiente para que se produzca un flashover en el interior de un recinto.



Evolución de un incendio hacia la situación de flashover.

### 2.1.3.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Es importante ser capaz de evaluar el nivel de riesgo en determinadas situaciones durante las operaciones de rescate. La seguridad de los bomberos, bajo ninguna circunstancia, debe quedar comprometida. Los buceadores de humo son particularmente vulnerables, ya que a menudo trabajan en entornos peligrosos y su trabajo consiste en la búsqueda de personas en áreas llenas de humo.

Las condiciones pueden cambiar de forma drástica, en tan sólo unos segundos. Por lo tanto, es de vital importancia que tanto los buceadores de humo como el resto de los miembros de la dotación que trabajan fuera del edificio estén muy familiarizados con las señales o signos que indiquen que se puede producir un flashover. En algunas ocasiones necesitamos estar preparados para actuar de inmediato.

El color de los gases del incendio se utiliza a menudo como uno de estos signos. Pero esto no es suficiente. Para tener una idea precisa de cuando un flashover es inminente, se debe ser capaz de sopesar una serie de diferentes indicadores.

#### *Color de los gases del incendio*

El color de los gases del incendio no ofrece la suficiente información acerca de la inminencia de un flashover. Esto se debe a que no existe una conexión real entre el color y lo peligrosa que pueda ser la situación.

En muchos casos, el color de los gases del incendio depende de que el incendio muestre llamas o esté latente. Algunos de los gases que a continuación se describen se consideran peligrosos según la literatura especializada consultada:

- **Humos densos, espesos de color negro:** a menudo se forman cuando se queman hidrocarburos y contienen hollín, el cual les confiere ese color típico. Cuanto peor ventilado esté el incendio, mayor cantidad de productos no quemados se producirán.
- **Cambios rápidos de color en el cojín de los gases** de incendio, de densos y negros a amarillos o amarillo grisáceos.
- **Humos de color amarillo,** debidos al contenido en nitrógeno y azufre de los polímeros (como el material de los neumáticos).
- Nubes espesas y ondulantes de humo amarillo.
- **Humo blanco y frío,** por ejemplo, como el de la combustión latente de la goma-espuma.

Estos son sólo algunos ejemplos de lo que el color de los gases de incendio aparentemente puede indicar. Dado que la densidad y el color de los gases de incendio también dependen del tipo de material que está ardiendo, necesitamos saber tanto el contenido de la habitación incendiada como su geometría. Como el examen de los gases de incendio algunas veces se tienen que hacer de noche en calles con diferente tipo de iluminación o utilizando otras fuentes de luz, esto hace que el problema se agrave cuando se trata de utilizar el color como elemento un identificador lo suficientemente aceptable de lo que está generando el incendio.

El riesgo de los incendios en los que se ven implicados plásticos, donde se generan gases de incendio explosivos, es mayor cuando se trata de goma-espuma. Las fuentes de ignición como cigarrillos, que no presentan llama, pueden dar lugar a incendios latentes, que emiten gases de incendio grises y fríos. Es muy fácil malinterpretar estos gases de incendio.



*Los gases de incendio blancos, definitivamente no son inofensivos. En este caso, el combustible es algún tipo de tablas de madera apiladas hasta el techo. El color de los gases del incendio depende en gran medida de si el incendio es latente o arde con llama.*

Normalmente, la cantidad de goma-espuma presente en las casas no es suficiente como para que se alcancen las concentraciones necesarias para que se genere una explosión.

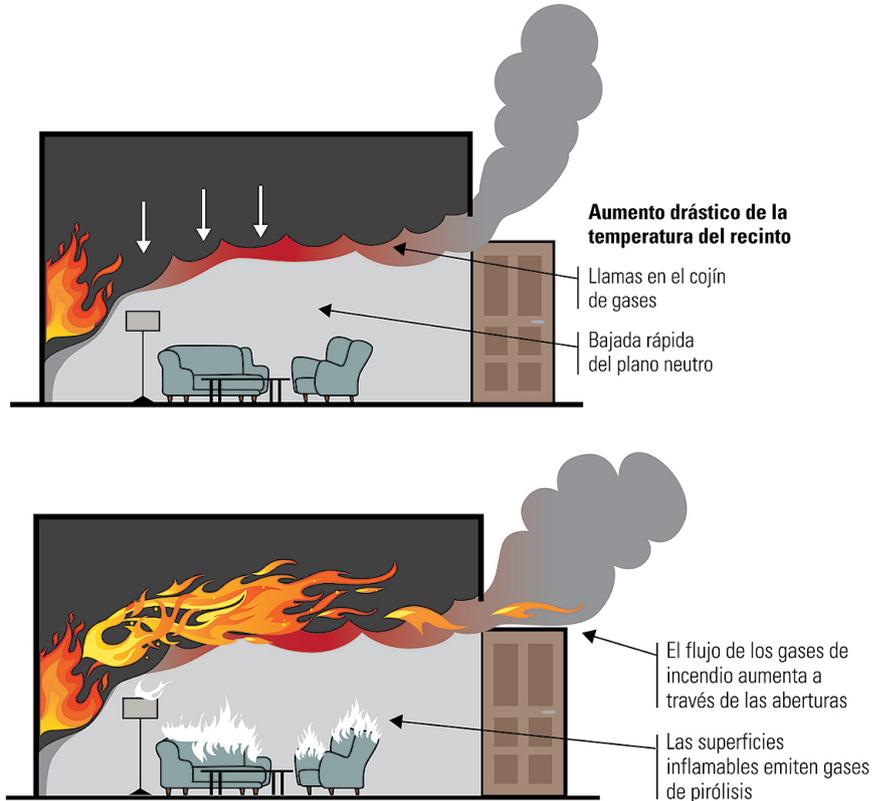
También existen otros materiales, los cuales, en ciertas condiciones de ventilación, pueden emitir gases de pirólisis de color gris-blanquecino (observar las figuras anteriores). **A menudo, el color viene determinado por la condición de que el incendio sea latente o se desarrolle con llama.**

#### 2.1.3.4 SIGNOS QUE INDICAN LA **INMINENCIA DE UN FLASHOVER**

La temperatura del recinto es un factor crucial en la progresión de un flashover. A continuación, se muestra un listado de algunos de los signos que pueden ayudar a predecir un flashover. En algunos casos se añade al listado el color de los gases de incendio o cualquier cambio en su color.

- **La temperatura en el recinto aumenta de forma drástica.** Parece como si el incendio se acelerase. Cuando la temperatura aumenta la diferencia de presión entre el recinto y su entorno también aumenta. La posición del **plano neutro** en la abertura, es decir, la posición donde la diferencia de presión es nula, **descenderá rápidamente.**
- Las llamas comenzarán a aparecer en la cara inferior del cojín de gases.
- Dado que la temperatura está aumentando, **el flujo de gases del incendio que sale a través de las aberturas también aumentará.** Este fenómeno se puede observar fácilmente por el personal de la dotación que se encuentra fuera del edificio.

- **Todas las superficies inflamables emiten gases de pirólisis**, como consecuencia del drástico incremento del nivel de radiación en el recinto. Los objetos del recinto están generando humo.
- **Las llamas comienzan a propagarse a lo largo del techo**. Existen dos causas posibles para que esto ocurra: el material del techo es inflamable, lo que hace que las llamas se propaguen a lo largo del techo o las llamas que provienen del foco del incendio son mayores que la altura del techo. En ambos casos con las llamas propagándose a lo largo del techo, se produce un nivel de radiación significativo que se radia en todas las direcciones del recinto, lo cual implica que puede pirolizar más combustible.



La transición entre un incendio localizado en un punto a un incendio que abarca el recinto completo ocurrirá muy rápidamente bajo determinadas condiciones. En los ensayos realizados a escala real (figuras siguientes), el periodo desde que la situación del incendio es de "calma" hasta que se produce el flashover puede ser muy **corto, alrededor de 20 segundos**.

### Desarrollo de la acción

Como puede suponerse el objetivo de la acción a desarrollar será el de **intentar apagar el incendio antes de que el flashover se produzca**, en cuyo caso las tareas dedicadas al salvamento de vidas, de la propiedad y del entorno serán mucho más sencillas. Evidentemente, los riesgos a asumir en la intervención deben evaluarse en relación a lo que se pretende lograr con la actuación.

Como ya se ha tratado anteriormente, el desarrollo de un incendio en algunas ocasiones se puede acelerar de una manera inesperada, lo cual puede traer problemas, especialmente cuando se trata de acceder mediante rutas de penetración largas. **Debe entenderse perfectamente que los signos o señales de alarma que se han descrito, sólo pueden avisar de la inminencia en la aparición de un flashover con pocos segundos**

de antelación, con lo que el tiempo de respuesta por parte de las dotaciones a reaccionar será muy corto o inexistente en algunos casos. En consecuencia, la comunicación entre el jefe de la unidad y su dotación es totalmente vital.

También es importante tener en cuenta que el uso de una lanza normal no es suficiente para incendios cuya tasa de calor liberado exceda de valores comprendidos entre los 15 a 20 MW. Estos valores son superiores a los que se desarrollan en el incendio de un apartamento normal, pero en incendios donde los cristales se han roto se pueden alcanzar valores próximos a estos niveles. Si se conoce el dato del tamaño de las aberturas, se puede calcular la tasa de calor liberado para incendios controlados por ventilación.

### 2.1.4. INCENDIO TOTALMENTE DESARROLLADO Y ETAPA DE DECAIMIENTO

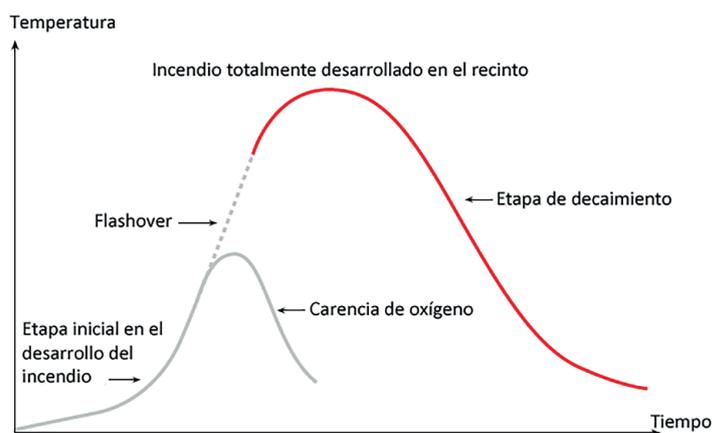
Como se ha explicado, tras la aparición de un flashover se entra en la etapa de incendio totalmente desarrollado en el recinto. Durante esta nueva etapa algunos de los procesos de combustión que tienen lugar lo hacen en el exterior del recinto. Esto se debe a que el incendio se encuentra controlado por ventilación, motivo por el cual se genera un exceso de gases combustibles. La consecuencia de esta situación, es que las llamas escapan al exterior del recinto a través de los huecos de ventilación.



Vista exterior característica de un incendio en su fase de totalmente desarrollado.

Un incendio totalmente desarrollado en un recinto puede prolongarse por mucho tiempo, en algunas ocasiones incluso varias horas, dependiendo de la cantidad de combustible que haya en el interior del recinto. El rango de temperaturas que habitualmente se alcanzan está comprendido entre los 800 a 900°C. En la medida en que quede combustible disponible en el recinto y se disponga del adecuado aporte de oxígeno para mantener el proceso de combustión, la temperatura se mantendrá en esos niveles.

Durante mucho tiempo, ha habido una gran exigencia en cuanto a los requisitos que deben cumplir los elementos estructurales de los edificios para que dispongan de una capacidad portante suficiente para resistir un incendio. De acuerdo con los datos estadísticos que se disponen, son raros los casos de seres humanos heridos o muertos en incendios debido al colapso de la estructura del edificio, salvo tal vez, el caso concreto de las torres gemelas en Nueva York. Existen razones de peso por las que imponer estas exigencias, especialmente en los casos de edificios



Temperatura de los gases de incendio durante las diferentes etapas del incendio.

que no pueden ser completamente evacuados durante el transcurso de un incendio. **Es importante para los servicios de extinción saber que pueden confiar en la capacidad portante de las estructuras.** La estructura portante varía en función del tipo de edificio. Resulta habitual clasificar los edificios en base a su capacidad de resistir el efecto de un incendio durante un periodo de varias horas.

Otros factores que influyen en un incendio totalmente desarrollado en un recinto son:

- La cantidad y el tipo de material combustible
- La intensidad, forma y disposición de estos materiales
- La cantidad de aire disponible
- El tamaño y la geometría del recinto
- Las propiedades de la estructura que delimita el recinto.

La etapa o periodo de decaimiento puede durar mucho tiempo y es muy común, en este caso, que el incendio vuelva a pasar a estar controlado por el combustible. Durante esta etapa, los incendios latentes son muy comunes.

Los materiales fabricados en **acero** son muy sensibles al calor y **pierden la mitad de su resistencia a la rotura a los 500°C.** El **hormigón** mantiene alrededor del **75% de su resistencia a 500°C.** El grosor de las estructuras de madera se reduce como resultado de la combustión generándose una capa de carbón. Las vigas de madera pierden espesor, lo que provoca su fragilidad. Contra menor sea su sección transversal menor resistencia tendrán.

### 3. DESARROLLO DE INCENDIOS EN RECINTOS CON VENTILACIÓN LIMITADA

Como puede deducirse de la lectura de los apartados anteriores, y a la vista de la curva típica del desarrollo del incendio en un recinto cerrado, las diferentes situaciones que se pueden dar en el incendio de un recinto pueden ser muy diversas, sobre todo una vez superada la etapa inicial del incendio. Resultaría imposible, a la vez que poco útil, intentar extenderse en toda la casuística que se puede presentar según los parámetros que controlan el desarrollo del incendio. Sin embargo, resulta imprescindible analizar cuáles son las características más comunes en el desarrollo de un incendio que transcurre con limitaciones en el aporte de aire. La



Curva del desarrollo del incendio cuando la cantidad de oxígeno condiciona la tasa de calor liberado.

primera conclusión importante es que, **en el caso de una ventilación deficiente**, es decir, con carencia de oxígeno, el incendio **no progresará hacia un flashover**, por el contrario, su intensidad disminuirá. La temperatura caerá en la medida en que el proceso de combustión decaiga. La superficie de los materiales combustibles se enfriará lentamente, aunque seguirán durante un periodo de tiempo desprendiendo gases, lo que hará que se acumulen grandes cantidades de gases procedentes de la pirólisis. El incendio no conseguirá ir más allá del Punto B mostrado en la siguiente figura, condición necesaria para que se pudiese producir un flashover.

Este sería el escenario común a los incendios en recintos cerrados, donde no existen aberturas creadas, por ejemplo, a través de una ventana rota. El desarrollo del incendio sigue la trayectoria de la línea de puntos mostrada en la figura.

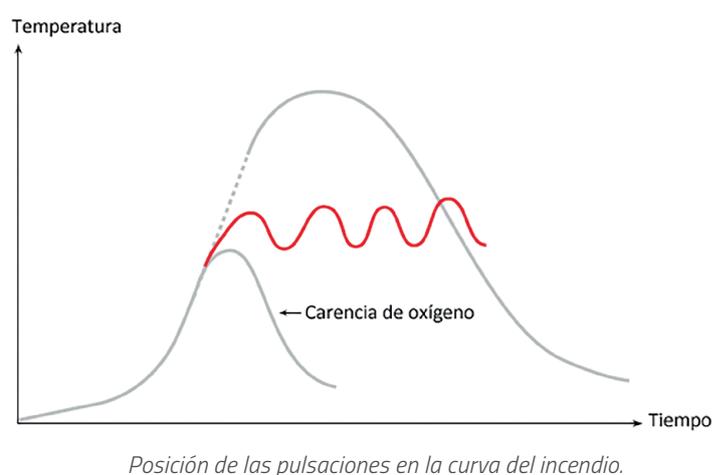
Nos encontramos ante una situación donde puede haber una gran cantidad de gases de incendio no quemados en el interior del recinto. Al mismo tiempo, **la concentración de oxígeno es baja**. Con las condiciones descritas para este caso, cuando los equipos de intervención llegan al lugar del incendio pueden tener lugar diferentes tipos de eventos. Vamos a plantear cuatro escenarios diferentes de evolución de incendios en estas condiciones, donde algunos de ellos son más comunes que otros. Estos cuatro escenarios son los siguientes:

- El incendio se auto-extingue
- El incendio reanuda su desarrollo
- Los gases del incendio se autoinflaman
- Se produce un Backdraught

Antes de que cualquiera de estos escenarios pueda tener lugar, pueden producirse pulsaciones durante el desarrollo del incendio. Por lo tanto, vamos a describir en primer lugar en qué consisten las pulsaciones y posteriormente abordaremos los cuatro escenarios posibles.

### 3.1. PULSACIONES

En un incendio controlado por ventilación **la tasa de calor liberado está limitada por la cantidad de oxígeno que fluye hacia el interior del recinto**. En ciertas ocasiones, esta condición puede hacer que en el incendio "respire". Las pulsaciones comienzan como consecuencia del descenso de la tasa de calor liberado debido a la limitación en la cantidad de oxígeno disponible. Cuando la temperatura desciende el volumen de los gases en el recinto también disminuirá (se contraen), de este modo se genera una cierta presión negativa. El aire puede entonces ser arrastrado al interior del recinto incendiado y cuando el oxígeno reacciona con los gases combustibles, se produce la combustión.



Cuando estos gases se inflaman su volumen aumenta (se expanden), lo cual genera una presión positiva. Como consecuencia, los gases del incendio se ven forzados a salir a través de las aberturas disponibles.

Así pues, de nuevo se vuelve a generar una falta de oxígeno, la cual limita la tasa de calor liberado y por lo tanto dando paso a la siguiente pulsación tal y como se muestra en la figura anterior.

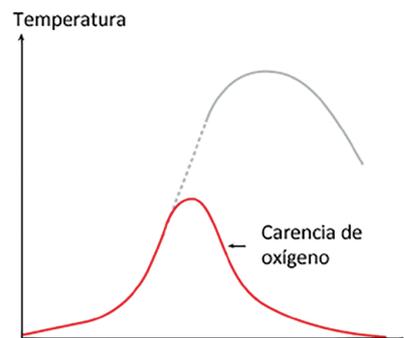
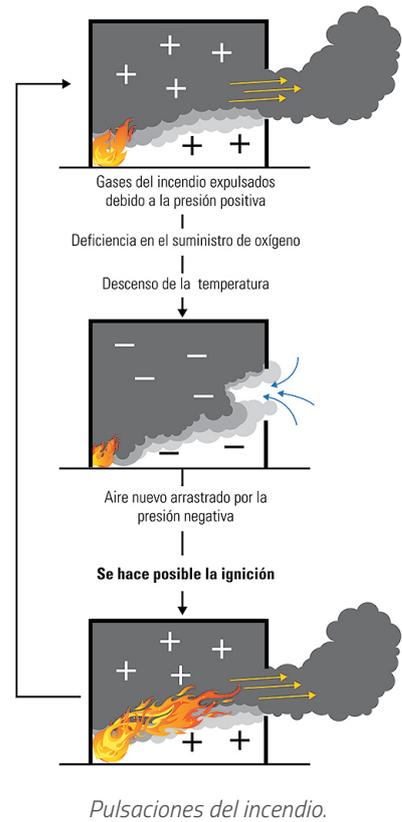
Es difícil determinar cuáles son las situaciones en las que un incendio puede empezar a pulsar. Uno de los factores que dan lugar a las pulsaciones es la relación entre el tamaño de la abertura y el calor liberado.

### 3.2. AUTOEXTINCIÓN DEL INCENDIO

Si el incendio continúa ardiendo en un ambiente con deficiencia de oxígeno es muy probable que gradualmente, se autoextinga o comience un estado de latencia. Esto probablemente ocurrirá antes de que la temperatura en el recinto incendiado haya aumentado lo necesario como para activar suficientemente la pirólisis en la superficie de los otros combustibles del recinto. Si la superficie del combustible original también está limitada, la posibilidad de que la masa gaseosa sea capaz de inflamarse disminuirá.

Cuando la temperatura desciende la presión en el recinto incendiado también lo hace, de manera que la cantidad de gases del incendio expulsados al exterior no será demasiado grande. En consecuencia, puede pasar mucho tiempo hasta que se detecte el incendio.

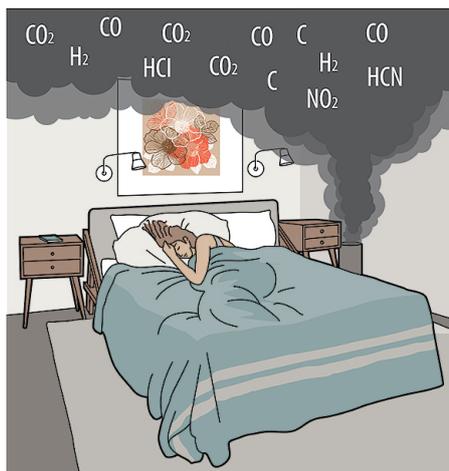
Esta es una situación muy común en incendios de vivienda. Con frecuencia los apartamentos sufren muchos daños como consecuencia del humo, pero por otra parte la extinción de estos incendios no son problemáticas.



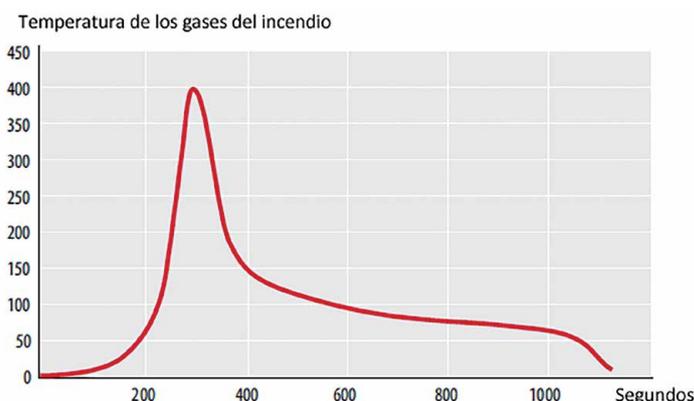
El incendio se auto-extingue por la carencia de oxígeno.



El incendio está evolucionando hacia su auto-extinción en un recinto cerrado. Los gases del incendio descienden sobre el foco del incendio. En el único sitio que hay visibilidad es a nivel del suelo.



Los gases del incendio contienen muchos productos.



Temperatura en un recinto cerrado.

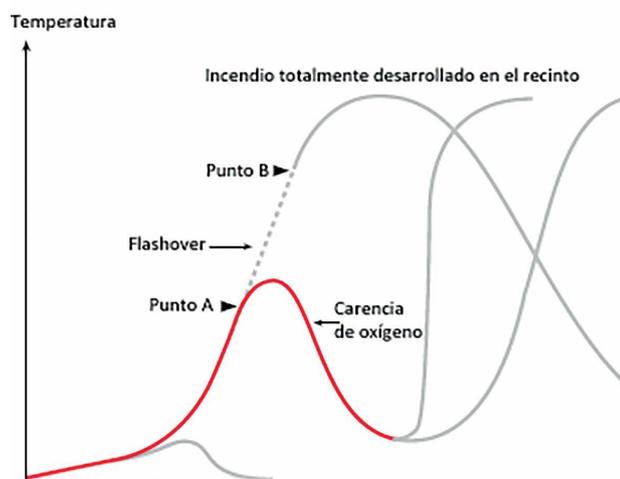
En los incendios de este tipo, las condiciones del apartamento incendiado son muy peligrosas para sus ocupantes. Como ya hemos visto, los gases del incendio contienen un gran número de sustancias peligrosas, tales como el monóxido de carbono o el ácido cianhídrico, lo que supone que cualquier persona que se encuentre dormida en el interior del apartamento no despertará cuando el incendio esté en marcha. Para estos casos los detectores de incendios son vitales. Realmente pueden salvar vidas.

La siguiente figura muestra los valores registrados en la temperatura del cojín de gases de incendio en un recinto incendiado. Una vez iniciado el incendio en el interior del recinto, este pasa a estar controlado por ventilación después de unos 300 segundos (unos 5 minutos), a partir de cuyo momento la temperatura y la tasa de calor liberado comienzan a descender.

La temperatura desciende rápidamente y la pirólisis del material se detiene con bastante rapidez. En el caso que estamos analizando, no hay suficientes gases combustibles disponibles para que los gases generados por el incendio sean capaces de inflamarse. Pero las personas que se encuentren en el recinto y no dispongan de un equipo de protección respiratoria, podrían morir debido a los gases tóxicos emanados. Cuando se abre la puerta de la habitación los gases del incendio pueden salir al exterior, pero están bastante fríos y no se inflaman, lo que hace que la extinción del incendio sea fácil.

