

DESARROLLO DE UN INCENDIO

FLASHOVER Y BACKDRAFT



DESARROLLO DE UN INCENDIO: FLASHOVER Y BACKDRAFT

Servicio de Formación

Técnicas de Intervención en Incendios de Interiores

Bloque 1; Tema 1

1. INTRODUCCIÓN:

Muy pocos bomberos han tenido la oportunidad de ver y reconocer un flashover. Esto es debido al hecho de que si los bomberos llegamos al incendio en su fase incipiente, nuestra actuación evitará su evolución y, por consiguiente, el flashover no se producirá. Si llegamos más tarde, el flashover ya se habrá producido y, por lo tanto, encontraremos el recinto envuelto en llamas.

Con carácter general se puede afirmar que, si al llegar al lugar del incendio, comprobamos que lo que está ardiendo es una pieza grande o varias piezas de mobiliario, debemos tener en cuenta el riesgo de aparición del flashover, si no existen indicios de que éste ya se ha producido.

Independientemente de los mecanismos que lo producen, los factores que el profesional de la lucha contra incendios tiene que tener en cuenta son: el **tiempo de aparición del flashover** y los **síntomas o signos** que nos pueden ayudar a identificar su inmediata aparición.

En las siguientes páginas encontrarás información acerca de los distintos *productos de la combustión*, definiciones de algunos *conceptos técnicos* relevantes para la comprensión de la dinámica de *evolución de un fuego* y de los *distintos tipos de flashover*, de las diferencias entre *flashover* y *backdraft* y de las *maniobras de prevención y defensa* a desarrollar ante este tipo de situaciones.

Contenido:

1. Introducción	11
2. Productos de combustión	12
3. Límites de Inflamabilidad	16
4. Flashover	18
5. Backdraft	27
6. Maniobras de prevención y defensa	32
7. Conceptos	35