### 3.3. INCENDIO QUE REINICIA SU DESARROLLO

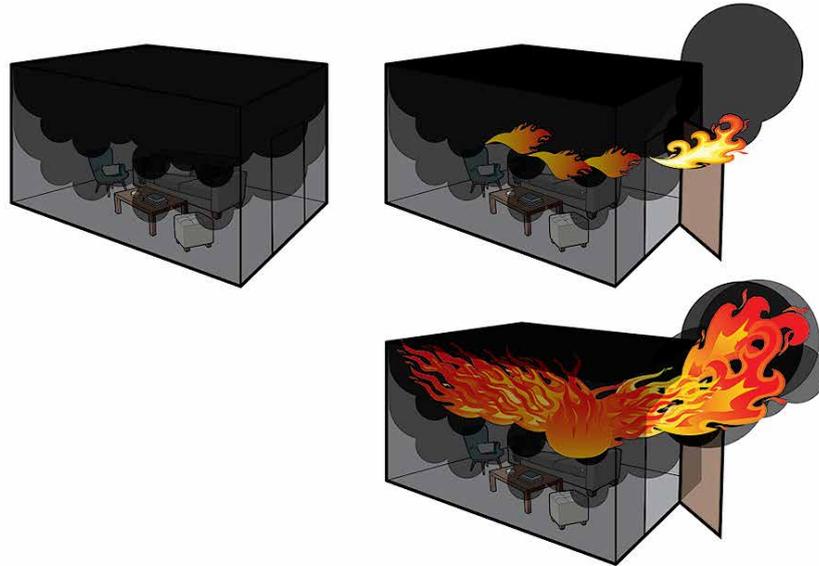
Ahora vamos a partir de una situación donde el incendio ha tenido tiempo de extenderse a otros objetos antes de que se produzca la carencia de oxígeno. El impacto del calor en el recinto ha sido considerable. Los gases del incendio han llenado el recinto y contienen una gran cantidad de gases no quemados. En esta situación, el incendio tiene la posibilidad de crecer hacia un estado de totalmente desarrollado si se le vuelve a suministrar oxígeno otra vez.



El incendio reanuda su desarrollo y pasa a la situación de incendio totalmente desarrollado.

Ahora, supongamos que el equipo de buceadores de humo abre la puerta de la casa o se rompe una ventana por efecto del calor. Como resultado de estas acciones, los gases del incendio saldrán al exterior por la parte superior de la abertura, mientras que el aire fluirá hacia el interior a través de la parte inferior, provocándose una elevación del plano neutro. La corriente de aire alimentará las llamas cuando alcance el foco inicial del incendio y este crecerá. Las llamas alcanzarán el cojín de gases del incendio y el frente de llama se propagará a través de la habitación.

Este escenario es una continuación del desarrollo interrumpido del incendio. Su evolución es muy similar a cuando el incendio se desarrolla y progresa a la situación de flashover en un recinto que ya disponía de una abertura desde el inicio del incendio. La siguiente figura muestra el proceso descrito.



*El incendio reanuda su desarrollo. Se abre la puerta y los gases del incendio salen. Al cabo de un tiempo se pueden ver las llamas bajo el techo y pronto se pueden ver a lo largo de toda la habitación*

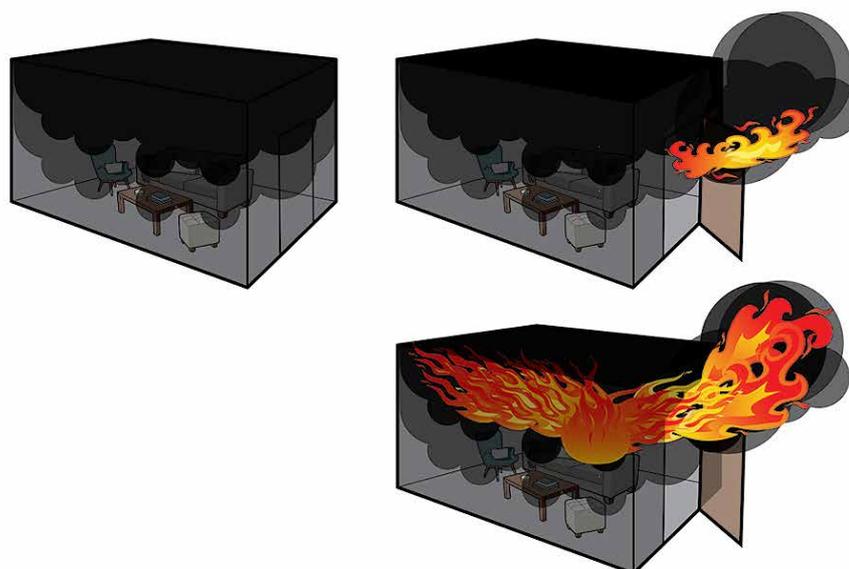
El incendio a menudo se desarrolla tranquilamente y las llamas que se producen son llamas de difusión. El fuego reanuda su desarrollo interrumpido y evoluciona hacia un flashover si dispone del suficiente oxígeno y de combustible.

### 3.4. AUTO-IGNICIÓN DE LOS GASES DEL INCENDIO

En raras ocasiones, los gases del incendio pueden auto-inflamarse, por ejemplo, si se abre una puerta. Los gases del incendio necesitan tener una temperatura alta para que esto ocurra. El rango de temperaturas necesario suele estar entre los 500 a 600°C.

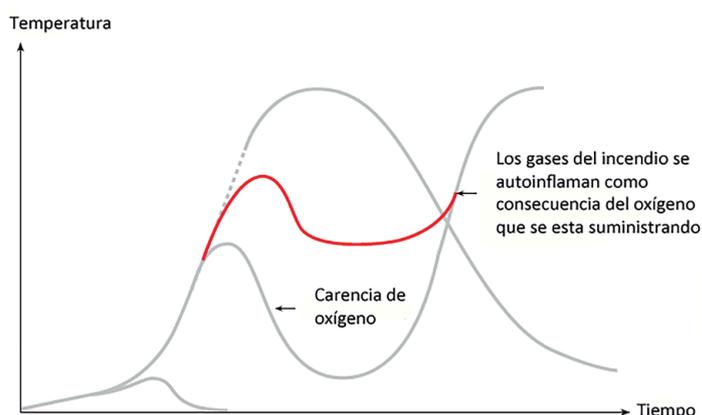
Un recinto incendiado con deficiencia de oxígeno contiene gases del incendio a temperaturas que superan a la de ignición térmica, habitualmente entre 500 a 600°C.

Cuando se practica una abertura, se permite que los gases del incendio salgan al exterior a través de la misma. Ésta, esta situación podría darse cuando el equipo de buceadores de humo entra en el recinto, y los gases del incendio se mezclarían con el aire (oxígeno). Como la temperatura de los gases se encuentra por encima de la temperatura de inflamación, la mezcla aire-combustible se autoinflamará y arderá fuera de la habitación siempre que la temperatura sea la adecuada.



Los gases del incendio se auto-inflan cuando entran en contacto con el aire.

En la medida en que el aire fluye al interior del recinto y se mezcla con los gases que están saliendo, nos permitirá ver como el incendio crece gradualmente en el recinto. En este caso, las llamas que se generan son llamas de difusión. En este momento el escenario estaría justo en el punto donde continúa la etapa inicial en el desarrollo del incendio. El incendio puede ahora evolucionar hacia un incendio totalmente desarrollado en el recinto, en el supuesto de que la abertura sea lo suficientemente grande. La evolución del incendio se puede acelerar hacia la etapa de incendio totalmente desarrollado en el recinto, tal como se muestra en la siguiente figura.



La temperatura de los gases del incendio en este caso es superior a la normal.

La situación más posible que puede dar lugar a un episodio de este estilo se puede dar cuando existe una abertura pequeña en el recinto. El incendio obtiene el oxígeno a través de la abertura, la cual se encuentra en una ubicación tal que la salida de los gases del incendio se vea limitada. Un ejemplo de lo que estamos tratando de reproducir, sería el de un apartamento incendiado donde los gases del incendio salen a través de un cristal que se ha roto en la parte de atrás del edificio. Entonces, cuando la puerta de la escalera se abre los gases pueden estar calientes y autoinflamarse.

Si en el momento que vemos que los gases del incendio se autoinflamarse en el exterior, cerramos la puerta de la habitación, las llamas desaparecerán ya que el oxígeno se habrá consumido.

En algunas ocasiones se puede ver a los gases del incendio auto-inflamarse cuando se trata de ventilar un ático incendiado. En este caso los gases del incendio se auto-inflan inmediatamente cuando entran en contacto con el aire. Esta situación se produce, evidentemente, cuando el incendio se encuentra controlado por ventilación.

Puede resultar difícil evaluar si los gases del incendio se auto-inflamarán cuando se practica la abertura o si las llamas se generan en el interior del recinto.

### 3.5. BACKDRAUGHT/BACKDRAFT

En este apartado vamos a definir lo que es un backdraught. También se va a describir el escenario típico que tiene lugar cuando el aire fluye al interior del recinto a través de la abertura practicada. Así mismo, hablaremos sobre las condiciones que dan origen al Backdraught y los síntomas o señales que indican la inminencia de que un backdraught se produzca.

En algunos casos, los gases del incendio se pueden inflamar muy rápidamente. Esto es lo que habitualmente se conoce como un backdraught. El proceso de ignición puede ser tan potente que materialmente no se tiene tiempo de reaccionar. Un backdraught es un fenómeno altamente peligroso, que puede coger a los bomberos desprevenidos. Por ello es muy importante ser capaz de identificar las situaciones que pueden desembocar en un backdraught.

Un backdraught se puede producir en las circunstancias que a continuación se describen.

El escenario comienza con un incendio que haya estado controlado por ventilación. Como consecuencia de ello se han acumulado una gran cantidad de gases no quemados en el interior del recinto. Al abrir la puerta del recinto se produce un flujo de aire hacia el interior. La corriente de aire que se crea, genera gases premezclados (crea una zona de pre-mezcla). En este momento, la ubicación donde se encuentre la fuente de ignición juega un papel crucial en los acontecimientos. Esta ubicación es la que determinará la cantidad de gases que se pre-mezclarán antes de que se produzca la ignición.

Se producirán llamas de difusión y premezcladas. Las llamas premezcladas, tendrán lugar en la zona de premezcla, la cual se genera entre la capa de gases del incendio ricos en combustible (cara inferior del cojín de gases del incendio) y el aire que entra. Aquí una llama premezclada se puede propagar con mucha rapidez. Tras producirse la llama, los productos calientes de la pirólisis se ven sometidos a una presión (debido a la expansión) que los empuja hacia abajo y se mezclan con la capa rica en aire. Esto genera llamas de difusión. Como puede deducirse, la combustión y la expansión se producen rápidamente en el recinto, lo que significa que los gases calientes que no se inflaman en el interior de la habitación salen proyectados hacia afuera y se inflaman en el exterior, donde disponen de todo el aire necesario para hacerlo. Dado que un backdraught implica una expansión rápida y potente de los gases del incendio, el resultado es una bola de fuego fuera de la abertura. Tras haberse producido un backdraught, el escenario que queda puede ser el de un incendio totalmente desarrollado en el recinto incendiado, pero algunas veces, lo que ocurre es que el recinto se queda vacío de gases de incendio, por lo que tan sólo quedan pequeños focos de incendio o incendios latentes.



Fuente. Video divulgativo NFPA. Los bomberos rompen deliberadamente el cristal de la ventana para ventilar los gases del incendio. Cuando el aire fluye al interior los gases del incendio se inflaman y una bola de fuego se proyecta al exterior de la abertura.

### 3.5.1 DEFINICIÓN DE BACKDRAUGHT

El fenómeno de backdraught, quedó definido por la International Standard Organization (ISO) en su norma 13943 de Julio de 2012 donde define el fenómeno como "combustión con llama rápida causada por la introducción repentina de aire en un espacio confinado deficiente en oxígeno que contiene productos calientes de la combustión incompleta".

NOTA En algunos casos, estas condiciones pueden resultar en una explosión.

Sin embargo, existían otras definiciones anteriores sobre este fenómeno que se han utilizado a nivel internacional (por la NFPA, el FRS y el IFE) y que son similares entre ellas. El término "backdraught" se utiliza en muchos países, al igual que el de flashover en Estados Unidos, en el Reino Unido, en Japón en Nueva Zelanda, en Suecia, en España,....

En 1994, un grupo de trabajo del FRS bajo la dirección de Richard Chity lanzó una publicación denominada "a survey of Backdraft", donde se recogían las diferentes definiciones establecidas para este fenómeno y que a continuación se refieren.

La Estación de Investigación de Incendios (FRS) del Reino Unido sugirió la siguiente definición:

*La ventilación limitada puede hacer que un incendio de un compartimento genere gases de incendio que contengan cantidades importantes de gases no quemados. Si estos se acumulan, la entrada de aire provocada cuando se practica una abertura en el compartimento puede dar lugar a una deflagración súbita, que se traslada a través del apartamento y sale por la abertura practicada. Esta deflagración se conoce como "backdraught".*

También la National Fire Protection Association (NFPA) se ha pronunciado al respecto con la siguiente definición:

*El Backdraft es la combustión de los productos gaseosos calientes de la combustión cuando se introduce oxígeno en un ambiente que tiene una carencia de oxígeno como consecuencia de un incendio. Esta combustión a menudo tiene lugar con fuerza explosiva.*

El Institute of Fire Engineers (IFE) propone por su parte la siguiente:

*Una explosión de mayor o menor grado, causada por la irrupción de aire fresco desde cualquier fuente o causa, en un edificio en llamas, en el que la combustión ha tenido lugar con escasez de aire.*

Las definiciones son similares y en realidad no tiene mucha importancia cuál de ellas se utilice. En algunas de las definiciones se utiliza la palabra "explosivo", lo que nos indica que tiene lugar una explosión. Pero éste no tiene por qué ser el caso, un backdraught a menudo se produce de una manera bastante tranquila.

En Suecia y consecuentemente en España donde en general se sigue esta escuela como referencia en el estudio del desarrollo de incendios, se hace una definición basada en las anteriores. Esta definición es:

*Un backdraught es la combustión de los gases de incendio no quemados, la cual puede tener lugar cuando se introduce aire en una habitación donde el contenido de oxígeno ha disminuido de manera importante como consecuencia del incendio. Entonces la combustión puede ocurrir con mayor o menor velocidad.*

Un backdraught presupone que una determinada cantidad del contenido gaseoso se pre-mezcla, de lo contrario el incidente no se clasifica como un backdraught.

Como puede observarse a través de las definiciones hechas, los términos "backdraught" y "Backdraft" se utilizan de forma indistinta. En realidad, ambos términos significan lo mismo, el primero de ellos es de

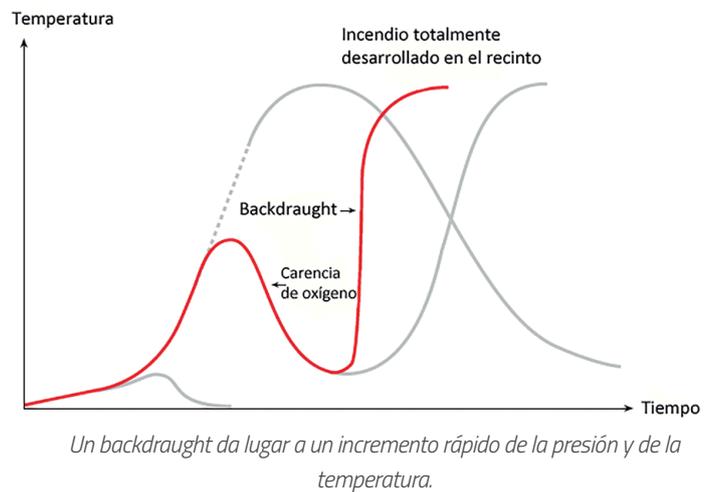
origen totalmente Sajón y por tanto utilizado en el Reino Unido, mientras que el segundo es utilizado en el inglés que se habla en los Estados Unidos de América.

Un backdraught incluye las siguientes características:

- Acumulación de gases no quemados
- Una corriente rica en aire
- La existencia de una zona de gases no quemados y de aire bien mezclada
- Una fuente de ignición que inflame los gases en la zona donde los éstos se encuentran bien mezclados
- Se produce una deflagración turbulenta en el recinto
- Una bola de fuego es proyectada al exterior del recinto.

Un backdraught puede tener lugar cuando el incendio se encuentra controlado por ventilación en una etapa muy temprana, por ejemplo, si el recinto se encuentra cerrado desde el principio o si sólo hay aberturas limitadas, tal como se muestra en la siguiente figura.

Cuando el nivel de oxígeno disminuye en el recinto también lo hace la temperatura. Si la puerta del recinto se abre los gases del incendio pueden inflamarse y provocar un backdraught (ver figura anterior). Cuando se ha producido un backdraught el recinto entero puede verse envuelto por las llamas y por consiguiente acabar en un incendio totalmente desarrollado en el recinto. Un backdraught puede llegar a causar daños importantes en el área exterior al incendio, ya que se pueden llegar a generar presiones muy altas.



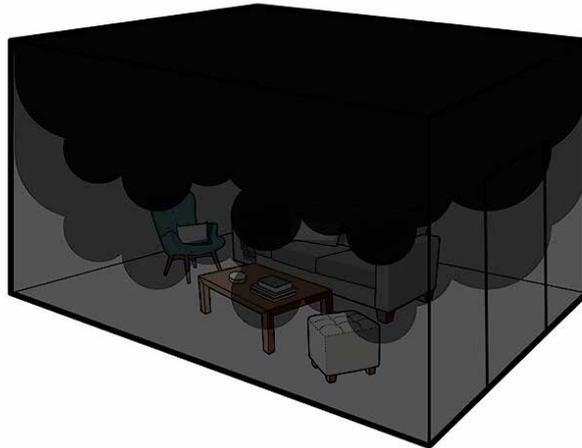
### 3.5.2. ESCENARIO TÍPICO DE UN BACKDRAUGHT

Se inicia un incendio en una habitación. La combustión puede desarrollarse con llama o sin llama. La habitación dispone de un hueco de ventilación limitado, es decir, a través de las vías normales de fuga (rendijas de puertas, ventanas, etc.) El incendio crece hasta que el nivel de oxígeno en la habitación queda restringido. Mientras esto ocurre, se formará una capa de gases del incendio calientes (cojín) debajo del techo y su espesor aumenta. En la medida en que el cojín aumenta, el aire, el cual está siendo arrastrado a la parte alta del cojín de gases, contendrá cantidades cada vez mayores de gases no quemados y consecuentemente una proporción cada vez menor de oxígeno.

Este proceso dará lugar a una combustión incompleta. En la medida en que la tasa de calor liberado desciende debido a la carencia de oxígeno, los gases no quemados se acumulan en la capa de gases

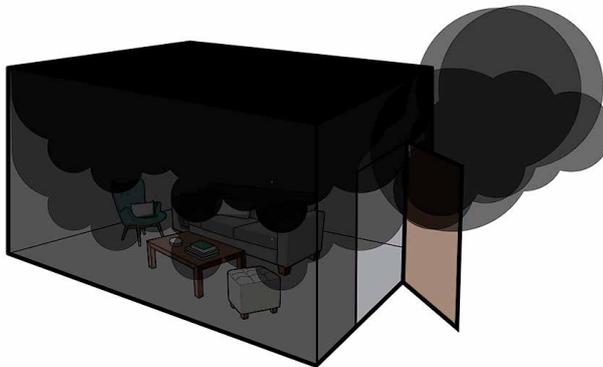
calientes. En esta situación, el incendio puede optar por convertirse en un incendio latente o reanudarse de manera espontánea, dependiendo de la cantidad de combustible disponible y del tamaño de la abertura de ventilación.

Conforme pasa el tiempo, la concentración de gases no quemados aumentará. Esto produce una atmósfera rica en combustible en la habitación. El tipo de combustible juega un papel crucial a la hora de determinar la cantidad de gases que se habrá acumulado. Algunos materiales emiten productos de pirólisis con mayor facilidad que otros.



*La figura muestra un incendio controlado por ventilación, el cual ha vuelto a ser un incendio latente. Acumulación de gases de incendio no quemados.*

En este estado de las cosas, se abre una puerta en la habitación. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando los bomberos entran en el apartamento o cuando se rompe una ventana. Los gases del incendio calientes salen a través de la abertura y el aire será succionado al interior a través de la parte inferior de la abertura (ver la figura siguiente).



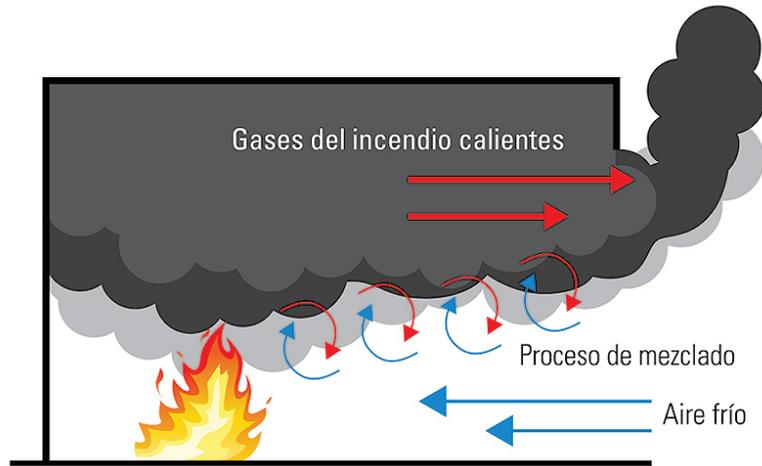
*LEl aire fluye al interior y los gases del incendio salen.*

A este flujo de aire que penetra en el interior del recinto se le conoce con la expresión inglesa "gravity current". En dinámica de fluidos, la expresión "gravity current" hace referencia principalmente a un flujo horizontal en un campo gravitatorio que se mueve por la diferencia de densidades, por lo que las "gravity current" a veces también reciben el nombre de "density currents". Por lo general, la diferencia de densidad es lo suficientemente pequeña como para que se pueda aplicar la aproximación de Boussinesq.

En otras palabras, podemos utilizar la expresión en castellano de "corrientes de gravedad" o "corrientes de densidad", con ello estamos haciendo referencia a la propagación de un fluido inmerso en otro de diferente densidad. Existen numerosos ejemplos: brisas marinas, nubes de lluvia, avalanchas de nieve o barro en el fondo marino. Pero en nuestro caso se aplican a la propagación de los flujos de aire y de gases del incendio. Dado que las diferencias de densidad entre los gases del incendio y los del aire son similares a las del agua salada y el agua dulce, se utilizan estas últimas para establecer los ensayos empíricos que dan lugar a los algoritmos matemáticos que sirven para modelar (predecir) el movimiento de los gases de incendio en un incendio.

Cuando el aire penetra en la habitación, se mezcla con los gases ricos en combustible y se acumula una masa gaseosa pre-mezclada en una determinada zona, normalmente en la inter-fase entre el cojín de gases del incendio y el aire que entra en el recinto. En la zona de la cara superior de la corriente de aire que entra se genera un movimiento turbulento, esta turbulencia también puede tener lugar cuando la corriente de aire se encuentra en su camino con un objeto, como puede ser un mueble.

La figura siguiente muestra el proceso turbulento que da lugar a la mezcla a lo largo de la corriente de aire. Este proceso genera una mezcla que puede entrar dentro del rango de inflamabilidad cuando los productos de la pirólisis se diluyen.



Representación idealizada de la "corriente de gravedad" en la habitación.

La siguiente figura muestra cómo se propagan las llamas a lo largo del área donde se produce la mezcla.



El área pre-mezclada se inflama. Lo cual ocurre en la zona oscura del interior.

Estas llamas son las que hacen que los gases del incendio se expandan rápidamente, empujando al resto del combustible, a una velocidad muy alta, hacia el exterior a través de la abertura, donde los gases no quemados se mezclan con aire fresco. Cuando las llamas se propagan en la capa pre-mezclada esto se traduce en una ignición y un inmediato aumento de la presión. Se origina una bola de fuego, la cual es muy característica, muy típica de un escenario de backdraught. **Cuanto mayor sea la cantidad de gases no quemados, mayor será la bola de fuego que se forme.**

La concentración de sustancias combustibles debe ser alta para que la mezcla entre en su rango de inflamabilidad, cuando los gases ricos en combustible se diluyen en el aire.

En un backdraught algunas de las llamas que se producen son llamas premezcladas, lo cual quiere decir que el desarrollo de los acontecimientos será rápido.

La corriente que se genera en la mezcla de los gases del incendio con el aire, es completamente crucial en el curso de los acontecimientos. Por ello, vamos a analizar qué es lo que controla la corriente de aire en el recinto.

### 3.5.3. CONDICIONES NECESARIAS PARA QUE SE PRODUZCA UN BACKDRAUGHT

Resulta difícil concretar con exactitud las condiciones que pueden dar lugar a un backdraught. Se puede, sin embargo, indicar algunos factores que son requisitos previos para que se produzca un backdraught.

El hecho de que los backdraught no se produzcan con demasiada frecuencia se debe a nuestra habilidad de enfriar los gases del incendio con agua y por lo tanto es raro que se den al mismo tiempo la coexistencia de una acumulación de gases combustibles suficiente y la existencia de una fuente de ignición. En general, es difícil alcanzar las grandes cantidades de combustible requeridas para esto.

Los siguientes factores influyen en que un episodio de backdraught llegue a producirse:

- **Presencia de una fuente de ignición.** Es necesario que exista una fuente de ignición en la zona del combustible. Por lo general, la zona más combustible es la zona de la inter-fase entre el cojín gases del incendio y el aire entrante. En muchos casos las fuentes de ignición pueden encontrarse muy bajas en el recinto. Quizás sea por esta razón que los episodios de backdraught no son muy comunes.
- **Distribución del combustible (y tipo de combustible).** Cuanto más alto se encuentre el combustible en el recinto, mayor será la cantidad de productos combustibles de la pirólisis que se acumulen. Por supuesto, resulta evidente que los requisitos son que haya suficiente combustible en el recinto de manera que se pueda alcanzar la concentración de gases necesaria para que se pueda producir un backdraught.
- **Ubicación/tamaño de las aberturas (aberturas originales).** Cuanto más bajas estén las aberturas, menor será la cantidad de productos de pirólisis que desaparezcan a través de ella. Si las aberturas son demasiado pequeñas es probable que el incendio se apague espontáneamente. Por el contrario, si son muy grandes el incendio evolucionará hacia un episodio de flashover. La abertura necesita ser lo suficientemente grande. Debe tenerse en cuenta que estos conceptos se aplican a las aberturas del recinto presentes en el momento del inicio del incendio, no a las que se efectúan durante la entrada para una operación de rescate, por ejemplo.
- **Aislamiento térmico del recinto.** Cuanto mejor sea el aislamiento térmico del recinto, mayor será la temperatura que se alcance en su interior. Así mismo, esta temperatura también se mantendrá por más tiempo, incluso si el incendio casi se auto-extingue. Se acumularán una gran cantidad de productos no quemados, especialmente si el combustible está ubicado en la parte superior del recinto (techos de madera, por ejemplo). Cuanto menor sea la temperatura a la que tiene lugar la pirólisis del combustible, más fácil será alcanzar la concentración requerida para que se pueda producir un backdraught. La concentración de combustible debe ser muy alta.

### 3.5.4. EVALUACIÓN DEL RIESGO

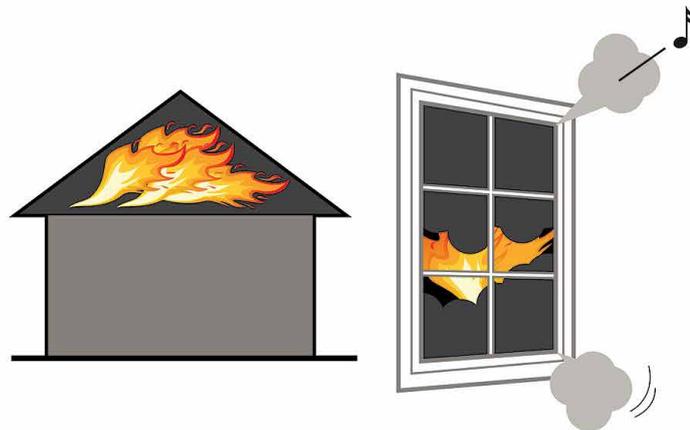
Se da por supuesto, que existen riesgos cuando hablamos de incendios controlados por ventilación, de hecho, **es cuando mayores niveles de riesgo se asumen**. Estas situaciones pueden ser muy peligrosas y desafortunadamente, no siempre resulta fácil detectar los signos o señales de peligro. Es difícil saber qué ocurrirá antes de que entremos en el recinto. Pero cuantas más señales haya que indican la posibilidad de un backdraught, es más probable que este se produzca. Si las señales no son muy claras, podrá tener lugar cualquier otro de los escenarios.

En el caso del backdraught, debemos incidir en lo explicado con detalle en el capítulo dedicado al flashover en lo referente al color de los gases del incendio. **El color de los gases del incendio se puede utilizar en algunas ocasiones como un indicador de que la aparición de un backdraught es inminente**. Pero al igual que el caso del flashover, el color no puede ser utilizado como único indicador. Si este indicador se combina con otros, podemos obtener una idea clara acerca de si existe algún peligro de que se produzca un backdraught. **El factor crucial para que un backdraught se produzca es el aire**.

A continuación, se describen los signos que indican la inminencia de que se produzca un backdraught.

### 3.5.5. SEÑALES DE PELIGRO

Es importante llevar a cabo evaluaciones de riesgo a fondo, tanto antes como durante el transcurso de una operación. Los siguientes indicadores, en su conjunto, deben considerarse como señales de advertencia de un backdraught inminente.



*Incendios en espacios confinados con mínima ventilación.  
Depósitos de aceite en los cristales de las ventanas.  
Puertas y ventanas calientes.  
Gases del incendio pulsando por pequeñas aberturas.*

Debemos insistir en que no es suficiente en absoluto el considerar el color de los gases del incendio como única señal de advertencia. **Antes de que un bombero abra la puerta del recinto incendiado, deben tener en cuenta los siguientes factores:**

- Incendios en espacios confinados con una ventilación mínima, por ejemplo, habitaciones cerradas o espacios cerrados entre el techo y el falso techo.
- Depósitos de aceite sobre los cristales de las ventanas, lo que indica que los productos de la pirólisis se han condensado sobre las superficies frías. Esta es una señal de un incendio poco ventilado.
- Puertas y ventanas calientes, indicando que el incendio ha estado activo durante un tiempo, quizá con la ventilación limitada.
- Gases del incendio pulsando por pequeñas aberturas de la habitación, lo cual indica que el oxígeno se agota en la medida en que la temperatura aumenta. Entonces la temperatura comienza a descender lentamente y cuando la presión disminuye ligeramente el aire puede ser succionado al interior del recinto.
- Un sonido silbante en las aberturas, lo cual puede indicar que el incendio está pulsando.

En aquellos casos en que se adopte la decisión de entrar, el bombero debe intentar identificar los signos que a continuación se describen, en particular en el momento en que ha abierto la puerta del recinto incendiado y mira lo que ocurre en su interior. Estas señales, junto con las ya descritas, pueden proporcionar las señales de advertencia de que un backdraught es inminente.

- Un resplandor naranja o un fuego no visible puede indicar que el incendio ha estado ardiendo desde hace mucho tiempo con carencia de oxígeno.
- ✗ Gases del incendio "succionados" a través de la abertura, lo que indica que ha entrado una corriente de aire en la habitación. Los gases del incendio calientes saldrán de la habitación, quizás a través de otra abertura y aire nuevo será succionado al interior a través de esta. Puede dar la sensación de que los gases del incendio están siendo arrastrados ("succionados") por el incendio.
- El plano neutro se encuentra cerca del suelo.
- ✗ Se puede producir un sonido silbante debido al aire que está siendo "succionado" al interior del recinto a través de las rendijas a alta velocidad. Desafortunadamente, el backdraught puede haberse producido y las personas que estaban en la trayectoria de la abertura pueden haber resultado heridas de gravedad, incluso fatalmente.

### 3.5.6. DESARROLLO DE LA ACCIÓN

Es muy importante evaluar los riesgos a fondo. Cada una de las personas implicadas en la intervención es responsable de su propia seguridad y debe pensar cuidadosamente acerca de algunas de las siguientes cuestiones:

1. ¿Cómo es de hermética la estructura? ¿Hay fugas a nivel del suelo? ¿La habitación está bien aislada térmicamente?
2. ¿En qué etapa se encuentra el incendio? ¿El incendio está controlado por el combustible o por ventilación? ¿Cuánto tiempo lleva en marcha el incendio?
3. ¿Dónde se está produciendo la mayor carga de fuego? ¿Dónde puede haber fuentes de ignición? ¿Cuándo se debe ventilar?

4. ¿Qué magnitud tiene la carga de fuego? La cantidad de material combustible disponible, así como su disposición puede ayudar a determinar la cantidad de gases combustibles. ¿Con qué tipo de material nos enfrentamos?
5. ¿De dónde procede la entrada de aire durante las operaciones de intervención? ¿Se han generado muchas turbulencias? La turbulencia puede afectar el desarrollo del incendio.



*Corriente de gases del incendio saliendo del incendio de un ático.*

Evidentemente es importante hacer un balance de los riesgos asociados al enfoque que se elija. Un ejemplo claro de lo que se intenta transmitir, queda reflejado en la normativa Sueca (Swedish Working Environment Authority's regulations) donde ya en 1995 establecía lo siguiente: *El oficial de incendios al mando debe asegurarse de que los riesgos a los que se expongan los bomberos sean razonables, teniendo en cuenta la operación que se va a llevar a cabo.*

Si se considera que los riesgos son demasiado grandes en relación con el objetivo de la operación, nos veremos obligados a adoptar tácticas defensivas.

Si existe el riesgo de que se produzca un backdraught lo mejor será ventilar, si esto es posible, el recinto directamente hacía la calle.

El hueco de ventilación debe practicarse en la parte más alta posible del recinto para forzar la salida de los gases no quemados del incendio. Como en la parte superior existe una acumulación de presión positiva, es importante que exista una "vía clara" de evacuación de los gases, para cualquier situación de backdraught que se pueda producir. De no hacerlo así, se puede generar un incremento de la presión muy grande. Un backdraught es un evento muy corto. Esto significa que, si los bomberos están utilizando la ropa de protección adecuada, pueden hacerle frente, incluso en el caso de ser sorprendidos por una ignición.

En ocasiones, es necesario llevar a cabo una operación rápida en el interior del recinto, por ejemplo, en una

situación de salvamento. En consecuencia, en algunas ocasiones será necesario abrir el recinto. En estos casos existen dos posibles actuaciones:

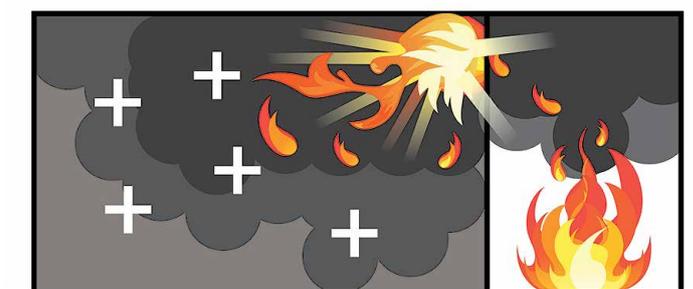
1. **Abrir la puerta rápidamente. Enfriar. Cerrar rápidamente.** Repetir este procedimiento hasta que la temperatura y la presión en el recinto disminuyan. Recordar que abrir una puerta durante un par de segundos es suficiente para que la cantidad de aire que entre sea grande, por lo que se puede producir un backdraught.
2. **Los buceadores de humo gatean hacia el interior y cierran la puerta tras ellos** tan rápido como les sea posible y comienzan a enfriar los gases del incendio. **Este método puede suponer mayor riesgo** para los bomberos. Es importante no quedarse en la trayectoria de la puerta abierta. Aparte de que el riesgo es mayor, también ayuda a que se genere más turbulencia.

En determinados casos, se pueden utilizar ventiladores de presión positiva en incendios controlados por ventilación.

Los ventiladores deben utilizarse con precaución en situaciones donde se pueda producir un backdraught. La temperatura de los gases del incendio debe permanecer baja para evitar episodios de backdraught. **Mediante los ventiladores se puede hacer que los gases del incendio salgan fuera del recinto rápidamente.** Antes de aplicar los ventiladores, debe evaluarse el efecto que causaran en el desarrollo general del incendio, por ejemplo, podemos lanzar los gases del incendio calientes a otras áreas del edificio afectado y propagar involuntariamente el incendio, o en el peor de los casos, aunque no se tiene conocimiento de que haya ocurrido alguna vez, provocar la aparición de un backdraught al favorecer la mezcla de los gases del incendio con el aire que se está introduciendo. En cualquier caso, trataremos este asunto en el capítulo dedicado a los métodos de extinción.

## 4. EXPLOSIÓN DE GASES DE INCENDIO

Hasta aquí, hemos centrado nuestro análisis en los posibles escenarios que se pueden presentar en el desarrollo de un incendio en un recinto cerrado. Sin embargo, esta hipótesis de partida, sólo nos muestra que es lo que ocurre en el recinto incendiado desde el punto de vista del propio recinto, pero no nos ofrece una perspectiva de las condiciones en los compartimentos contiguos. **Las explosiones de gases de incendio se producen comúnmente en los recintos contiguos al incendiado.** A



*Los gases del incendio se han introducido en el recinto contiguo y se han incendiado por una llama.*

continuación, vamos a analizar las situaciones que pueden llevar a este tipo de episodios y también de qué manera podemos definirlos, así como la magnitud de las presiones que pueden generar.

**Un backdraught puede generar un incremento importante** de la presión si las aberturas del recinto son pequeñas. Por otra parte, **un flashover, no genera ningún incremento** significativo de la presión. El requisito previo para que se produzca un backdraught es que las condiciones de ventilación cambien durante el curso del desarrollo del incendio. Cuanto mayor sea la proporción de la masa gaseosa que se pre-mezcle antes de

que se produzca la ignición, mayor será el aumento de la presión. Normalmente sólo se ve involucrada una cantidad pequeña de masa gaseosa premezclada en un escenario de backdraught.

En algunas situaciones los gases del incendio y el aire pueden dar lugar a mezclas muy homogéneas antes de inflamarse. Estas situaciones son los escenarios más habituales en los recintos contiguos al incendiado y en los que prácticamente no existen aberturas.

En este caso, como la presión en el recinto no se puede liberar si se produce la ignición, la deflagración resultante será muy potente. Esta puede incluso hacer caer los cerramientos del recinto. Este fenómeno se conoce con el nombre de explosión de gases de incendio. Las explosiones de gases de incendio pueden ocurrir en el recinto incendiado, pero no es frecuente.

## 4.1. DEFINICIÓN DE EXPLOSIÓN DE GASES DE INCENDIO

Al igual que el concepto de backdraught, el de explosión de gases de incendio no se encuentra definido por una norma ISO estándar. El concepto se utiliza, no obstante, en muchos países y las definiciones empleadas son muy similares. Una de las más utilizadas es la siguiente:

*Cuando los gases del incendio se introducen en una zona contigua al recinto incendiado, estos pueden generar una mezcla muy homogénea con el aire. Esta mezcla puede extenderse en la totalidad o en parte del volumen y entrar dentro del rango de inflamabilidad. Si la mezcla se inflama, la presión puede aumentar de forma significativa. Este fenómeno se conoce como una explosión de gases de incendio.*

Es importante destacar que una explosión de gases de incendio es una deflagración, y no una detonación. Por lo tanto, se le puede comparar a una explosión. Una explosión de gases de incendio tiene lugar cuando no existe ninguna abertura en el recinto. Para que se produzca un backdraught, es necesario que las condiciones de ventilación en el recinto cambien durante el desarrollo del incendio. Evidentemente, los límites entre los dos conceptos pueden ser confusos en algunos casos.

### 4.1.1. CONDICIONES NECESARIAS PARA QUE SE PRODUZCA UNA EXPLOSIÓN DE GASES DE INCENDIO

El riesgo de que se produzca una explosión de gases de incendio es mayor en recintos contiguos al incendiado. La masa gaseosa puede premezclarse de forma homogénea en estos recintos. Lo único que le falta a la masa gaseosa para que se inflame es una fuente de ignición. La emisión de calor como resultado de la inflamación y la propagación de la llama que se producen en una masa gaseosa premezclada homogéneamente, da lugar a una expansión de los gases mucho más significativa que en los casos de flashover o backdraught. La fuente de ignición necesaria para que una masa gaseosa pre-mezclada se incendie puede ser muy pequeña.

Existe un escenario alternativo para una explosión de gases de incendio el cual posiblemente puede tener lugar en el recinto incendiado. Si sólo existe una pequeña abertura en el recinto incendiado, de manera que la abertura no sea lo suficientemente grande como para se produzca un flashover, el incendio continuará ardiendo con una carencia en el suministro de oxígeno. Esto dará lugar a que una gran cantidad de gases no quemados del incendio se acumulen en el recinto incendiado. Incluso puede parecer que el incendio se ha autoextinguido. Si la temperatura permanece alta en el recinto, se pueden acumular muchos gases no quemados en el cojín de gases, especialmente si en la parte superior del recinto (techo) hay mucho material combustible. Si el recinto tiene un buen aislamiento térmico, la temperatura puede permanecer con valores altos durante mucho tiempo.

Esta situación puede parecer inofensiva, pero al cabo de un tiempo el recinto comenzará a enfriarse y el aire será succionado a su interior. La atmosfera interna rica en combustible se combina con el aire. El contenido en oxígeno puede aumentar hasta alcanzar una concentración del 10% en volumen, concentración próxima a la que se necesita para que los gases sean capaces de arder. Con esta situación, disponemos de una masa gaseosa que se ha mezclado muy bien (homogéneamente), pero no se inflamará mientras no exista una fuente de ignición. La fuente de ignición, en este caso, podría ser una pavesa o ascua que se elevase en el aire procedente del foco inicial del incendio e inflamase una masa gaseosa más o menos pre-mezclada. Esta situación daría lugar a una potente explosión de gases de incendio.

Debe considerarse la posibilidad de que la fuente de ignición aparezca justamente cuando la masa gaseosa se haya pre-mezclado, sin embargo, esta probabilidad es pequeña. Es difícil predecir las explosiones de gases de incendio, lo que hace que también sea difícil protegerse de ellas. Muy raras veces se llegan a producir este tipo de eventos, aunque sí es cierto que la incidencia en países Escandinavos y del centro y norte de Europa es más frecuente (aunque también son pocas veces al año). Principalmente por el tipo de construcciones de que disponen. Por desgracia, estas explosiones son tan peligrosas que pueden tener consecuencias fatales.

## 4.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA POTENCIA DE UNA EXPLOSIÓN DE GASES DE INCENDIO

### 4.2.1 HUECOS DE VENTILACIÓN/TAMAÑO DE LA ABERTURA(S)

Cuanto mayor sea la abertura, la presión en el interior del recinto caerá más fácilmente. Si el recinto se encuentra prácticamente cerrado, y la masa gaseosa se inflama la presión será mucho mayor. En teoría, las presiones que se pueden alcanzar en la totalidad del recinto si este está completamente cerrado son elevadas, en los casos de GLP's podrían llegar incluso a los 8 bares.

*Concentración en volumen de gases premezclados en el recinto*

Cuanto mayor sea la concentración de gases premezclados en el recinto, mayor será el aumento de la presión si éstos se inflaman. Sólo se necesita un pequeño porcentaje en volumen de gases de incendio pre-mezclados para que el aumento de la presión sea muy alto.

### 4.2.2 RESISTENCIA A LA PRESIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL EDIFICIO

Los elementos estructurales más débiles de los edificios son los que primero colapsan ante un aumento de la presión, una vez el colapso ha provocado el hueco, la presión disminuirá. Si el edificio estaba completamente cerrado y los elementos estructurales son capaces de resistir el aumento de la presión sin colapsar, esta puede llegar a alcanzar como máximo algunos bares de presión (según los ensayos realizados por Harris R.J. publicados en el Reino Unido en 1983). Sin embargo, en la mayoría de los edificios, existen aberturas, como pueden ser una ventana o cualquier otra similar, lo que hará que el aumento de la presión a menudo sea moderado. La siguiente tabla muestra los valores aproximados del aumento de presión que pueden soportar diferentes elementos estructurales:

Presión típica a la que colapsarán diferentes elementos estructurales de los edificios		
Elemento estructural	Presión (mbar)	Presión (Pa)
Ventanas de cristal	20 – 70	2000 – 7000
Puertas de las habitaciones	20 – 30	2000 – 3000
Paredes ligeras (de estructura de madera y paneles de aglomerado)	20 – 50	2000 – 5000
Paredes de placas de yeso (tipo “pladur”)	30 – 50	3000 – 5000
Paredes de ladrillo de 10 cm	200 – 300	20000 – 35000

Tabla 2. Velocidad de combustión ( $S_c$ )

Cuanto mayor sea la velocidad de combustión, más rápida será la expansión. La velocidad depende de la sustancia implicada en la combustión y también varía en función de la posición, con respecto al punto de mezcla estequiométrica, donde se inflame la masa gaseosa. La velocidad de combustión es máxima cuando se alcanza el punto estequiométrico. Un error de concepción muy común consiste en creer que sólo cuando una mezcla se encuentra próxima al punto estequiométrico el aumento de la presión que se genere será grande. Lo cierto es que el valor de la presión será muy elevado, incluso cuando la mezcla gaseosa se encuentre cerca de los límites de inflamabilidad. La velocidad de combustión también se ve afectada por la turbulencia que se genere en el interior del recinto. Cuanto mayor sea la turbulencia, mayor será la velocidad de combustión. La turbulencia se ve afectada por parámetros tales como los muebles existentes en el recinto o los movimientos de los bomberos en su interior.

### 4.2.3. FACTOR DE EXPANSIÓN

Cuanto mayor sea la temperatura que alcancen los productos durante el proceso de combustión, más se expandirán. Cuanto más se expandan, mayor será el aumento de la presión. La temperatura de los productos depende en parte de la sustancia implicada en la combustión y también de la posición dentro del rango de inflamabilidad en el cual se inflaman.

## 4.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO. SIGNOS QUE INDICAN UNA EXPLOSIÓN DE GASES DE INCENDIO

### INMINENTE

Desafortunadamente, es muy difícil predecir una explosión de gases de incendio. Lo cual quiere decir que prácticamente no se pueden tomar acciones preventivas. Por tanto, una explosión de gases de incendio puede comportar serias consecuencias. Cuando se está efectuando una evaluación del riesgo, se deben tener en mente los siguientes puntos:

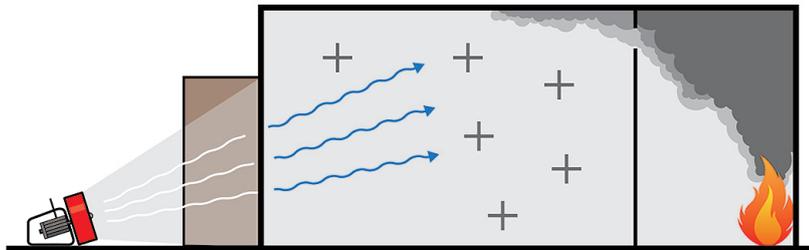
- ¿Existe algún espacio “escondido”? Si lo hay, es posible que los gases del incendio se acumulen allí. Los espacios “escondidos” podemos encontrarlos de forma habitual ente el techo y el falso techo y en lugares donde hay tejados a una o dos vertientes.
- ¿La estructura es combustible? Si ese es el caso, podemos suponer que el material “del otro lado de la pared” puede pirolizar cuando el calor se transfiere a través de la estructura. Evidentemente, esto también se aplica a los posibles objetos que se encuentren junto a la pared, pero en el otro lado.

- ¿Existen conducciones mal diseñadas? En este caso, podemos suponer que los gases del incendio pueden escapar fácilmente de los límites del incendio.

## 4.4. DESARROLLO DE LA ACCIÓN

Si los gases del incendio se han acumulado en el recinto contiguo **la situación es muy difícil de resolver**. En primer lugar, es muy difícil neutralizar el efecto de los gases aplicando gotas de agua finamente pulverizadas sobre ellos. Los gases del incendio pueden estar bastante fríos, lo cual hará que sea muy difícil que el agua se evapore dependiendo de la temperatura de la masa gaseosa. El caso es que a pesar de su "baja" temperatura, **todavía son peligrosas ya que la temperatura no influye en este caso**.

Si se decide ventilar el área afectada **debe tenerse cuidado de no provocar chispas, ya que este es el factor más peligroso de todos**. Esta maniobra puede resultar muy difícil si tenemos que practicar un agujero para permitir que los gases del incendio salgan. En otros casos, es posible que ventilar la zona no pueda hacerse fácilmente, lo que nos conducirá a situación aún más complicada.



*Es importante cuanto antes ventilar el recinto contiguo o aplicarle presión positiva*

**La conclusión general debe ser, por lo tanto, que la solución más fácil es evitar la acumulación de gases del incendio** mediante un mantenimiento preventivo: *Las conducciones (por ejemplo, de aire acondicionado) mal diseñadas deben modificarse lo antes posible. En algunos casos, se pueden instalar sistemas de rociadores o de detectores, con el fin de que avisen cuando los gases del incendio se acumulen, no sólo en el recinto incendiado, sino también en los contiguos.*

**Debe procurarse ventilar cuanto antes la zona para evitar que los gases se puedan acumular en suficiente cantidad** como para entrar en su rango de inflamabilidad. El requisito previo para poder efectuar estas acciones, es recibir cuanto antes el aviso de que el incendio se está produciendo, de forma que se pueda llegar al lugar del siniestro antes de que estos escenarios tengan oportunidad de desarrollarse.

Una vez en el lugar del siniestro puede ser importante localizar a personas que estén familiarizadas con el edificio. Si se puede elaborar un buen plan de actuación en los primeros momentos esto facilitaría enormemente nuestro trabajo.

**En algunas ocasiones también se puede probar a aplicar presión positiva en los recintos colindantes antes de que se acumulen allí los gases del incendio**. Pero esto sólo es aplicable cuando la cantidad de gases que se están filtrando es pequeña, de no ser así será muy difícil hacer esto.

## RESUMEN

Una explosión de gases de incendio se produce cuando una masa gaseosa premezclada se inflama en una zona del recinto. Lo más habitual es que se produzcan en los recintos contiguos al incendiado. Los gases del incendio se pueden mezclar de forma muy homogénea en estos casos. Este fenómeno se desarrolla principalmente mediante llamas premezcladas. Las explosiones de gases de incendio, también se pueden dar en el recinto incendiado, pero esto no es nada habitual.

Existe una serie de factores que determinan la magnitud del incremento de presión generado como consecuencia de una explosión de gases de incendio, entre ellos se incluyen los siguientes:

- Tamaño del hueco(s) de ventilación
- Porcentaje de la concentración en volumen de la pre-mezcla en el recinto
- Resistencia de los elementos estructurales del edificio
- Velocidad de combustión ( $S_u$ )
- Factor de expansión.

También debemos añadir que el rango de presiones que se alcanzan en estos casos y en los de backdraught no establecen unos límites claros para poder diferenciarlos. Pero una de las condiciones para que se produzca un backdraught es la de que se hayan modificado las condiciones de ventilación del incendio. Una de las principales características de una explosión de gases de incendio, es que la masa gaseosa se ha premezclado, por consiguiente, se producirá un gran aumento de la presión. Durante un flashover, en cambio, son las llamas de difusión las que controlan la evolución del proceso.

Cuando se produce una fuga de líquidos inflamables, se pueden acumular grandes cantidades de gases premezclados. La única diferencia es que los gases del incendio contienen una carga de partículas (fundamentalmente hollín) que actúan como un lastre térmico, en otras palabras, la velocidad de combustión es algo menor.

En muchos casos, puede resultar difícil identificar los signos que indican que una explosión de gases de incendio puede ser inminente. Esto se debe principalmente a que influyen aspectos técnicos de los edificios, como pueden ser el diseño de las conducciones tanto de aire acondicionado como técnicas, la proximidad o no de espacios ocultos en las proximidades del incendio, etc. Los sistemas de detectores o de rociadores ayudan a prevenir las explosiones de gases del incendio. Acciones que se pueden llevar a cabo en el lugar del siniestro pueden ser las de ventilar con presión positiva o liberar presión en el recinto contiguo antes de que los gases combustibles del incendio se acumulen en él.

## 5. ZONAS DE INDEFINICIÓN ENTRE LOS DIFERENTES FENÓMENOS

Hasta aquí hemos descrito algunos de los fenómenos que se pueden producir en el desarrollo de un incendio en el interior de un recinto. También se han analizado las diferentes vías mediante las que se pueden desarrollar. Sin embargo, en los casos reales, las situaciones de "libro", no se suelen producir, es decir, que podemos encontrarnos con situaciones que se encuentren "a medio camino" entre los fenómenos descritos. Como resulta evidente, enumerar todas las casuísticas que se pueden dar en el desarrollo de un incendio en un recinto, sería una tarea compleja además de poco realista, ya que la disposición a divagar de la mente humana puede tener límites verdaderamente amplios. No obstante, vamos a resumir en una serie de cinco escenarios aquellas situaciones en las cuales puede resultar particularmente difícil diferenciar entre los diferentes fenómenos.

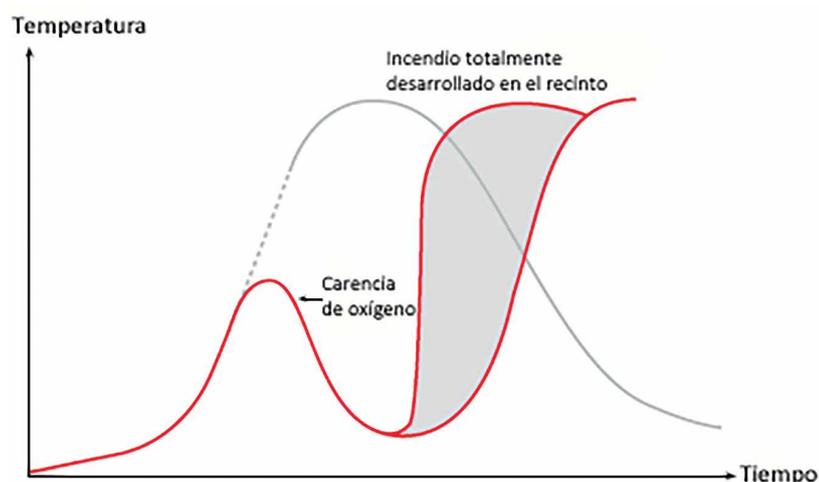
### 5.1. DIFERENCIANDO ENTRE UN FLASHOVER Y UN BACKDRAUGHT

Un flashover se produce cuando se dispone de un acceso capaz de aportar un buen suministro de aire al incendio y se dispone de una determinada cantidad de combustible. Un backdraught, se desarrolla de una manera totalmente diferente y se produce cuando hay un flujo de aire limitado en el edificio/habitación, lo que significa que la combustión continuará, pero con una limitación en el aporte de oxígeno. Esto nos lleva a la acumulación de una cierta cantidad de gases no quemados, los cuales se pueden inflamar en una etapa posterior si se le suministra aire.

Así pues, ¿por qué debería ser tan difícil diferenciar entre estos dos escenarios? Cuando abrimos una puerta o una ventana, y el aire fluye hacia el interior, estamos asumiendo que nos encontramos ante un incendio controlado por ventilación.

Inmediatamente, nos damos cuenta de que no se producirán backdraught potentes a no ser que las llamas no salgan lentamente a través de la abertura. Este escenario lo describimos anteriormente como "un incendio que reanuda su desarrollo", que es exactamente lo que está ocurriendo. Si tuviésemos un área ligeramente mayor y con gases de combustión premezclados, las llamas saldrían por la abertura más rápidamente.

Huelga decir entonces que estamos frente a una especie de zona "indefinida", donde la cantidad de gases de incendio premezclados controlará la rapidez con que el incendio se desarrolle. ¿Estamos ante un backdraught o ante la reanudación del desarrollo de un incendio interrumpido? Por supuesto, tenemos que evaluar la situación para cada caso concreto. Esta situación es la que se representa en la siguiente figura.



## 5.2. DIFERENCIANDO ENTRE UNA AUTO-IGNICIÓN DE LOS GASES DEL INCENDIO Y UN INCENDIO QUE REANUDA SU DESARROLLO

Como ya se dijo anteriormente, puede resultar difícil identificar las situaciones en las que los gases del incendio se autoinflaman en la abertura. Algunas veces, puede parecer que las llamas aparecen en ese lugar, pero también pueden haberse originado bastante adentro del interior del recinto. En esta situación se hace difícil determinar si los gases del incendio se están autoinflamando o si el incendio está reanudando su desarrollo.

## 5.3. DIFERENCIANDO ENTRE UN BACKDRAUGHT Y UNA EXPLOSIÓN DE GASES DEL INCENDIO

Un backdraught y una explosión de gases del incendio, se originan de formas totalmente diferentes. Un backdraught se desarrolla en un recinto donde las condiciones de ventilación han sido modificadas. Esto puede haber sucedido, porque los cristales del recinto se han roto, permitiendo la entrada de aire, pudiendo producirse una ignición. Por otra parte, una explosión de gases de incendio tiene lugar frecuentemente en un área o zona contigua a la del recinto incendiado.

En términos generales, un backdraught provoca aumentos de presión menores que una explosión de gases de incendio. Para que un backdraught se desarrolle deben cambiar las condiciones de ventilación, y como consecuencia de ello la presión se aliviará. Cuando hablamos de explosiones de gases de incendio, dijimos que este fenómeno también podía darse en el mismo recinto donde se produce el incendio, pero que esta situación raramente ocurre. Esto se debe a que es muy frecuente que una fuente de ignición consuma la masa gaseosa combustible en la medida en que esta se genera. Como norma general, el tamaño de la masa combustible que se forma no es lo suficientemente grande.

Debemos tratar de averiguar si la ignición se ha producido como consecuencia de que la abertura de ventilación haya cambiado o no. Si la situación se ha producido debido a un cambio en la ventilación entonces se trata de un backdraught.

## 5.4. DIFERENCIANDO ENTRE UN FLASHOVER Y UNA EXPLOSIÓN DE GASES DEL INCENDIO

Estos dos escenarios son los más simples de diferenciar, ya que un flashover implica llamas de difusión, mientras que en una explosión de gases de incendio las llamas que se producen son premezcladas.

### RESUMEN

Podemos decir que es importante comprender los procesos que controlan cómo se producen los fenómenos relacionados con los incendios de modo que podamos darnos cuenta de lo que realmente ha sucedido. Los términos utilizados, por supuesto, también tienen una importancia fundamental, al igual que en las situaciones que requieren una acción rápida y adecuada, no puede haber lugar para ningún malentendido.

En términos generales, es difícil diferenciar entre los diversos fenómenos en los que se desarrollan el mismo tipo de llamas. Por ejemplo, las llamas de difusión se desarrollan en un flashover, mientras que en un backdraught tienen lugar tanto las llamas premezcladas como las de difusión. Esto puede hacer que sea difícil distinguir entre ellos. Por otra parte, si comparamos un flashover con una explosión de gases de incendio, donde las llamas que se producen son premezcladas, se hace mucho más fácil de diferenciar entre ellos.

# 6. TÉCNICAS DE EXTINCIÓN

## 6.1. INTRODUCCIÓN

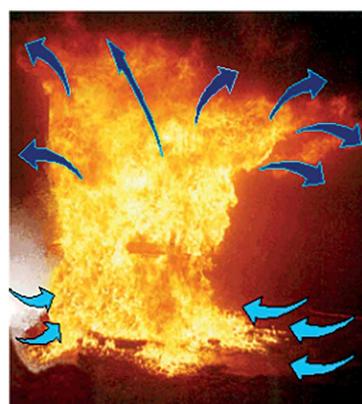
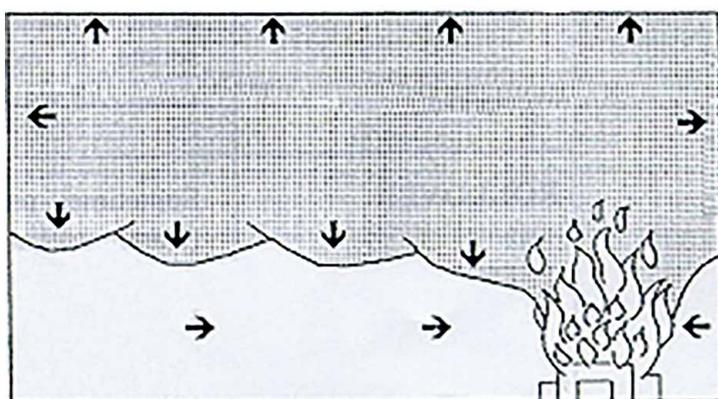
En este capítulo, como en todos los que se refieren a las técnicas de extinción utilizadas por los servicios contra incendios, lo único cierto es que no existe un método genérico que podamos definir como el utilizado por los servicios de extinción de incendios en la lucha contra incendios urbanos, a pesar de que los incendios en viviendas son muy similares.

A pesar de ello, en la actualidad existe una tendencia que se está implantando en los servicios de extinción y que consiste en el método de "ataque ofensivo" importado y adaptado de los servicios de extinción suecos y que se está implantando con bastantes buenos resultados. Así pues, vamos a hablar de las diferentes técnicas de extinción, para posteriormente centrarnos de forma específica en el método de ataque ofensivo. También hablaremos de otra técnica no tan aceptada pero no por ello menos candidata a tener en cuenta como es el uso de la ventilación con presión positiva.

Cuando analizábamos los factores que controlan la evolución de un incendio, veíamos que resultaba prácticamente imposible definir todas las posibilidades a través de las cuales el proceso puede evolucionar. En consecuencia, todas las posibles acciones que podemos adoptar para su control, van a depender de nuestra propia habilidad tanto en identificar el punto del proceso donde nos encontramos como las acciones más eficaces a desarrollar. Todo esto sólo será posible manejarlo con el suficiente entrenamiento y con la propia experiencia adquirida en los diferentes servicios en los que se ha participado (estamos definiendo el principio de que ningún incendio se parece entre sí).

Sin embargo, lo que sí podemos hacer es definir una serie de pautas de actuación que podemos aplicar en todos ellos y que creo que en la medida en que se respeten y se pongan en práctica nos pueden ayudar servicio tras servicio a tener un mayor nivel de eficacia en nuestras intervenciones.

Cuando un incendio se desarrolla en el interior de un compartimento aparecen dos capas separadas.



La capa superior contendrá los productos del incendio (gases de incendio) y en la capa inferior encontraremos el aire que se está introduciendo en la habitación. A la línea de separación imaginaria entre estas dos capas se le denomina **plano neutro**.

A medida que el incendio se desarrolla la presión en la capa superior aumentará debido al aumento de la temperatura y a la producción de gases desde la fuente de ignición y por efecto de la pirolisis.

En la capa inferior la presión decrecerá ya que el oxígeno del aire está siendo consumido por el incendio y arrastrado desde el exterior al interior del compartimento. Estos son parámetros que deberemos tener en cuenta si queremos realizar un buen trabajo de extinción, ya que el éxito de la tarea se basará en nuestra habilidad para mantenerlos o eliminarlos

Realizar una buena operación de extinción, supone evitar que se den episodios de flashover o backdraught.

La forma de conseguirlo implica la combinación de dos acciones, por una parte se deberá hacer disminuir la temperatura de los gases calientes mediante la técnica adecuada de aplicación de agua y por otra sacar a la mezcla de su rango de inflamabilidad, lo cual sólo podemos conseguirlo mediante la dilución de los gases de incendio aprovechando, por ejemplo, el vapor de agua generado. Posteriormente ya podremos ocuparnos de los focos de ignición.

Cuando hemos hablado de agentes extintores, hemos dicho que todos ellos actúan de una manera u otra por enfriamiento, incluidos los agentes sólidos como son los polvos químicos secos. Esto se debe a un efecto denominado Davy. Este efecto se da cuando se introduce una partícula, o dicho con mayor propiedad para el caso que nos ocupa, cuando se introduce un flujo de partículas en el seno de un cojín de gases calientes inflamados. Cuando esto ocurre, la diferencia de temperatura entre las partículas que componen dicho flujo y la de las llamas, provoca que alrededor de cada una de estas partículas se genere un espacio de extinción, al menos mientras estas no igualan su temperatura con la de las llamas.

Este efecto fue descubierto por Humphrey Davy hacia 1815, quién consiguió evitar la propagación de las llamas desde las lámparas de keroseno de los mineros cuando se encontraban con bolsas de gas natural, colocando mallas de rejillas metálicas alrededor de la llama.

De esta manera, cuando se extingue una llama con polvo químico, por ejemplo, alrededor de cada partícula de polvo se forma una zona de aproximadamente 1 mm de espesor donde no existe combustión, la suma de todos estos espacios "sin llama" acaba por extinguirla, por supuesto con independencia del efecto inhibitor de la reacción de combustión que provoca la incorporación del polvo químico al proceso de combustión.

Si se pudiesen obtener gotas de agua lo suficientemente pequeñas y compactas entre sí en el interior de la llama, ésta también se extinguiría, tanto por el efecto antes mencionado como por la cantidad de energía tomada de la llama al evaporarse cada una de las gotas de agua.

Para conseguir el máximo rendimiento de estos efectos combinados, la cantidad de gotas de agua necesarias será función de la temperatura de los gases incendiados y de la cantidad de flujo de los mismos.

Teóricamente, según cálculos empíricos realizados, se necesitarían unos 200 millones de gotas de agua por metro cúbico de llama para su extinción según el efecto descrito. Si las gotas de agua se mueven rápidamente entre las llamas, éstas conseguirán enfriar un volumen aún mayor. Según Krister Gilselsson y Mats Rosander este efecto comienza a notarse cuando las gotas de agua tienen un diámetro cercano a los 0,3 mm de tal manera, estos 200 millones de gotas de 0,3 mm de diámetro equivaldrían a unos 2,83 litros de agua.

Vistas las cualidades del agua como agente extintor vamos a ver de qué manera podemos aplicarla o utilizarla para que todos estos efectos combinados provoquen el mayor grado posible de eficacia.

Las diferentes técnicas de extinción las podemos agrupar en las siguientes:

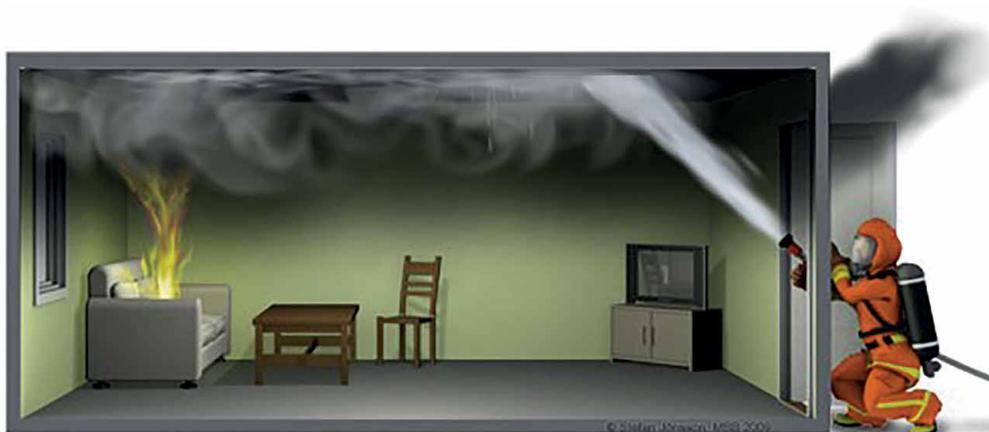
- Ataque Indirecto
- Ataque Directo
- Enfriamiento de los gases del incendio

## 6.2. ATAQUE INDIRECTO (DEFENSIVO)

Esta técnica fue desarrollada durante la segunda guerra mundial, donde se aplicaba con notable eficacia en los incendios que se declaraban en los buques de guerra. Su efectividad, sencillez y seguridad para los efectivos de intervención la hicieron convertirse en la técnica por excelencia en este tipo de incendios. Sin embargo para el caso de edificios deben tenerse también en cuenta otros parámetros.

### 6.2.1. INTENCIÓN

El principio de esta técnica consiste en generar una gran cantidad de vapor de agua. Para conseguir esto, se dirige el agua al interior del compartimento intentando que ésta impacte contra los cerramientos y superficies calientes, con el fin de producir la mayor cantidad de vapor posible y crear una sobre presión, la cual desplazará hacia el exterior el aire sofocando el incendio y al mismo tiempo enfriando los gases de combustión.



*Ataque indirecto*

Este método debe utilizarse solamente desde el exterior del recinto, cuando no existen víctimas en el interior del compartimento.

## 6.2.2. PROCEDIMIENTO

Se utiliza agua pulverizada con el cono en posición de abertura media dirigida a la parte superior y circundante al foco/s del incendio. La lanza debe moverse en forma circular de forma que se asegure la máxima cobertura.

## 6.2.3. EFECTO

Se consigue un doble efecto, por una parte enfriar y por otra diluir los gases del incendio. Además, enfría la estructura del compartimento. Por otra parte las grandes cantidades de vapor producido ejercen un efecto de sofocación sobre el incendio. El plano neutro desciende, con la consecuente reducción de la visibilidad y el empeoramiento de las condiciones de seguridad para los bomberos y las víctimas.

Solo debe ser aplicado desde el exterior del compartimento debido a las grandes cantidades de vapor de agua a alta temperatura que se generan.

## 6.3. ATAQUE DIRECTO

### 6.3.1. INTENCIÓN

Con esta técnica se pretende extinguir directamente el/los foco/s de ignición. Resulta útil en los siguientes casos:

- incendios que se encuentran en su etapa inicial
- cuando el incendio es exterior
- para rematar el incendio una vez controlado
- Cuando el combustible generador del incendio está accesible y al alcance del agua

Se aplica directamente sobre el lugar donde se encuentra el foco del incendio.



*Ataque directo*

### 6.3.2. PROCEDIMIENTO

El agua se aplica en forma de **chorro/niebla con ajuste del cono en un ángulo mínimo** dirigido directamente al foco del incendio. Esta técnica puede utilizarse también proyectando el agua sobre las superficies que no están ardiendo, con ello se evita que éstas comiencen a arder o a pirolizar.

### 6.3.3. EFECTO

Mediante esta técnica conseguimos **enfriar el material incendiado** y disminuir e interrumpir la emisión de gases inflamables desde el material combustible. Es muy efectiva cuando el incendio afecta a pocos objetos y la accesibilidad al foco del incendio lo permite. Como contrapartida se pueden derivar posibles daños causados por el agua si ésta se aplica de forma indiscriminada. También puede aumentar la entrada de aire en el compartimento por efecto Venturi si no se toman las medidas adecuadas, lo cual puede provocar el incremento del incendio.

La aplicación de esta técnica da lugar a unas condiciones muy severas en el interior del recinto, tanto para los bomberos como para las posibles víctimas atrapadas en su interior, debido al vapor de agua que se genera.

## 6.4. ENFRIAMIENTO DE LOS GASES DEL INCENDIO (3D)

El uso de la técnica de enfriamiento de los gases del incendio, también denominada por algunos autores como **técnica tridimensional (3D) o agua-niebla**, supone atacar **directamente a la fase gaseosa del incendio**, es un método relativamente reciente e innovador que se empezó a desarrollar a principio de los años 80 en Suecia y que en el momento actual se encuentra ampliamente adoptado en todo el mundo.

La **idea fundamental** de la aplicación de esta técnica es (no solamente para la extinción del incendio) la de **'asegurar' la vía de penetración al incendio y reducir la probabilidad de que se produzcan episodios de flashover-backdraught y/o Explosiones de Gases de Incendio.**

Esta técnica no ha sido diseñada para reemplazar las técnicas de ataque "directo" o "indirecto" al incendio utilizando el agua en la forma descrita anteriormente, sino que **constituye una técnica en sí misma**. Esta técnica, como veremos más adelante, puede utilizarse de forma independiente a las otras descritas, sin embargo, su aplicación conjunta con el resto de las expuestas anteriormente hará que se incrementen la seguridad y efectividad de los equipos de bomberos.

La técnica de "Enfriamiento de Gases", como técnica de extinción de incendios, **consiste en colocar el agua pulverizada directamente en el volumen de los gases de calientes o incendiados, utilizando proyecciones cortas y rápidas de forma que permitan controlar la cantidad de agua necesaria a aplicar de la forma más controlada posible en el interior de la zona de sobrepresión.**

La consecuencia, será la incorporación de un flujo de gotas de aguas que se moverán en el seno de los gases calientes y/o inflamados de manera que en la trayectoria que recorrerán hasta evaporarse generarán **"zonas de extinción"** donde los llamas desaparecerán y los gases de incendio se contraerán por el efecto de enfriamiento haciendo que el plano neutro se eleve.

La aplicación de esta técnica implica un control bastante riguroso de la cantidad de agua aplicada, ya que pequeños excesos pueden provocar grandes cantidades de vapor (mayor cuanto mayor sea la temperatura de las llamas o de los gases del incendio).

El efecto que se consigue de esta forma es el del enfriamiento de la masa gaseosa caliente y por consiguiente la **disminución de su volumen por el efecto de contracción**.

Si la cantidad de agua aplicada es la correcta la contracción que se **producirá en los gases calientes será mucho mayor que la expansión producida por el vapor del agua aplicada, y de esta forma el resultado final será la contracción del volumen de final de gases en el recinto** (gases calientes enfriados más el vapor de agua) frente al que había inicialmente (gases calientes solamente).



*Enfriamiento de los gases de incendio*

De esta forma se consigue que **el espacio que queda delante de los bomberos** que manejan la lanza **quede libre para permitir su avance**. Esta maniobra, de hecho, genera una presión negativa en el interior del compartimento incendiado y los bomberos no se ven afectados por las quemaduras que provoca la expansión del vapor a altas temperaturas. Además, también se incrementan las probabilidades de supervivencia de las víctimas que se puedan encontrar en otros compartimentos.

Cuando un bombero actúa enfriando los gases del incendio, ha de mantener una actitud activa, mediante la cual pueda llegar a abarcar el mayor volumen de gases calientes o llamas posible.

Para conseguir los efectos deseados, es necesario el uso de lanzas específicas mediante las cuales se pueda controlar el caudal y el ángulo de salida del agua. La idea es conseguir un cono de agua ajustado al volumen de la masa de gases calientes o de las llamas y combinar el caudal y la presión en bomba de manera que el *tamaño de la gota oscile alrededor de los 0.3 mm de diámetro*.

De no mantener estos parámetros, las gotas de agua podrán ser demasiado ligeras, con lo cual no serán capaces de moverse en el seno de la masa gaseosa antes de evaporarse, o incluso no podrán alcanzar la misma. O por el contrario ser demasiado pesadas, con lo que las gotas entrarán en la masa gaseosa cayendo al suelo o sobre los cerramientos. En este último caso, si los cerramientos no están suficientemente calientes, estaremos desperdiciando agua, y si lo están, el agua se evaporará restando calor a las paredes, pero no al colchón de gases, no consiguiendo su contracción. El vapor generado de ese modo hará que baje el plano neutro.

Para la aplicación de esta técnica, la lanza previamente ajustada a los parámetros del incendio, debe utilizarse de una forma determinada, generando "pulsaciones" de agua de manera que se llegue a conseguir de forma adecuada el efecto deseado.

Básicamente podemos establecer en tres las *"técnicas de aplicar las pulsaciones"* pudiendo aplicar cualquiera de ellas, o hacer uso de combinaciones de las mismas de manera que nos ajustemos a las características del incendio en cuanto al volumen de gases y/o llamas que queramos controlar y a la misión en concreto que debamos desarrollar (extinción, salvamento, etc.):

- Pulsaciones cortas
- Pulsaciones largas
- Pulsaciones largas con barrido

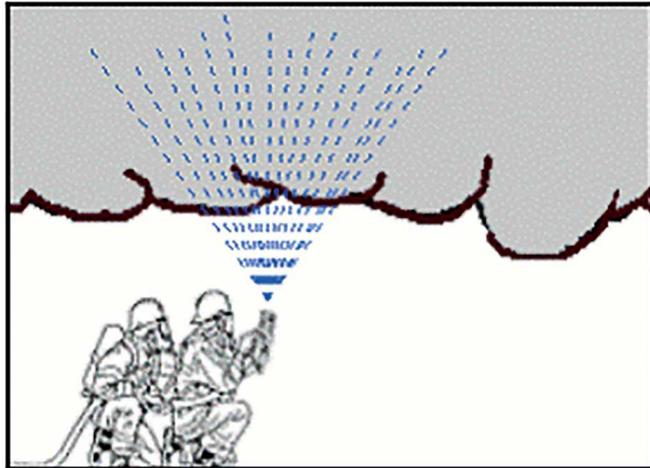
## 6.4.1. PULSACIONES CORTAS

### 6.4.1.1. PROCEDIMIENTO

Se debe ajustar una posición del cono de la lanza donde obtengamos el ángulo suficiente para abarcar el mayor volumen posible de gases calientes/llamas.

Efectuar pulsaciones cortas, dirigidas directamente sobre los gases del incendio en la zona de sobrepresión.

Podemos fijar un caudal de lanza inicial próximo a los 100 l/min.



### 6.4.1.2. EFECTO

Enfriar y diluir los gases inflamables y por consiguiente prevenir que los gases del incendio alcancen su temperatura de auto-ignición. Este tipo de pulsaciones es práctico cuando la carga de fuego es pequeña y se quiere aprovechar al máximo el efecto de absorción de energía al evaporarse el agua. También permite un control mayor del agua aplicada.

La aplicación de pulsaciones cortas sobre un volumen relativamente grande de gases calientes o de llamas comporta un gran esfuerzo por parte del bombero, ya que se deben realizar con mucha rapidez y muy seguidas ya que el caudal de agua proyectado en cada una de ellas es pequeño. En estos casos resulta más aconsejable alargar la pulsación con el fin de introducir un flujo mayor de agua en el cojín de gases.

## 6.4.2. PULSACIONES LARGAS

### 6.4.2.1. PROCEDIMIENTO

Como hemos comentado en el apartado anterior, con este tipo de pulsaciones conseguimos introducir un caudal mayor de agua en el cojín de gases calientes o llamas. La posición a adoptar en el cono de la lanza será, al igual que en el caso anterior, el necesario para abarcar el mayor volumen posible de gases calientes.

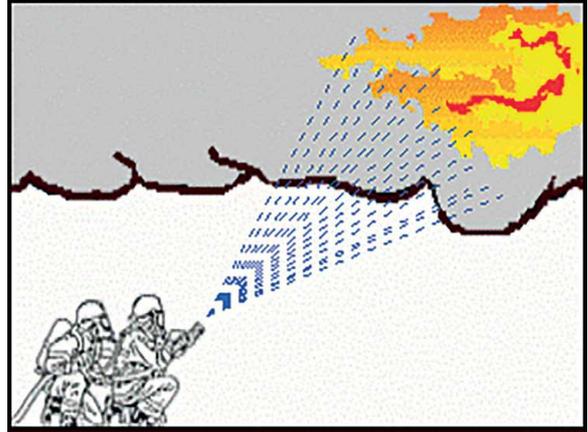
Se debe tener en cuenta que estamos aumentando el tiempo de la pulsación y por tanto introduciendo más cantidad de agua. Aunque también se puede optar por ajustar un caudal mayor si fuese necesario.

En este caso podemos optar en reducir el ángulo del cono, con lo cual el alcance será mayor y por consiguiente mantener una mayor distancia a los gases inflamados, aunque la sección abarcada no será muy grande. O por el contrario, aumentar el tamaño del cono, con lo que conseguiremos abarcar un mayor volumen de gases calientes, pero deberemos acortar la distancia al frente de llamas para poder llegar a él con el agua. En consecuencia la radiación recibida por el bombero, también aumentará.

Ajustar el tiempo de la pulsación, dependiendo de la respuesta de los gases calientes al ser atacados. Mientras se observe que los gases se contraen y la visibilidad aumenta podemos seguir con la pulsación, cuando se genere vapor y el plano neutro comience a descender deberemos parar. Dirigir el agua directamente a los gases incendiados situados en la zona de sobrepresión.

Si observamos que con este tipo de pulsaciones, no conseguimos el efecto deseado, es decir, hacer que se eleve o se mantenga la altura del plano neutro y la visibilidad, y por el contrario el flujo de gases del incendio sigue aumentando a pesar del caudal de agua introducido, es un indicativo de que el flujo de gases calientes o llamas al que nos enfrentamos requiere de un mayor caudal de agua.

También puede ser un indicativo de que estamos tratando con un volumen de gases calientes muy grande y por ello el caudal de agua requerido es mayor, en estos casos podemos optar por aumentar el caudal y alargar el tiempo de las pulsaciones intentado "barrer" todo el volumen de gases calientes o llamas.



### 6.4.2.2. EFECTO

Enfriar y diluir las llamas en combustión, permitiendo además a los bomberos penetrar en el interior del compartimento.

## 6.4.3. PULSACIONES LARGAS CON BARRIDO

### 6.4.3.1. PROCEDIMIENTO

En este caso, tratamos de conseguir un caudal de agua adecuado a la cantidad de fuego o de gases calientes presentes en el recinto donde estamos intentando penetrar.

Intentaremos utilizar un ángulo para el cono de la lanza que nos permita llegar sin problemas al cojín de gases o llamas. El caudal a utilizar dependerá de las circunstancias del incendio. En ocasiones es suficiente con mantener el caudal en unos 150 a 300 l/min, aunque existen situaciones en las que se pueden requerir caudales bastante superiores.

Al igual que con las pulsaciones largas, dirigir el chorro directamente sobre la zona de sobre-presión a los gases incendiados moviendo la lanza de forma que podamos "barrer" todo el volumen de gases calientes o llamas, intentando proyectar la mayor cantidad de posible de gotas de agua en el seno de los gases calientes, ya que cuando hablamos de grandes volúmenes de gases calientes se precisan de grandes caudales para neutralizarlos, es decir, enfriarlos y sacarlos fuera de su rango de inflamabilidad para evitar que se incendien.

### 6.4.3.2. EFECTO

En este caso, habrá que estar muy atento a la evolución del incendio. Si se observa que efectuando este tipo de aplicaciones la intensidad del incendio disminuye, continuaremos así hasta ir alcanzando el control y en la medida que esto suceda seguir avanzado en busca del foco del incendio. Si a pesar de ello el incendio no remite, deberemos plantearnos la posibilidad de utilizar caudales de agua aún mayores o incluso retirarse a una zona segura ante la posibilidad de que se produzca, inevitablemente, una situación de backdraught o de explosión de gases de incendio.

### OTRAS CONSIDERACIONES

Además de la cantidad de agua a utilizar, el lugar donde ésta se coloca es importante también. Si el agua que aplicamos cae sobre el piso porque no llegamos a los gases calientes, no está siendo efectiva, por consiguiente el agua debe aplicarse en el interior de la capa de gases calientes donde se aprovechará en su mayor parte.

Conseguir el nivel de técnica adecuado en el uso de la lanza, es una cuestión de familiarizarse con ella y de entrenamiento. Existen diferentes tipos de lanzas para aplicar esta técnica. Ni que decir tiene que ninguna de ellas es la mejor ni la peor, todo depende de la que nos habituemos a utilizar, y de las circunstancias del incendio.

En general las primeras veces estas maniobras no resultan sencillas, por lo que es necesario practicar con asiduidad.

La experiencia y la práctica en extinción de incendios en maniobras controladas permitirán al bombero utilizar la técnica más adecuada en función de las circunstancias particulares de cada situación de incendio.

Los factores que determinan el caudal necesario de la lanza son:

- EL TAMAÑO DEL COMPARTIMENTO
- LA NECESIDAD DE RESCATAR VÍCTIMAS

- TIPO Y TAMAÑO DE LA LANZA
- EL CONTENIDO DEL COMPARTIMENTO
- LA EXTENSION DEL INCENDIO

## 6.5. MÉTODO DE ATAQUE OFENSIVO

Este método se desarrolló a principios de los años 80 en los servicios de extinción de incendios Suecos. Su precursor, el ingeniero de fuego Sueco **Krister Giselsson**, puso todo su empeño en diseñar tanto la primera lanza de caudal regulable capaz de conseguir el tamaño necesario de las gotas de agua, como en definir la actuación que los bomberos debían seguir en el interior de un recinto incendiado.

Este método de extinción es el resultado de la aplicación práctica de los conceptos teóricos establecidos anteriormente. El resultado final es la combinación de las técnicas de extinción antes descritas en un orden establecido.

Se aplica en recintos donde existen gases de combustión originados por un incendio. Su implementación va más allá de la mera forma en que debemos proyectar el agua.

El método consiste en un aprovechamiento integral tanto de las técnicas de extinción descritas como de los efectos físicos derivados del uso adecuado del agua.

Para ello se establece un procedimiento basado en **cinco acciones**. Del correcto desempeño de las mismas dependerá el éxito en la intervención. De la observación y del riguroso seguimiento del procedimiento por parte de la dotación dependerá que la intervención se verifique de forma rápida y eficaz.

La técnica consiste en un método agresivo hacia los gases del incendio. Recordemos que éstos podían ser de alto contenido energético o normal, y los podíamos encontrar inflamados o sin inflamar, dentro o fuera de su rango de inflamabilidad, dependiendo de la forma en que el incendio haya evolucionado.

Como consideración previa, se debe matizar que en toda intervención debe establecerse con anterioridad un procedimiento mediante el cual se establezca el número de bomberos que van a intervenir, y las tareas que cada uno de ellos realizará. También es conveniente dar nombre a estos procedimientos con el fin de optimizar el tiempo de intervención y sobre todo la coordinación.

Otro de los problemas con que nos vamos a encontrar es el del tipo de instalación a utilizar para la aplicación de esta técnica.

Como se ha dicho, este método se desarrolla en Suecia en la década de los 80. En esta época se utilizaban líneas de manguera de 1,5 pulgadas, es decir, de 38 mm de diámetro, y bombas de baja presión, lo que les permitía alcanzar sin problemas caudales comprendidos entre los 100 y los 300 l/min.

Según su estándar, estos debían ser los requerimientos mínimos para introducirse en un incendio de interior. En la actualidad, han aumentado el diámetro de sus mangueras hasta los 42 mm y siguen utilizando bombas de baja presión.

Debemos empezar a reflexionar sobre qué caudal es deseable disponer en una intervención de este tipo y con qué tipo de instalación y modo de operación podremos aproximarnos a él.

Concluyendo, si se quiere mantener el estándar establecido en Suecia nos vemos obligados a elegir entre las siguientes opciones:

- Instalación con baja presión y mangueras de 45 mm de diámetro, con lo cual debemos asegurar una presión en punta de lanza de aproximadamente 7 bar, según el diseño de la misma, y regular el caudal de la lanza en la posición más apropiada a la carga de fuego a que se enfrenten los bomberos. De esta manera siempre dispondremos de ese caudal máximo de 300 l/min e incluso mayor ya que podremos llegar hasta los 475 l/min con una abertura de cono adecuada al frente que se desea cubrir.
- El segundo tipo de instalación que se puede tratar de efectuar, es con una línea de 25 mm de diámetro y utilizar alta presión, con una lanza adecuada para trabajar en estas condiciones. Aquí los requerimientos de bomba suelen estar entre los 25 y 30 bares de presión en punta de lanza para que en la posición de 250 l/min, podamos obtener un caudal próximo a los 475 l/min.

En cualquier caso, en función de la situación, deberá ser el mando de la unidad de intervención quién decida, en base a los procedimientos implantados, el tipo de instalación a utilizar.

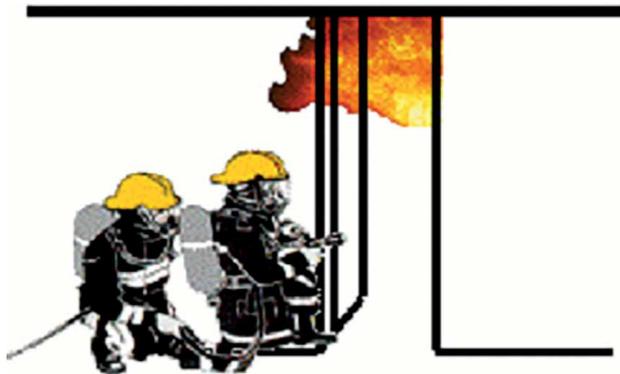
Establecidos estos parámetros iniciales podemos resumir en 5 pasos el método de ataque ofensivo:

Como consideración previa, el mando a cargo de la unidad de intervención, debe efectuar una "lectura del recinto/edificio" previa a la entrada de los bomberos desde la cual identifique los factores descritos anteriormente de tal forma que el equipo de intervención pueda tener una idea aproximada de la fase del desarrollo del incendio en el que éste se encuentra.

### 6.5.1. ASEGURAR LA ENTRADA/SALIDA AL RECINTO

El binomio de bomberos que va a introducirse en el recinto, debe de observar la cantidad de gases de incendio, el color, la densidad y la forma en que los gases de incendio se desarrollan en el exterior a través de las puertas y ventanas, pues este es un indicador del estado de la temperatura y concentración de los gases en el interior.

De esta forma, se dispondrá de una idea aproximada en cuanto a la posibilidad de que el incendio evolucione hacia un episodio de backdraught al abrir la puerta y que los gases evolucionen desde el límite superior de inflamabilidad hacia su rango de inflamabilidad, o en general cualquier otro de los fenómenos que hemos descrito. Para evitarlo, se "aseguran" el acceso y salida del personal, mediante la proyección de agua pulverizada sobre la parte superior de la puerta y los gases que ya se encuentren en el exterior enfriándolos.



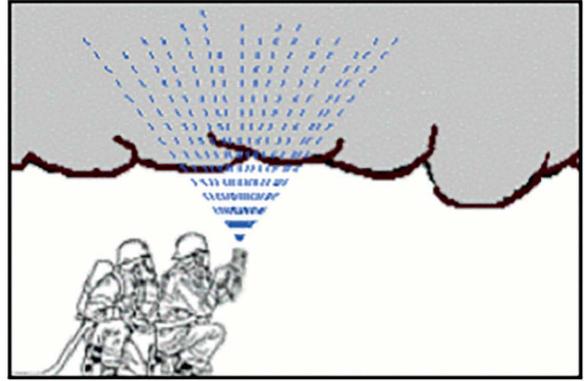
Cuando los dos acceden al interior del recinto, en el lugar por donde penetran debe permanecer otro miembro del equipo de ataque para asegurar que los gases que saldrán al exterior no se auto-inflamen y observar su evolución con el fin de hacer salir al equipo del interior o reforzarlo en caso de ser necesario.

Utilizar la protección de puertas y paredes, permaneciendo siempre agachados. Recordar que las paredes son más resistentes que las puertas y darán una mayor protección antes de entrar, por tanto cuando sea posible utilizar las paredes como protección antes que las puertas.

### 6.5.2. CONTROL DE TEMPERATURA

Tras la penetración del binomio, debe tenerse la precaución de restringir en la medida de lo posible la entrada de aire al recinto, con el fin de evitar el aporte de oxígeno al incendio, y proceder inmediatamente a proyectar agua en la zona de presión positiva para enfriar y diluir los gases del incendio, a esta operación se le denomina "control de temperatura".

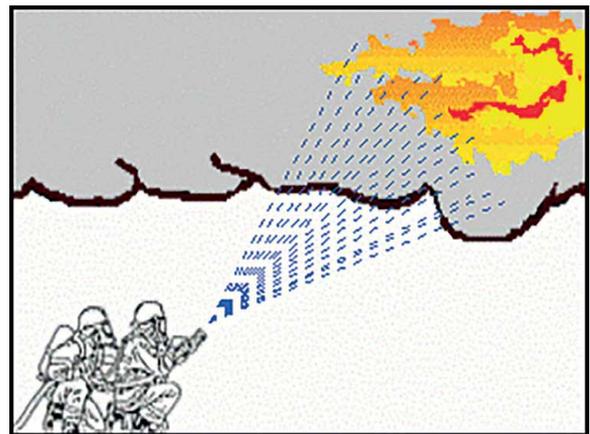
Esto se consigue ajustando la apertura de la puerta de manera que quien quede en esa posición puede abrir o restringir el paso de aire en función de las necesidades. También con esta acción se consigue tener una idea de cuál es el volumen de gases calientes presente sobre la dotación de intervención.



Esta acción se efectúa sobre los gases que nos encontramos nada más entrar en el recinto, mediante pulsaciones cortas y rápidas tal y como se ha expuesto anteriormente, si el agua proyectada se gasifica de forma rápida, significa que tenemos altas temperaturas de los gases de combustión y debemos actuar rápidamente refrescando y diluyendo estos gases, si es preciso mediante pulsaciones algo más largas aunque no menos frecuentes. Así mismo, si se percibe o no el ruido del agua al pegar sobre el techo (cuando este no es perceptible bajo el cojín de gases de incendio) nos dará una idea acerca del volumen de gases presentes en el recinto, lo cual puede resultar tan importante o más incluso que su propia temperatura.

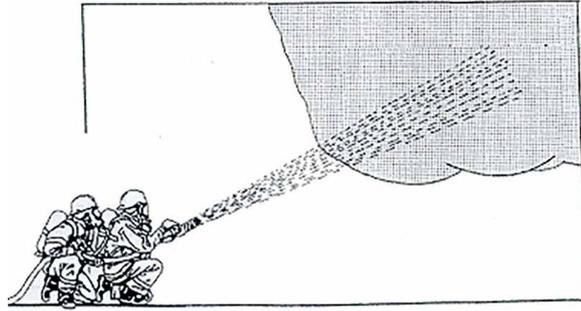
### 6.5.3. ATAQUE OFENSIVO A LOS GASES DEL INCENDIO/ LLAMAS

En la medida en que se avanza, se deben efectuar pulsaciones de agua con el fin de enfriar y diluir los gases de combustión, cuando nos encontremos con el frente de llamas donde los gases de combustión se encuentran en su pleno desarrollo, actuaremos de forma "ofensiva" aumentando el efecto de las pulsaciones, prolongando si es preciso el tiempo de la pulsación y reduciendo el tiempo entre ellas. Se ha de tener en cuenta que no se debe aplicar más cantidad de agua de la necesaria, ya que de lo contrario romperíamos el equilibrio entre los volúmenes de gases generados, provocando un fuerte incremento de la cantidad de vapor de agua el cual a una temperatura superior a los 100° C ocuparía la mayor parte del volumen del recinto, provocando quemaduras mucho más graves que las que el propio incendio generaría por efecto del calor radiante. También se anularía el efecto deseado de enfriamiento y aumento de visibilidad buscado como consecuencia de la contracción de los gases de combustión.



### 6.5.4. PINTAR PAREDES

Este es otro de los puntos de discusión frecuentes como consecuencia de aplicar el método Sueco en territorio nacional. Hay mucha gente que insiste en que este paso no es necesario, o tal vez resulte excesiva su aplicación en nuestro particular tipo de construcciones. Pero lo cierto es que, como en todas las cosas, lo que realmente resulta interesante del conocimiento de otros es el fondo mismo de ese conocimiento. La idea



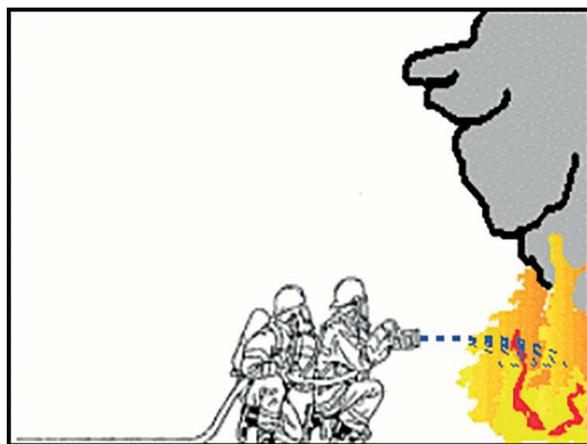
primaria con esta acción en Suecia, es la de no dejar tras los bomberos que avanzan entre los gases de incendio y los materiales que se encuentra pirolizando concentraciones de gases de incendio que en un momento dado puedan volver a entrar en ignición y dejarlos de esta forma entre dos focos de incendio, el que están intentando localizar y el que puede llegar a prender tras ellos.

Esta acción se aplica en la medida en que se avanza por el recinto incendiado, si combinamos el ataque a los gases de combustión y la acción de colgar agua sobre las superficies calientes que vamos dejando atrás, finalmente conseguiremos cortar el avance de propagación del incendio de tal forma que sólo quedará activo el foco primario del incendio y aquellos lugares donde se quitó la energía necesaria, los materiales que todavía siguen destilando vapores inflamables por el proceso de pirolisis como consecuencia de la inercia térmica que todavía sigue acompañando al proceso.

En este punto se procede a "pintar paredes", aunque de hecho la acción ya se ha venido realizando durante el proceso de avance mientras colgamos de vez en cuando agua sobre las posibles superficies calientes. La acción final, consiste en aplicar un caudal muy pequeño de agua en las superficies calientes (como si se estuviese pintando) de tal forma que el proceso de pirolisis se interrumpa definitivamente.

#### Procedimiento

Aplicar agua a chorro pleno, es decir, con el cono al mínimo. Utilizar un caudal de agua pequeño, dependiendo de la penetración que se requiera para cada tipo de material involucrado. Dirigir el agua hacia las zonas altas de tal manera que esta se descuelgue hacia abajo.



#### Efecto

Evitamos la pirólisis de los materiales en combustión detrás del recorrido de acceso hacia el foco/s del incendio y en la misma habitación donde se ha producido el incendio. De esta forma evitamos la posibilidad de que una vez controlados los gases calientes o las llamas se produzcan acumulaciones de gases por pirólisis, que nos puedan generar una inflamación posterior.

### 6.5.5. ATAQUE DIRECTO

Una vez detenido el proceso de pirolisis y por consiguiente de acumulación de gases, se procede a finalizar la extinción mediante el "ataque directo" al foco primario del incendio, para lo cual no es necesario actuar con un caudal excesivo, sino con el mínimo necesario para conseguir enfriar y cortar de forma definitiva el proceso del incendio.

Si se sigue la secuencia que se acaba de definir, se está garantizando que la intervención de la unidad sea segura, bajo el punto de vista de evitar que el incendio pueda superar su capacidad de ataque y en caso contrario de disponer de la suficiente cantidad de agua para su protección.

#### RESUMEN / Normas Generales en Incendios

Cuando los bomberos se encuentran en el interior de un compartimento deben considerar siempre las tres opciones siguientes:

Mantener la posición	Proteger su posición utilizando el enfriamiento de gases.
Desplazarse hacia adelante	Atacar los gases de incendio utilizando el enfriamiento de gases con pulsaciones cortas o largas o con barridos.
Retirarse	Si las condiciones se complican, retroceder protegiéndose a sí mismos utilizando enfriamiento de gases y atacar desde la puerta de acceso o utilizar mangueras de mayor diámetro.

Los bomberos deben intentar utilizar la mínima cantidad de agua y de la forma más efectiva posible, asegurándose de que el plano neutro se mantenga tan elevado como sea posible, aunque enfriando y diluyendo la mayor cantidad posible de gases de incendio en la zona de sobrepresión.

#### Procedimiento de acceso

Utilizar la protección de puertas y paredes, permaneciendo siempre agachados. Recordar que las paredes son más resistentes que las puertas y darán una mayor protección antes de entrar, por tanto cuando sea posible utilizar las paredes como protección antes que las puertas.

#### Procedimiento de entrada y apertura

Una vez evaluada la situación del incendio se debe plantear el acceso al interior del recinto. En este sentido hay una serie de consideraciones que deben ser tenidas en cuenta y que se enumeran a continuación:

- Antes de que los bomberos atraviesen la entrada del compartimento deben asegurar que se ha efectuado una buena evaluación de las condiciones externas, observando los signos y síntomas de flashover y backdraught.
- Evaluar de qué forma abre la puerta y asegurarse de que los bomberos se encuentran en el lado seguro en el caso de que se produzca una deflagración súbita, de manera que el desplazamiento de la puerta no les produzca lesiones.
- Utilizando la lanza con un ajuste para agua pulverizada con chorro cerrado, proyectar una pequeña cantidad de agua en el hueco entre la apertura de la puerta y el marco. Si hay un compartimento adyacente, pasillo o corredor, esta acción evitará que los gases de incendio calientes se inflamen cuando se pongan en contacto con el aire fresco.

- Una vez abierta la puerta, asegurarse de que tienen el control de la puerta en todo momento, los bomberos deben hacer una rápida evaluación del interior del compartimento, observando las condiciones, disposición de la habitación y cualquier víctima en las proximidades. Si los bomberos se encuentran disponibles para entrar, entonces bien con pulsaciones largas o cortas dependiendo de la situación que se les presente, deben dirigirse hacia el interior del compartimento, intentando que a través de la puerta se introduzca la menor cantidad posible de aire.
- Esta acción debe repetirse tantas veces como sea necesario hasta que pueda efectuarse la entrada en el compartimento.
- Al entrar en el compartimento, los bomberos deben estar pendientes de la evolución los gases de incendio en todo momento mientras se alejan del umbral de la puerta. Debe hacerse un control de la temperatura mediante "pulsaciones cortas" dirigidas sobre sus cabezas para verificar la temperatura de los gases calientes.
- Debe seguirse inmediatamente proyectando agua mediante más pulsaciones en la zona de sobrepresión utilizando pulsaciones cortas o largas en la medida que las condiciones lo requieran.
- Cada pulsación debe dirigirse a diferentes posiciones dentro de la zona de sobrepresión, de manera que se abarque todo el volumen de gases, así se obtendrá el máximo efecto de enfriamiento de los gases de incendio utilizando la cantidad de agua adecuada.
- El bombero que maneja la lanza debe encontrar un fino equilibrio aplicando la cantidad de agua nebulizada adecuada en la zona de sobrepresión evitando excederse en la cantidad. Esto solo puede obtenerse analizando y observando cada situación en la que se vea envuelto. Un punto de control es cuando sobre el bombero se percibe la sensación característica del vapor de agua sobrecalentado. Este es el momento de parar la acción hasta que las condiciones vuelven a ser las idóneas para seguir con la acción y avanzar.
- Este procedimiento debe repetirse permitiendo de esta manera el avance de los bomberos hacia el interior del compartimento.
- Si existe una zona clara de visibilidad bajo el plano neutro cerca del suelo, esta debe mantenerse aplicando pulsaciones sobre los gases de incendio calientes y al mismo tiempo evitando el contacto del agua, por ejemplo, con superficies calientes las cuales producirán vapor.
- Esta zona puede entonces utilizarse para la localización del fuego y de cualquier víctima que se puedan encontrar en el interior del compartimento.
- De intentarse mantener el "equilibrio térmico", de esta manera enfriando y diluyendo los gases del incendio en la zona de sobre-presión, el compartimento se tornará notablemente refrigerado y se reducirá considerablemente la posibilidad de ignición de los gases de incendio.

En los servicios contra incendios de Suecia, prefieren cerrar parcialmente la puerta del compartimento tras su entrada en el recinto (ellos denominan esta operación "anti-ventilación"). El motivo de tal acción es el de mantener el "control del aire", haciendo disminuir la cantidad de éste que alimenta el incendio. La dotación de bomberos evaluará constantemente las condiciones en el interior del compartimento y tendrá en cuenta cualquier efecto que el tamaño de abertura tenga sobre el desarrollo del incendio. Esta abertura se puede aumentar o disminuir en cualquier etapa de las operaciones de extinción para inducir condiciones tales como:

- La altura de la interfase de la capa de humo.
- La cantidad de calor radiante procedente del techo.

- La intensidad del fuego.
- La dirección de la pluma de incendio a nivel del techo.
- La temperatura en el interior del compartimento.

### Control de temperatura

Los bomberos deben mantener un control constante de la temperatura tras su entrada en el compartimento.

Para ello, se dirige una pulsación corta directamente sobre la cabeza de los bomberos en la zona de presión positiva, observando y escuchando cualquier signo del agua, en especial si ésta vuelve a caer sobre ellos, esto indicará si el área inmediatamente sobre ellos está lo suficientemente fría como para seguir avanzando hacia el interior del compartimento.

### Desplazamiento entre compartimentos

Cuando los bomberos entran en un edificio y se desplazan entre compartimentos, deben asegurar su internamiento en el mismo, de manera que no queden tras los compartimentos que se atraviesan cantidades significativas de gases de incendio que puedan en un momento determinado volver a inflamarse dejándolos en una situación comprometida e impidiendo su posible retroceso a través de la vía de escape.

Esto se puede conseguir mediante:

1. Enfriando y diluyendo (manteniendo así los gases fuera de su rango de auto ignición)
2. Ventilando los gases de incendio al exterior.

### Observación de los gases de incendio

Cuando los bomberos se encuentran en el interior de un compartimento deben mantener un control constante de sus alrededores, particularmente de los gases de incendio a nivel del techo:

El jefe de equipo verificará la parte superior y la frontal. Los otros miembros del equipo verificarán la parte superior y la trasera.

Resulta de vital importancia aplicar en este punto todo lo aprendido en el capítulo de desarrollo de incendios. Especialmente la parte dedicada a identificar en función de los parámetros del incendio cuál es su estado y lo más importante su posible evolución.

La comunicación constante entre el equipo es esencial para asegurar un desplazamiento seguro y progresivo a través del compartimento.

### Consideraciones finales

A modo de resumen, a continuación se enumeran las consideraciones generales a tener en cuenta cuando se pretende extinguir un incendio en el interior de un recinto:

- Observar el edificio teniendo en cuenta tamaño, tipo de construcción y posibles contenidos.
- Buscar posibles signos y síntomas de Flashover o Backdraught.
- Controlar los ajustes de la instalación.

- Considerar diámetros de mangas más grandes si se considera necesario.
- Disponer de una línea de seguridad que proporcione un caudal apropiado
- Utilizar correctamente el procedimiento de entrada tal como se describió anteriormente.
- Nada más entrar en el compartimento efectuar el control de temperatura.
- Asegurar la posición utilizando el enfriamiento de los gases, avanzar cuando se haya asegurado, utilizando las técnicas de enfriamiento de gases apropiadas.
- Observar los gases del incendio a nivel del techo, enfrente, por encima y por detrás en todo momento.
- Asegurar una comunicación constante con todos los miembros del equipo.
- Proceder al avance a través del compartimento aplicando los principios descritos.
- Utilizar la táctica de ataque directo sobre la base del incendio cuando esta se alcance. Enfriar todas las superficies para prevenir que se desprendan gases. Si las condiciones empeoran, entonces los bomberos deben retirarse, observando el fuego conforme se retiran y auto protegiéndose mediante el enfriamiento de gases.
- Cuando se rescaten víctimas, el método de enfriamiento de gases se utiliza para mantener el plano neutro tan alto como sea posible, por consiguiente controlando sus cambios en todo momento para sobrevivir a los gases de incendio y a las quemaduras por vapor.
- Cuando existe más de un compartimento afectado por el incendio, los bomberos deben utilizar los procedimientos descritos anteriormente cuando se desplazan a través de cada uno de ellos. Deben asegurarse de que un compartimento es seguro antes de entrar en el compartimento siguiente, aplicando los principios descritos en los puntos.

Finalmente, debemos decir que el método descrito para la extinción de incendios, no es el único método a aplicar.

En la actualidad las técnicas de ventilación forzada o más comúnmente conocidos como Ventilación con Presión Positiva, se están desarrollando en gran medida, y dado que, como hemos visto, uno de los factores que inciden directamente en el desarrollo del incendio es precisamente la ventilación, esta técnica pasará a ser otra de las opciones de trabajo de que podemos disponer a la hora de atacar un incendio, además la aplicación de esta técnica mediante la adecuada formación del personal, resulta muy eficaz para evitar las situaciones de flashover o backdraught.

En cualquier caso, lo cierto es que para el control de incendios, es necesario haber estado en contacto con las situaciones reales que se producen durante la evolución del incendio así como haber practicado lo suficiente el modo de controlarlos.

No se debe caer en el error común de que creer que la técnica es simple y que con unas cuantas pulsaciones tenemos un incendio bajo control. Esto puede funcionar en el incendio simulado en un contenedor ISO estándar preparado para entrenamiento en ataque ofensivo. Pero los incendios reales superan, en ocasiones, con mucho las cargas térmicas de los simuladores y lógicamente las situaciones de peligro derivadas de estructuras geométricas distintas a un pasillo recto de 2,4 m de ancho x 12,2 m de largo.

## 6.6. ATAQUE EXTERIOR OFENSIVO

También conocido como **ataque transicional o ablandado**, no es en sí mismo un método de extinción. Se trata más bien de una técnica cuyo **objetivo es, mediante la aplicación de un chorro de agua, reducir la capacidad que el incendio tiene de generar calor, intentado no modificar el flujo de gases**. Por tratarse de una técnica aplicada desde el exterior, la seguridad para el interviniente, es máxima. La correcta utilización de este método, **mejora las condiciones en el interior del recinto afectado, de modo que facilita el posterior acceso para la correcta y definitiva extinción o en su caso para realizar salvamentos**.

### 6.6.1. DESCRIPCIÓN

Se trata de aplicar **un chorro sólido** por una apertura que dé acceso al área de mayor desarrollo del incendio, **con un caudal entre 150 y 300 lpm**. Este chorro, se aplica **a un punto fijo del techo** durante un tiempo determinado (**entre 5" y 30"**). Debemos insistir en se trata de la aplicación de un chorro sólido. Si se aplica en cono, éste puede bloquear la salida de gases provocando que los gases del incendio se desplacen junto con el vapor generado por el interior del recinto buscando otra salida, pudiendo afectar a intervinientes, víctimas o incluso provocar incendios en zonas no afectadas.

Tras la aplicación del chorro al techo, debe dejarse un tiempo para que se reestablezcan los flujos. La siguiente aplicación se hará, si es posible, en un punto distinto.

La aplicación correcta de la técnica supone una reducción de la potencia del incendio principalmente por tres motivos:

- **Enfría los gases calientes**
- **La parte del agua que se evapora diluye los gases**
- **Enfría las superficies calientes o incendiadas alcanzadas por el agua deteniendo o ralentizando la pirolisis**

Esta técnica tiene como principales **ventajas**:

- **Se puede aplicar desde el primer momento**, sin necesidad de grandes recursos
- **Mejora las condiciones del interior**, facilitando el acceso de los intervinientes
- **Mejora la probabilidad de supervivencia** de las víctimas
- **Puede reducir el tiempo de control y extinción**

Entre los **inconvenientes** de esta técnica, debemos citar los siguientes:

- **Una incorrecta aplicación puede bloquear la salida de los gases**, modificando su flujo y pudiendo causar daños en zonas no deseadas o no afectadas
- **Posibles lesiones por quemaduras debido a una generación excesiva de vapor de agua**
- **Posible empeoramiento de las condiciones de visibilidad** por descenso del plano neutro

# 7. VENTILACIÓN

## 7.1. INTRODUCCIÓN

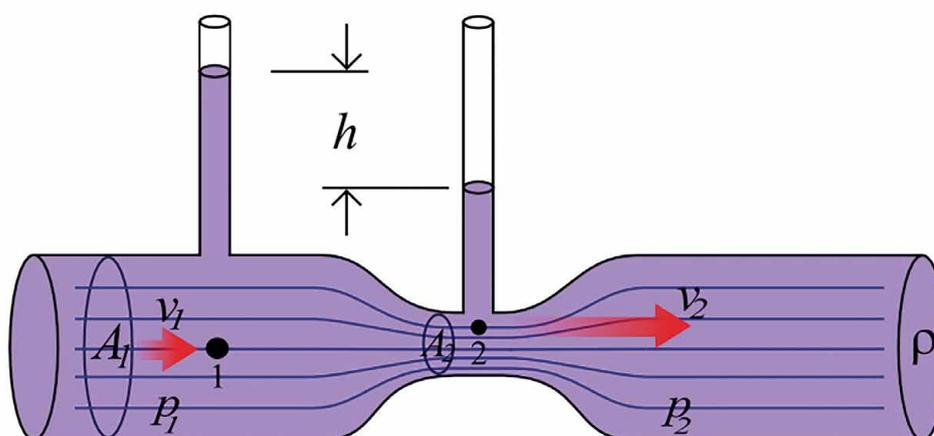
En este tema dedicado a la extinción de incendios, no podríamos pasar por alto un tema tan importante como es el de la ventilación.

Mediante el control de la ventilación de un incendio que se desarrolla en un recinto cerrado podemos conseguir diferentes efectos sobre éste. Si practicamos una ventilación natural, estaremos facilitando el tiro natural del incendio y por tanto favoreciendo el aporte de aire con lo que ello implica. Otra práctica que podemos aplicar es la ventilación forzada por la acción de ventiladores, evidentemente mediante este sistema también estamos favoreciendo el tiro del incendio, ya que deberemos utilizar este sistema teniendo en cuenta el sentido del tiro natural, sin embargo, en este caso la velocidad y sobrepresión que se generan sobre el incendio puede permitir la evacuación masiva de la mayor parte de los gases de combustión y del calor liberado por el incendio permitiendo de esta forma un aumento considerable de visibilidad en el recinto incendiado y un mejor ambiente de trabajo para las dotaciones de intervención.

Aunque no se pretende efectuar un tema específico sobre el uso de la ventilación, ya que sobre este tema se puede encontrar diversa literatura incluso en los manuales de los fabricantes de los propios ventiladores, en este apartado vamos a intentar sintetizar las cuestiones más prácticas acerca de los métodos a aplicar con ventilación.

## 7.2. PRINCIPIO DE LA VENTILACIÓN

El principio de la ventilación de incendios se basa en una característica en el comportamiento de los fluidos (entendamos que los fluidos pueden ser líquidos o gases, tan sólo los diferencia en su comportamiento su diferente densidad) denominada como efecto Venturi. El "efecto Venturi" tiene lugar cuando un fluido que se desplace dentro de un conducto cerrado pasa de una sección mayor a una menor.



Efecto Venturi.

Cuando esto ocurre, se produce un aumento en la velocidad del fluido, lo que da lugar a una disminución de su presión. Si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se producirá una aspiración del fluido contenido en este último. Este efecto, demostrado en 1797, recibe su nombre del físico italiano Giovanni Battista Venturi.

Este efecto se explica mediante el teorema de Bernoulli, el cual entre otras cuestiones establece que la energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

1. Energía cinética: que es la energía debida a la velocidad que posee el fluido.
2. Energía potencial gravitacional: que es la energía debida a la altura alcanzada por el fluido.
3. Energía de flujo: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho gh = \text{constante}$$

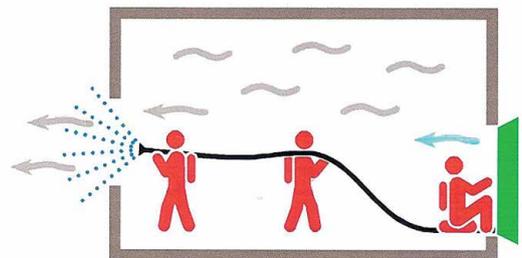
La siguiente ecuación conocida como "Ecuación de Bernoulli" (Trinomio de Bernoulli) recoge e

- $V$  = Velocidad del fluido en la sección considerada.
- $g$  = Aceleración de la gravedad
- $h$  = Altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.
- $P$  = Presión a lo largo de la línea de corriente.
- $\rho$  = Densidad del fluido.

Si observamos la ecuación anterior, vemos que si provocamos el aumento de la velocidad haciendo disminuir la sección (tener en cuenta que este valor después se eleva al cuadrado), para mantener el valor constante del sumatorio, necesariamente la presión debe disminuir ya que no podemos hacer cambiar los valores de la densidad, ni de la gravedad ni de la altura. En consecuencia, esta disminución de presión en ese punto se traduce en un efecto de succión.

Si trasladamos este principio a la actuación en incendios, podemos hacer que todos los gases contenidos en una habitación, por ejemplo tras la extinción del incendio, los podamos sacar al exterior si conseguimos crear esta caída de presión o succión.

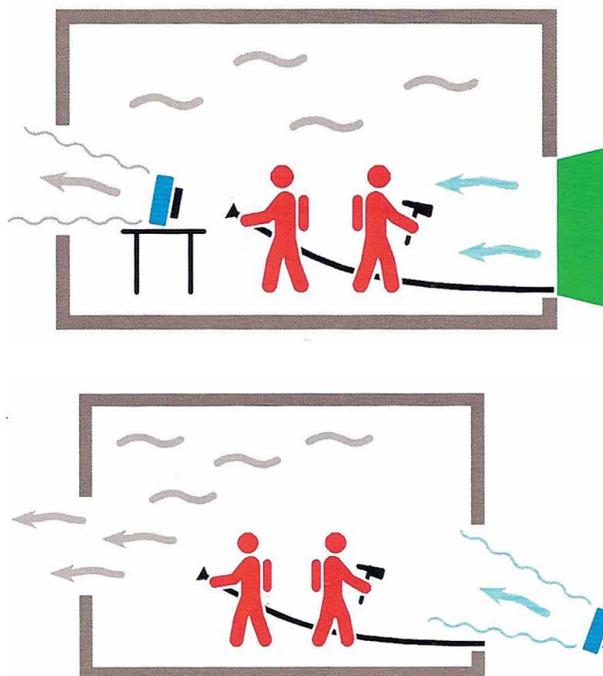
La forma de conseguirlo, sería haciendo que un flujo de agua que arranca en el interior del recinto (conducto más ancho) salga al exterior por una sección de la ventana (conducto más pequeño), de esta forma al aumentar la velocidad del fluido y disminuir la sección conseguiremos que el flujo de gases del interior se vea arrastrado al exterior. Para obtener este efecto, se debe adelantar o atrasar la posición de la salida de la lanza, de tal forma que el flujo del agua que sale a través de la ventana alcance su máximo efecto.



Si en lugar de utilizar agua como fluido quisiéramos utilizar el propio aire, se podría utilizar un ventilador para provocar el mismo efecto, aunque esto, además de poco práctico (habría que subir el ventilador hasta la habitación y colocarlo frente a la ventana) sería difícil de ejecutar si el motor es de explosión debido a la falta de oxígeno en la mezcla de aire y a los problemas que genera posteriormente con el mantenimiento de los filtros.

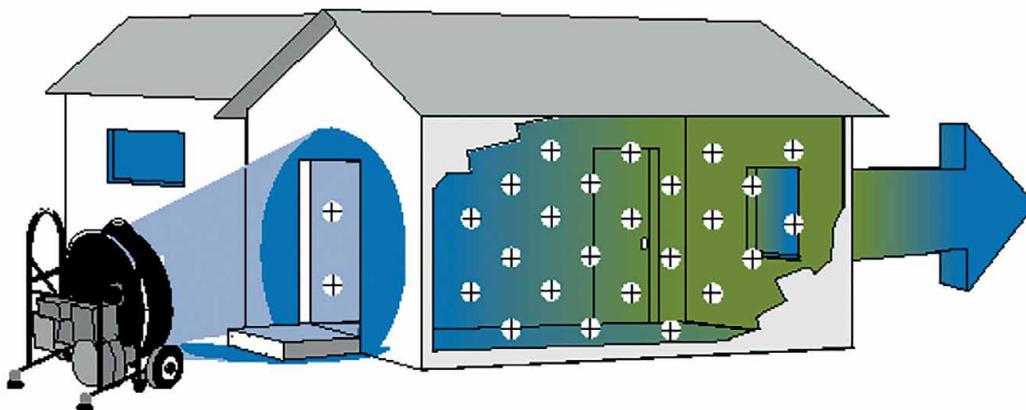
Dado que el uso de un ventilador en estas circunstancias es poco práctico, se puede probar a aplicar otro principio, el de sobre-presionar el recinto.

La forma de conseguirlo, es colocar un ventilador que introduzca un flujo de aire en el interior de recinto, con lo que generará una sobre-presión que hará que los gases contenidos en el interior del recinto se vean proyectados al exterior.



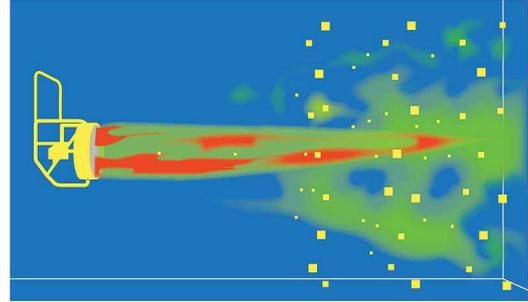
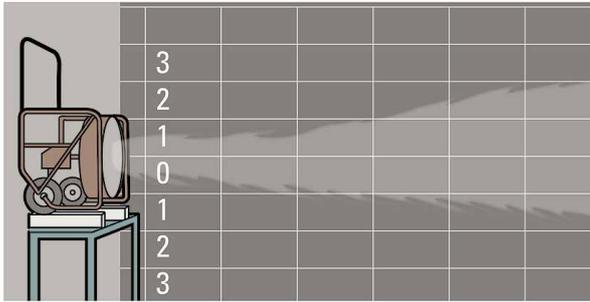
### 7.3. APLICACIÓN DE LA VENTILACIÓN FORZADA O PRESIÓN POSITIVA

La ventilación con presión positiva (VPP) consiste en una técnica utilizada por los servicios contra incendios para sacar el humo, el calor y los productos de la combustión del interior de una estructura. Esto permite a las dotaciones de intervención trabajar en un ambiente mucho más soportable. En general, los ventiladores de presión positiva se colocan entre 1,82 m a 3 m de la entrada de la puerta de acceso a un edificio. Su posicionamiento debe ser de forma tal que el "cono de aire" que genera el ventilador cubra la totalidad del hueco de la abertura delante de la que se posiciona. En la medida en que el flujo de aire generado por el ventilador atraviesa la puerta, la presión del aire en el interior del recinto aumenta. La práctica de una abertura de escape en la estructura, como puede ser abrir una ventana o practicar una abertura en el techo, permite la salida del aire debido a la diferencia de presión del aire entre el interior y el exterior. De esta manera, el calor y los productos de la combustión son expulsados del interior del recinto y reemplazados por aire limpio.



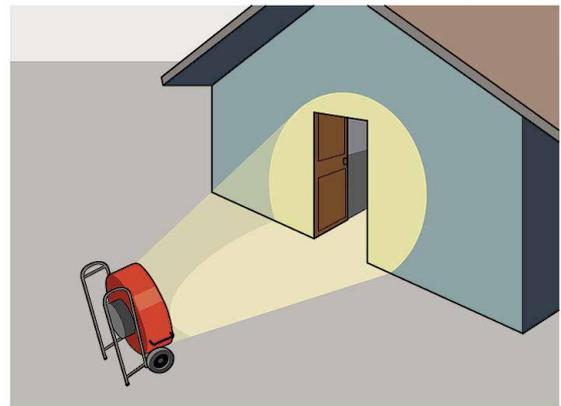
Fuente. NIST TIR 7412 - Evaluating Positive Pressure Ventilation In Large Structures: High-Rise Pressure Experiments.

En las figuras siguientes, se muestra cómo actúa el cono de aire generado por un ventilador de presión positiva.



Como podemos ver, este método no constituye por sí mismo una técnica de extinción, ya que debe combinarse con la aplicación de agua o cualquier otro agente extintor, este procedimiento que surgió a principio de los años ochenta en EEUU cuenta casi con tantos adeptos como detractores.

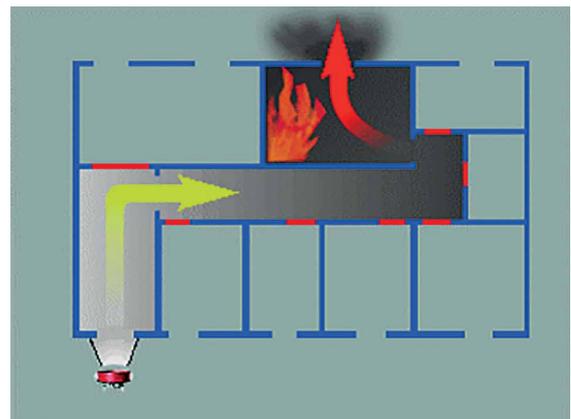
Básicamente, la técnica de ataque mediante ventilación con presión positiva consiste en la utilización de un ventilador colocado fuera de la estructura afectada, que fuerza la entrada de aire fresco dentro del recinto, creando una presión positiva (sobrepresión) que tiende a repartirse por igual en toda la estructura.



Emplazamiento de un ventilador de presión positiva.

Cuando se practica un punto de salida (puerta, ventana... etc.) los contaminantes de todas las zonas de la estructura son forzados a ir hacia aquel punto.

En los casos de compartimentos como el que se muestra en la figura, lo ideal es dirigir los gases calientes de la combustión y el calor hacia la abertura practicada intentando siempre mantener las mínimas pérdidas de presión y siguiendo el tiro natural del incendio. Esto se consigue cerrando puertas a través de pasillos de manera que el flujo de aire no se pierda a lo largo de toda la estructura. Lo que se debe pretender es dirigir el flujo de aire secuencialmente a nuestra conveniencia.

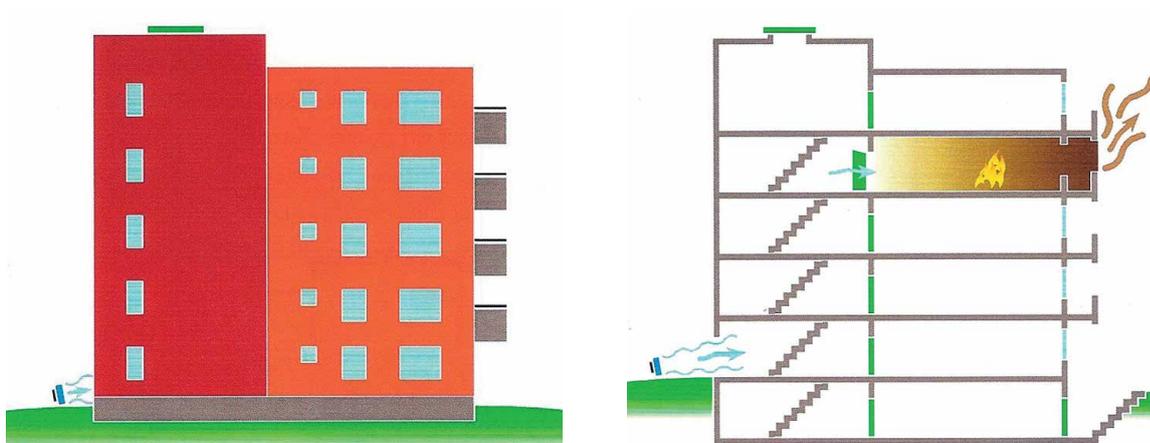


Arrastre de los gases de incendio por VPP.

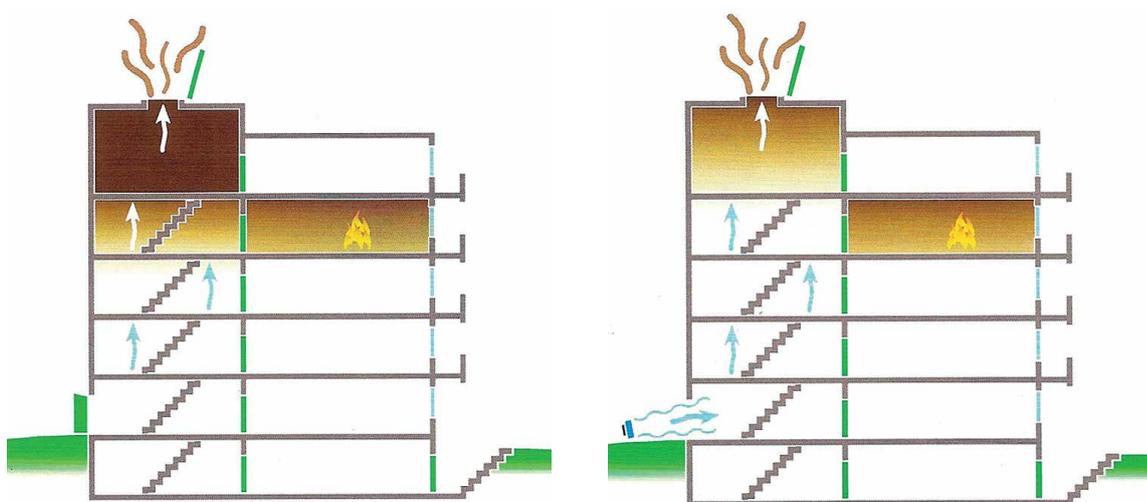
Para entender lo que tratamos de decir, podemos poner como ejemplo el caso de efectuar una instalación de mangueras desde la bomba del camión. En este caso la bomba sería nuestro ventilador, si conectamos a una salida de 70 y de aquí empezamos a colocar 2 bifurcaciones a 45mm y de cada una de estas a 2 bifurcaciones más a 25 mm, a mayor número de mangueras conectadas mayores serán las pérdidas de carga en la línea y el caudal de salida en cada una de ellas disminuirá. Por el contrario, si de nuestra manguera de 70 mm tan sólo sacamos dos líneas de 45 mm las pérdidas serán mínimas y aprovecharemos la ventaja de trabajar con este diámetro si lo que queremos es un buen caudal.

Cuando se ventila el efecto es el mismo, tener muchas aberturas abiertas en la estructura significa que tenemos una gran cantidad de mangueras conectadas a la misma línea y por tanto perdemos el caudal y la presión que nos genera el ventilador. Sin embargo, si todo el aire se canaliza por una misma sección de tal manera que sólo se dispone una entrada y una salida, el efecto es el mismo que si conectamos a la bomba una manguera de 70 y de aquí lanzamos directamente o ponemos una reducción si lo que queremos es acabar en 45mm (a nuestros efectos, si la abertura de salida es menor que la de entrada la velocidad con la que los gases salen será mayor y viceversa).

Otro caso particular donde el uso de la ventilación nos puede ayudar es en edificios de viviendas. En este caso los principios a aplicar son los mismos, dependiendo del efecto que se quiera obtener. Si lo que queremos es evacuar al exterior todos los gases del incendio, llamas y calor, tal como se muestra en las siguientes figuras, procedemos a colocar el ventilador en el acceso al edificio y manteniendo todo el resto cerrado se ventila sólo la vivienda afectada.



Si lo que buscamos es limpiar el hueco de escalera, para tareas de evacuación por ejemplo, se cierra el compartimento incendiado y se extrae el humo acumulado.

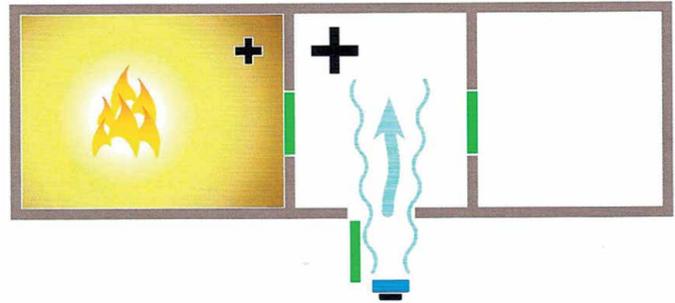


*Extracción del humo del hueco de escalera.*

*Extracción del humo del hueco de escalera.*

Esta técnica también se puede utilizar una vez extinguido el incendio, para limpiar de humo todo el hueco de escalera e incluso las viviendas afectadas. Para ello, se debe comenzar cerrando todo el hueco de escalera y viviendas del edificio y empezar a ventilar desde la planta inferior a las superiores apoyándose en las ventanas de los patios de luces para extraer por ahí los humos. Concluida una planta, esta se cierra (las ventanas y puertas de las viviendas) y se prosigue con la superior, así sucesivamente hasta haber limpiado todo el edificio.

Sin embargo, la aplicación de la ventilación no sólo encuentra aplicaciones en el terreno de la evacuación de gases del interior de los recintos incendiados o de evacuación rápida de humos, también se puede utilizar para evitar que los gases del incendio alcancen recintos donde todavía no se ha propagado el incendio y proteger así estos espacios y posibles vías de evacuación.



En general, el uso de la ventilación con presión positiva ofrece una serie de ventajas:

- Se reducen los niveles de gases de incendio de manera drástica, evitando así posibles episodios de Backdraft o de explosiones de gases de incendio
- Facilita los posibles rescates de víctimas y/o su evacuación
- Se reduce notablemente la exposición térmica del personal de intervención
- Utilizado en la fase post-incendio se eliminan mucho más rápidamente los gases remanentes de la combustión que mediante cualquier otra técnica convencional, facilitando la inspección final del local siniestrado.

## 7.4. TENDENCIAS EN EL USO DE LA VENTILACIÓN CON PRESIÓN POSITIVA

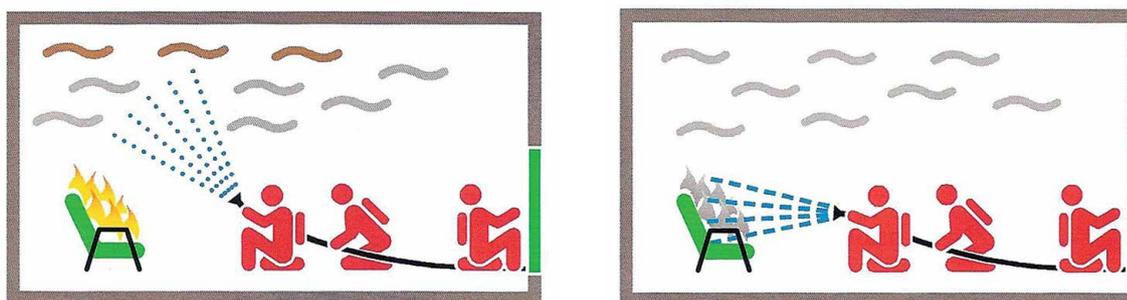
Como se ha mencionado al principio de este apartado, la ventilación con presión positiva en incendios tiene tanto detractores como adeptos. En cualquier caso la ventilación bien sea natural o forzada constituye uno de los factores más importantes a la hora de introducir nuestras dotaciones en un recinto incendiado para su control y extinción.



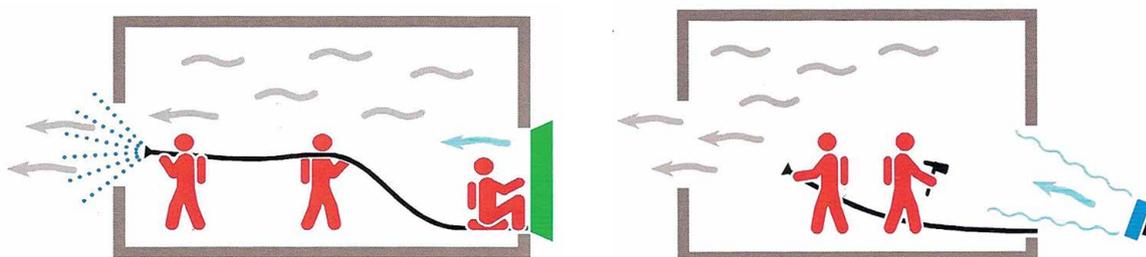
En este sentido, las diferentes formas de aplicar la ventilación han evolucionado según dos criterios o tendencias claramente marcadas. La primera de ellas consiste en la aplicación de la ventilación cuando ya la extinción del incendio ha concluido, mientras que la otra tendencia es la de aplicar la ventilación desde el primer momento incluso antes de comenzar a extinguir, esta última tendencia está muy arraigada en EEUU.

En el primero de los casos, el procedimiento sería similar al explicado en el método de ataque ofensivo, es decir, se comienza asegurando la entrada y efectuando un control de temperatura.

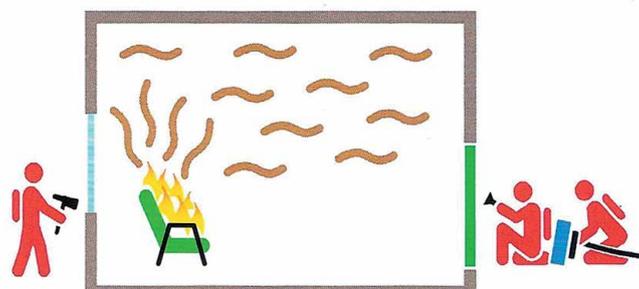
A continuación seguimos con el enfriamiento de gases del incendio, para acabar con el ataque directo al foco/s del incendio.



Una vez finalizadas estas acciones se procede a ventilar por venturi, o con el ventilador de presión positiva.

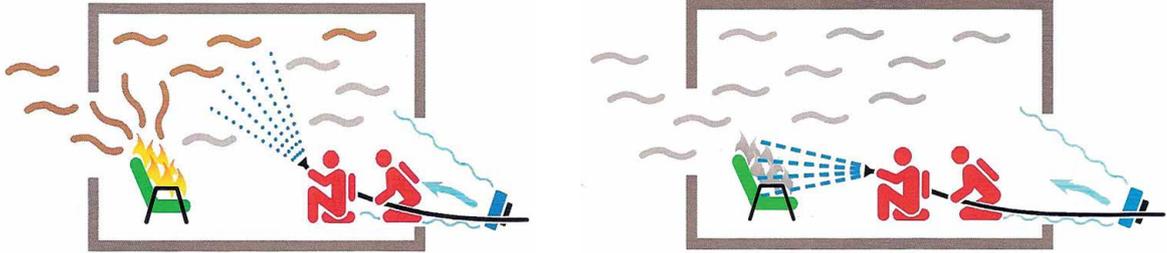


En el segundo de los casos, es decir, utilizando la ventilación con presión positiva desde el inicio del ataque al incendio, lo primero que se debe tener en cuenta es cual va a ser la dirección del flujo que se va a establecer para el incendio, es decir, hacia donde vamos a dirigir los gases de la combustión y las llamas. En general, con el fin de obtener los mejores rendimientos, se debe aprovechar el tiro natural y a ser posible se debe practicar la



abertura de salida lo más cercana posible al foco de ignición. Sin embargo, se corre el riesgo de que al practicar la abertura por donde saldrán los gases de combustión y las llamas el incendio se pueda propagar a otras estancias o partes de edificio. Debe tenerse en cuenta que esta acción, en ocasiones, puede no ser posible llevarla a término en estas condiciones.

Una vez practicada la abertura procedemos a introducirnos en el recinto y actuar contra los gases del incendio mediante enfriamiento y posteriormente a la extinción directa del foco/s del incendio.



## 7.5. LECCIONES APRENDIDAS

De la lectura de este apartado dedicado al uso de la ventilación como herramienta de apoyo en la extinción de incendios, se pueden efectuar varias interpretaciones, sin embargo, la polémica entorno a este tema se centra en utilizar o no la ventilación en la fase de ataque al incendio. Algunas de las cuestiones más habituales que suelen surgir ante estos planteamientos son del tipo siguiente: ¿Cuándo se debe aplicar la ventilación con presión positiva? y quizás lo más importante ¿Cuándo no debe utilizarse?, ¿Cuál es el mejor lugar para emplazar el ventilador y donde se debe practicar la abertura para la salida de los gases?, ¿El uso de los ventiladores facilitará el aporte de oxígeno necesario para que el incendio se desarrolle con mayor rapidez?, ¿Cuáles pueden ser las consecuencias para los bomberos o los ocupantes del edificio si se encuentran en una posición entre el incendio y la abertura de salida de los gases?, ¿Existe algún tipo de construcción donde la ventilación con presión positiva no se pueda utilizar?. Estas son las dudas o más bien las preguntas que se han desarrollado en el seno de los servicios contra incendios desde la aparición de la ventilación con presión positiva como herramienta complementaria a la extinción y su posterior uso.

Este tipo de preguntas, no pueden tener una respuesta basada única y exclusivamente en las apreciaciones personales de quienes utilizan o detraen la utilización de este sistema. En realidad se deberían establecer una serie de ensayos donde se reprodujesen las situaciones de incendio y de una forma objetiva se midiesen los resultados mediante la instrumentación adecuada. Esto nos permitiría establecer nuestros propios criterios de una forma más objetivable.

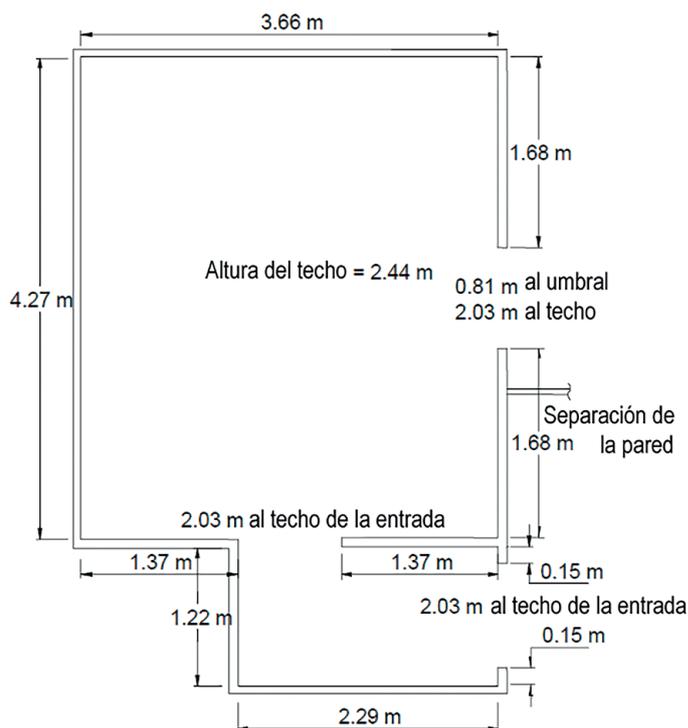
Afortunadamente, disponemos de estos ensayos. Entre los años 2005 a 2007 el National Institute of Standards and Technology (NIST) de EEUU ha desarrollado una serie de ensayos destinados precisamente a facilitar datos acerca de las cuestiones planteadas anteriormente. La descripción de los ensayos y los resultados obtenidos son muy amplios, pero podemos sintetizarlos en **dos grandes estudios**: los efectos de la ventilación con presión positiva en una habitación incendiada y la evaluación de la ventilación con presión positiva en edificios de altura.

### 7.5.1 EFECTOS DE LA VENTILACIÓN CON PRESIÓN POSITIVA EN UNA HABITACIÓN INCENDIADA

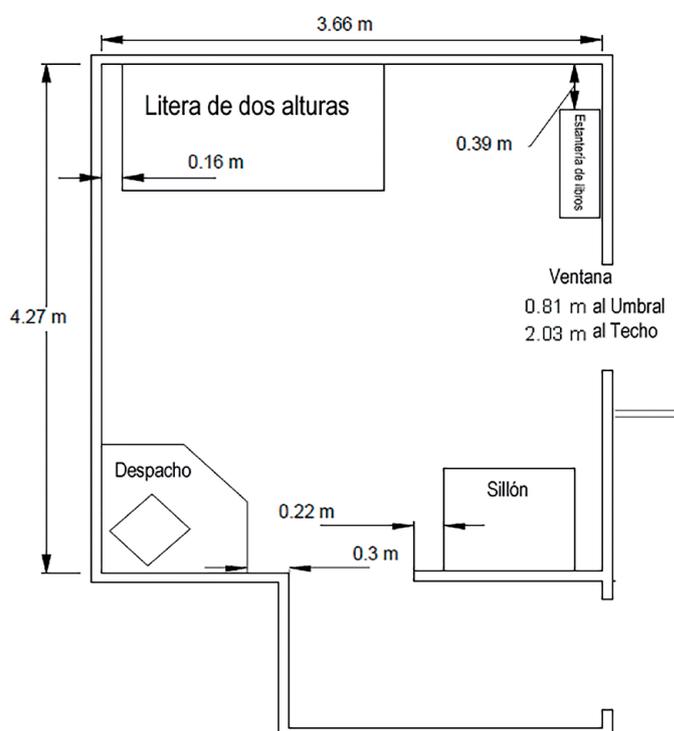
En este caso, el ensayo realizado **se lleva a cabo dos veces**. En la primera ocasión se procede a provocar el incendio y dejarlo evolucionar con ventilación natural, en la segunda prueba se hace exactamente lo mismo pero se aplica ventilación con un ventilador de presión positiva. En definitiva se trata de comparar las dos evoluciones.

En este ensayo se utilizó una habitación de unos 18,5 m<sup>2</sup>, tal como se muestra en las siguientes figuras. En la habitación se colocaron un mesa de despacho con un monitor de ordenador, una estantería de libros vacía, un sillón tapizado y una litera de dos alturas con dos camas completas (colchones, sábanas, almohadas y edredones). Los instrumentos utilizados para las mediciones fueron termopares del tipo K para medir las temperaturas, sondas bidireccionales para las velocidades de flujos y cámaras de video ubicadas en diferentes ángulos de la habitación.

El ensayo se desarrolla iniciando el incendio en la cama de la litera inferior. Al inicio del incendio, la ventana permanece cerrada y el único oxígeno que entra en la habitación lo hace por la puerta de acceso del pasillo que se mantiene abierta durante todo el ensayo. El incendio se dejó evolucionar hasta que se alcanzó la condición de flashover y por tanto quedó controlado por ventilación, lo cual se determinó a través de las cámaras de video que monitorizaban la estancia. Tras un breve periodo de tiempo en situación de incendio controlado por ventilación, se abrió la ventana desde el exterior de la habitación para permitir la ventilación del incendio. En ambos ensayos la ventilación se inició 345 seg después de la ignición. En el ensayo con presión positiva el ventilador se puso en marcha a los 5 seg de abrir la ventana y se paró al cabo de 1.380 seg, momento en el que comenzó a extinguirse y se procedió a evaluar la estructura. En el ensayo con ventilación natural, la ventana y la puerta de acceso se mantuvieron abiertas hasta que el combustible de la habitación se consumió por completo.



Planta y distribución de materiales de la habitación de ensayo.

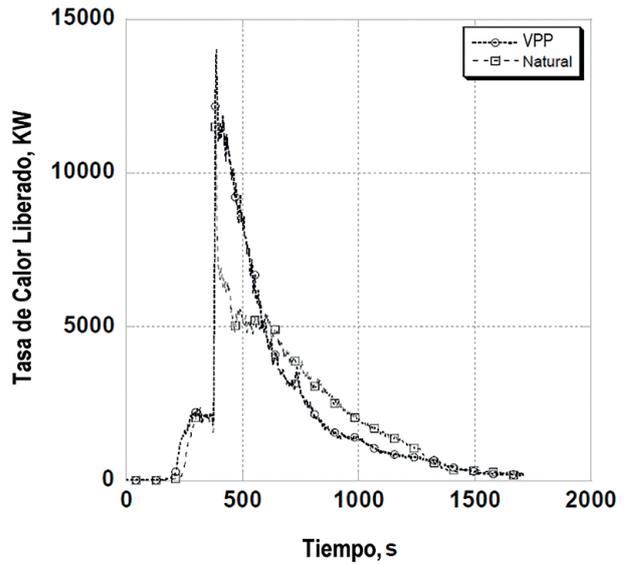


En los ensayos se midieron la tasa de calor liberado, la temperatura de los gases de la habitación, las temperaturas en la puerta de acceso y a la salida de la ventana, la temperatura del pasillo y las velocidades de los gases en la puerta de entrada y en la ventana de salida.

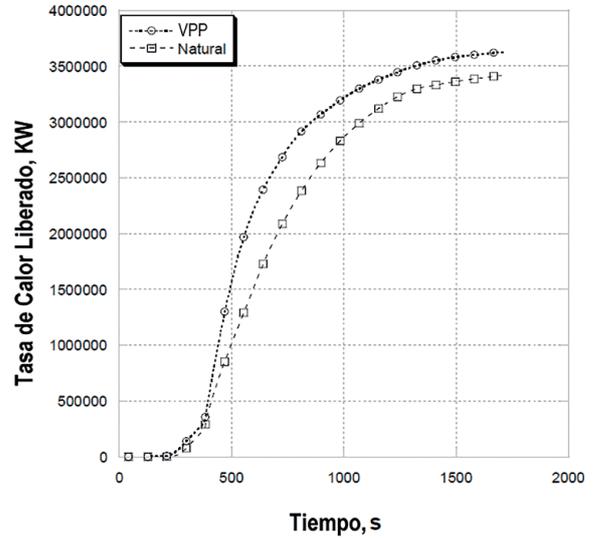
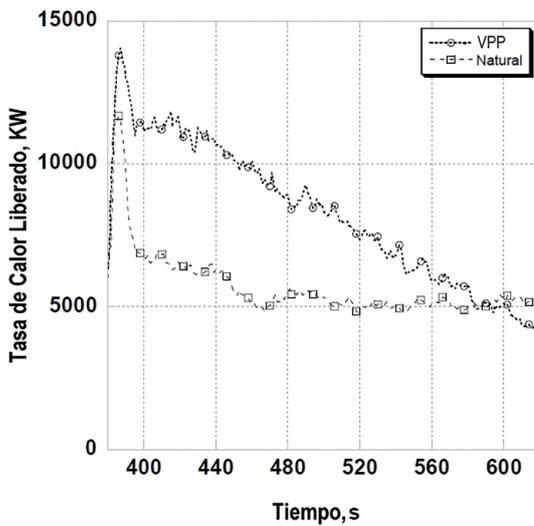
**Resultados obtenidos**

En general, en comparación con la ventilación natural y hablando en términos absolutos, la ventilación con presión positiva generó mayores temperaturas en la habitación incendiada, hizo que aumentase el flujo de gases a través de la ventana y se registraron mayores diferencias de presión para este tipo de recinto amueblado. Después de que se alcanzara el máximo valor de la tasa de calor liberado en ambos ensayos, las temperaturas con VPP se mantuvieron de 200°C a 400°C por debajo de las alcanzadas con ventilación natural durante un espacio de tiempo de 800 seg.

Las temperaturas en la puerta de acceso, en el ensayo con VPP alcanzaron su máximo 200 seg. antes, pero bajaron rápidamente de 200°C a 500°C por debajo de las temperaturas con ventilación natural durante los 900 seg. siguientes al valor máximo alcanzado en el ensayo con VPP. Las temperaturas generadas por los gases a la salida de la ventana durante el ensayo de VPP alcanzaron su máximo valor también 200 seg. antes que en el ensayo con ventilación natural.

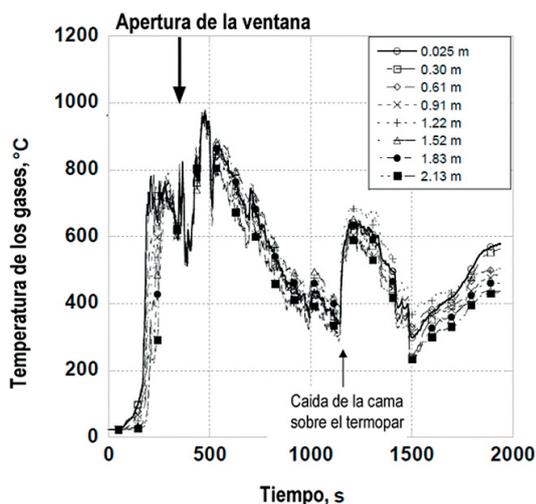


Tasa de calor liberado en el ensayo.

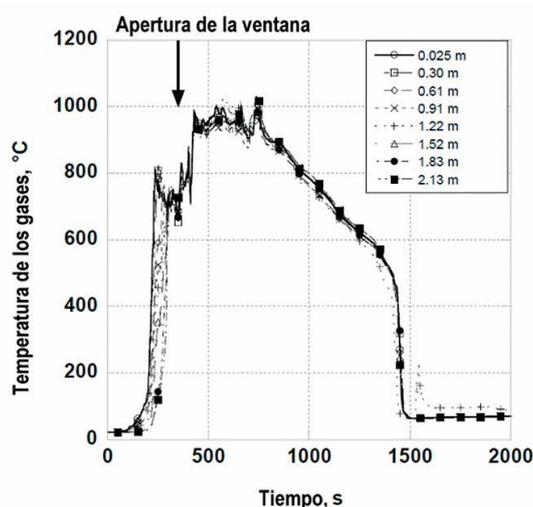


Detalle de la tasa de calor 200 segundos después de alcanzar el valor máximo.

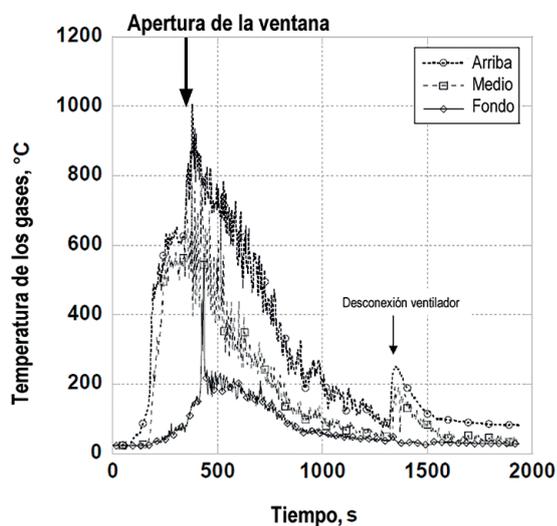
En el ensayo con ventilación natural, la temperatura de los gases a 2/3 del dintel de la ventana fueron superiores a los del ensayo con VPP, sin embargo en el tercio inferior fueron inferiores debido al flujo de aire entrante. Una vez puesto en marcha el ventilador, las temperaturas alcanzadas en el pasillo durante el ensayo con VPP fueron como máximo del orden de 500°C inferiores a las registradas en el ensayo con ventilación natural.



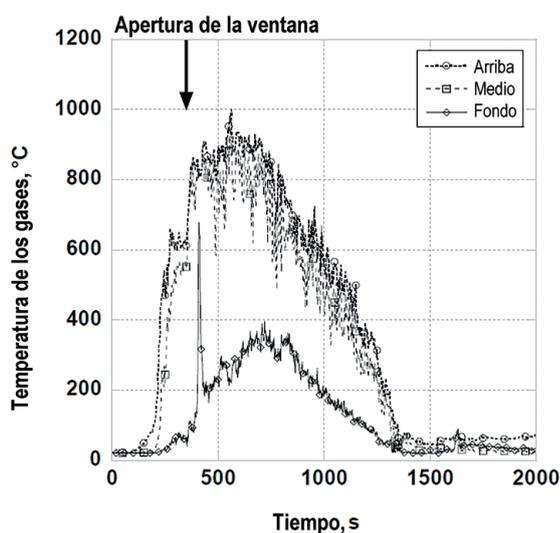
Temperaturas en la habitación. Ensayo VPP. Distancias medidas desde el techo.



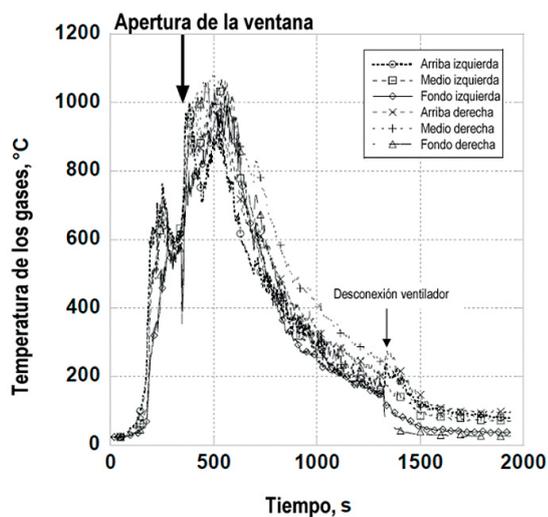
Temperaturas en la habitación. Ensayo VN. Distancias medidas desde el techo.



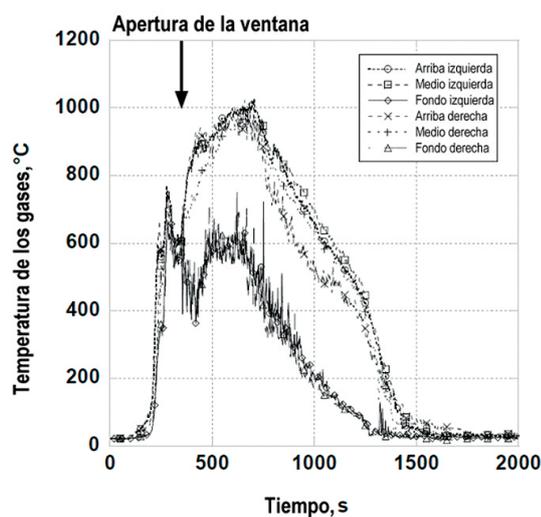
Temperaturas en la puerta de acceso. Ensayo VPP.



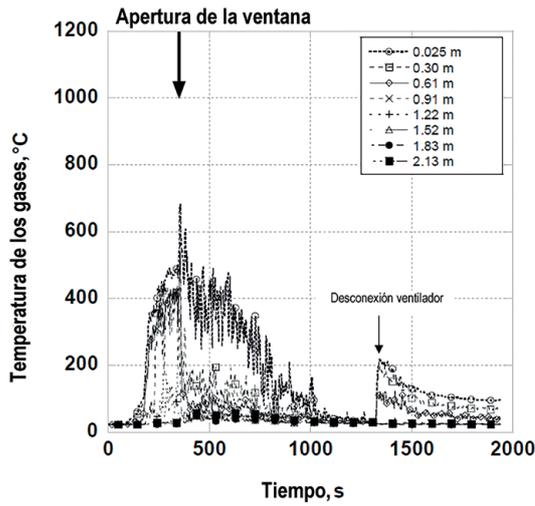
Temperaturas en la puerta de acceso. Ensayo VN.



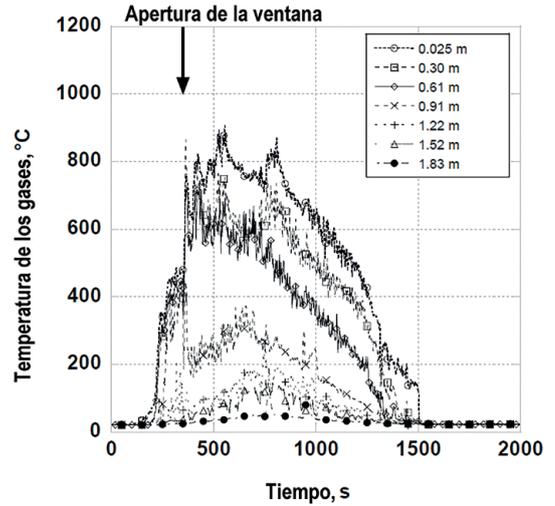
Temperaturas en la salida de la ventana ensayo VPP.



Temperaturas en la salida de la ventana ensayo VN.

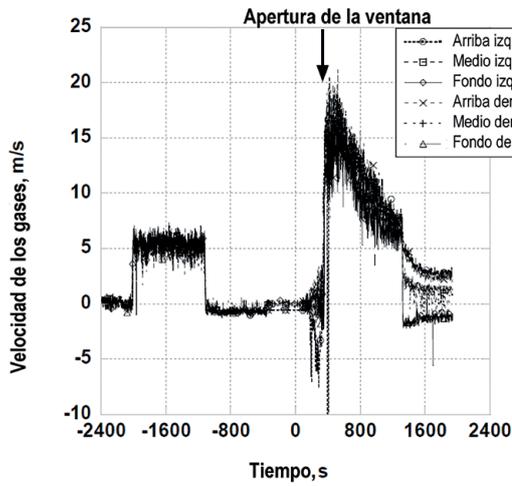


Temperaturas en el pasillo. Ensayo VPP.

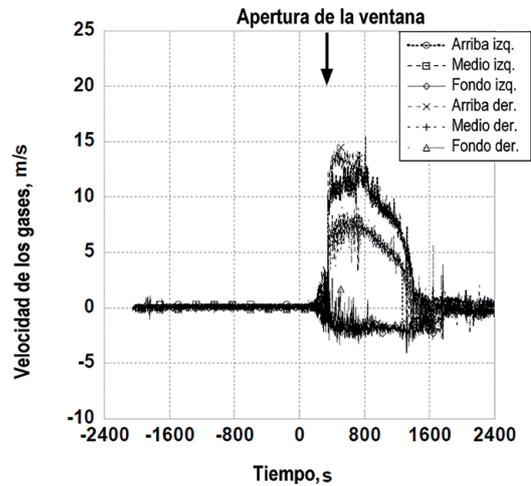


Temperaturas en el pasillo. Ensayo VN.

El ventilador de presión positiva generó una velocidad de salida de gases por la ventana de unos 20 m/s frente a los 12 m/s generados en el ensayo con ventilación natural. El ventilador generó inmediatamente un flujo unidireccional forzado en el exterior de la ventana, pero necesitó un cierto tiempo para establecer un flujo continuo desde la entrada hasta la ventana.



Velocidad de los gases en la salida de la ventana. Ensayo VPP.



Velocidad de los gases en la salida de la ventana. Ensayo VN.

El ventilador fue capaz de crear unas condiciones ambientales soportables en el interior del recinto al poco de ser arrancado invirtiendo el sentido del flujo de gases del pasillo y conduciendolos hacia la ventana. Los bomberos pudieron aproximarse y extinguir el incendio sin problemas.



*Puerta de acceso con ventilación natural.*



*Efecto del VPP sobre los gases de la puerta de acceso.*

La tasa de calor liberado experimentó un incremento por efecto del ventilador en los 200 seg siguientes tras alcanzar su valor máximo. El valor máximo en ambos ensayos se alcanzó prácticamente al mismo tiempo siendo el valor alcanzado en el ensayo con VPP 2 MW superior. El ventilador de presión positiva incrementó en un 60% la velocidad de combustión durante el periodo inicial de ataque al incendio. Esto refuerza la importancia de practicar la abertura de ventilación cerca de donde se encuentra el foco del incendio, para favorecer la evacuación de los productos de la combustión, en otras palabras, aprovechar el tiro natural del incendio. El ensayo con VPP forzó una longitud de las llamas en el exterior de la ventana de al menos 1,83 m frente a los 0,91 registrados en el ensayo con ventilación natural. La longitud a la que se proyectan las llamas a través de las aberturas en el caso de VPP puede suponer un peligro potencial para los materiales que se encuentren en las proximidades.



*Longitud de las llamas en ventana de salida. Ensayo VPP*

Mientras que el uso de la VPP, en esta configuración en concreto, dio lugar al aumento de la velocidad de combustión en la habitación, hizo que las temperaturas disminuyesen, forzando a todos los productos de la combustión a fluir hacia el exterior de la habitación sin que el pasillo se viese afectado y facilitó la visibilidad en la habitación. En estas condiciones de ensayo, un equipo de bomberos probablemente preferiría atacar el incendio apoyados con ventilación de presión positiva antes que con ventilación natural.

Por otra parte, los datos obtenidos con estos ensayos nos confirman que la coordinación entre las unidades de intervención cuando se aplican técnicas de VPP es crucial durante las tareas de extinción. En este ensayo, se simularon las condiciones de coordinación ideales, ya que la abertura se practicó en el lugar adecuado y la ventilación se inició después. Una vez puesto en marcha el ventilador, se necesitaron entre 60 seg y 90 seg para que el incendio alcanzase su máximo valor de velocidad de combustión y el flujo de gases de la entrada fue forzado hacia la salida de la ventana. Después de esta transición, el incendio mantuvo su velocidad de combustión hasta que el combustible se consumió totalmente. Esto nos indica que para estas condiciones de ensayo, los bomberos deben retrasar su entrada entre 60 seg y 120 seg después de haber puesto en marcha el ventilador. Este tiempo permitirá que los flujos se estabilicen, las temperaturas disminuyan y se alcancen unas buenas condiciones de visibilidad. La velocidad de combustión del incendio se estabilizará a la velocidad que determine el flujo de aire modificado por el ventilador. El tiempo necesario para alcanzar esta condición de estabilidad puede variar dependiendo del diseño del edificio, el tamaño del incendio y la capacidad del ventilador.

## 7.6. EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN CON PRESIÓN POSITIVA EN EDIFICIOS DE ALTURA

Los ensayos a los que se va a hacer referencia se llevaron a cabo en un hotel en desuso en la ciudad de Toledo en Ohio. El edificio fue construido en 1969 y tenía una altura total de 121,9 m y una superficie en planta de 40.645 m<sup>2</sup> distribuidos en un total de 29 plantas.

Se efectuaron un total de 160 ensayos mediante los cuales se pretendió evaluar la capacidad de los ventiladores de presión positiva del servicio contra incendios para presurizar el hueco de la escalera de un edificio de altura. Se introdujeron variables tales como ventiladores de diferentes tamaños, ángulos de posicionamiento, distancia de ubicación, número de ventiladores, orientación de ventiladores, número de puertas abiertas y distintas ubicaciones de aberturas de ventilación de las cuales se fue cambiando su tamaño buscando el máximo rendimiento de los ventiladores.



Fuente. NIST TIR 7412 - Evaluating Positive Pressure Ventilation In Large Structures: High-Rise Pressure Experiments.  
Vistas frontal y trasera del edificio

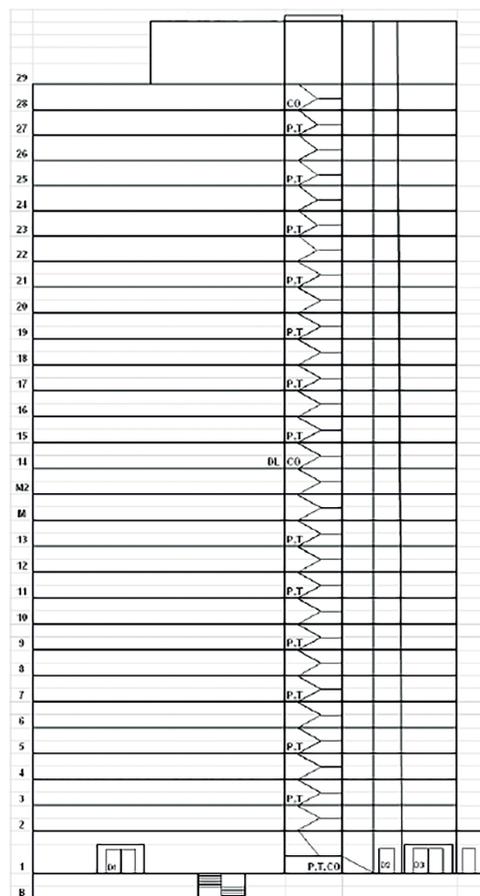
Durante el ensayo se midieron diferencias de presión, temperatura del aire y de los gases de combustión, concentración de monóxido de carbono, datos meteorológicos y de nivel de sonido. Para ello se utilizaron termopares del tipo K, transductores diferenciales de presión, medidores de monóxido de carbono, estaciones meteorológicas portátiles y sonómetros.

### Resultados obtenidos

La conclusión general fue que el uso correcto de los ventiladores de presión positiva puede incrementar la efectividad de los servicios de extinción y las probabilidades de supervivencia de los ocupantes de los edificios de altura. En un edificio de altura es posible incrementar la presión en el hueco de escalera para prevenir la filtración de humo si los servicios contra incendios utilizan una configuración adecuada de los ventiladores. Cuando se configuran correctamente los parámetros de VPP se puede conseguir igualar o mejorar el rendimiento previamente establecido para los sistemas fijos de control de humos. Obtener una adecuada configuración requiere que los usuarios tengan en cuenta variables tales como, el tamaño adecuado del ventilador, su distancia de ubicación, el ángulo, la posición del ventilador tanto en el interior como en el exterior del edificio y el número y tipo de alineación de los ventiladores.

Los datos recogidos durante los diferentes ensayos, demostraron que para obtener el máximo rendimiento de los ventiladores de presión positiva deben adoptarse los siguientes criterios:

- Independientemente de su tamaño, los ventiladores portátiles de presión positiva se deben colocar a una distancia de 1,2 m a 1,8 m de la puerta y en ángulo de elevación de al menos 5 grados. Esto hará que el flujo a través de la cubierta y la entrada de aire alrededor de la cubierta del ventilador que llegue a la puerta sea el máximo.
- Colocar los ventiladores en forma de V resultó ser mucho más eficaz que su ubicación en serie, tal y como se venía haciendo.



Fuente. NIST TIR 7412 - Evaluating Positive Pressure Ventilation In Large Structures: High-Rise Pressure Experiments.

Diagrama de distribución de los instrumentos de medición:

P = Presión

T = Temperatura

CO = Monóxido de carbono

DL = Registro de datos (Data Logger)





Fuente. NIST TIR 7412 - Evaluating Positive Pressure Ventilation In Large Structures: High-Rise Pressure Experiments.

- Cuando se trata de presurizar el hueco de escalera de un edificio de altura, el emplazamiento de ventiladores únicamente en la base de la escalera o en la entrada de la planta baja, no será efectivo.
- El emplazamiento de ventiladores en el interior del edificio por debajo de la planta incendiada, es una forma de obtener diferencias de presión que superen los requisitos mínimos de la norma NFPA 92A para los sistemas de evacuación de humos y temperatura (en el caso de estos ensayos, para un edificio sin sistema de rociadores con una altura al techo de 3,6 m le correspondería una presión diferencial de diseño de 28,6 Pa). Por ejemplo, si el incendio se encuentra en la planta 20, emplazando al menos un ventilador en la base del hueco de escalera y al menos otro próximo a la planta 18 que introduzca aire en el hueco de escalera se conseguiría superar estos requisitos.



Fuente. NIST TIR 7412 - Evaluating Positive Pressure Ventilation In Large Structures: High-Rise Pressure Experiments.

- También mediante el emplazamiento de un ventilador de gran caudal en la base de la escalera (por ejemplo del tipo de los transportados sobre un tráiler) podría generar el suficiente caudal para cumplir con la normativa antes referida.
- Cuando se emplazan ventiladores en el interior del edificio la distancia y el ángulo de ataque deben ser los mismos que cuando se colocan en una puerta exterior.

Los ensayos realizados, también demostraron que los ventiladores de presión positiva pueden interferir en las operaciones de extinción y en las comunicaciones desde el puesto de mando, debido al ruido que generan. Los ventiladores con motor de gasolina generaron monóxido de carbono en cantidades despreciables comparadas a las generadas por el incendio. En general, cuando los ventiladores se emplazan correctamente y se operan de forma adecuada, la ventilación con presión positiva resulta una herramienta que los servicios contra incendios pueden utilizar para mejorar la seguridad y la eficacia de las operaciones en las labores de rescate y extinción.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. (1993) *Manual de protección contra incendios*. Madrid: Editorial MAPFRE.
- GÖRANBENGTSSON, L. SWEDISH RESCUE SERVICES AGENCY, (2001) *Enclosure Fires*. RÄDDNINGSVÄRKET. ISBN 91-7253-263-7
- SVENSSON, S. SWEDISH RESCUE SERVICES AGENCY, (2005) *Fire Ventilation* RÄDDNINGSVÄRKET. ISBN 91-7253-279-3
- SÄRDQVIST, S. SWEDISH RESCUE SERVICES AGENCY, (2007) *Water and other extinguishing agents* RÄDDNINGSVÄRKET. ISBN 91-7253-265-3

## 9. LECTURAS RECOMENDADAS:

- Babrauskas, V. (1995). *Burning rates*, SFPE Handbook of fire protection engineering. P.J diNenno, NFPA.
- Barnett, & Grimwood. (n.d.). *Fire Fighting flow rate*.
- Benfer, M. E., & Scheffey, J. L. (2014). *Evaluation Of Fire Flow Methodologies*. Quincy, Massachusetts: The Fire Protection Research Foundation
- Chitty, R. (1994). *A survey of Backdraught*. Fire Research and Development Group. Home Office (UK), London.
- Ewan, A. (1998). *Mitigation of Compartment Jet Fires Using Water Sprays*. University of Sheffield. UK.

## MÓDULO 1

## TEMA 2

- Grimwood, P. (1992). *Firefighting nozzle reaction*.
- Holmstedt, G., & Särdaqvist, S. (2000). Water for manual fire suppression. *Journal of fire protection engineering*.
- Insurance Services Office, I. (2014). *Guide for Determination of Needed Fire Flow*. Jersey City.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (1996). *Enclosure Fire Dynamics*. London: CRC Press.
- Karlsson, B., & Svensson, S. (s.f.). *A decade of scandinavian research aimed at benefiting the fire service*.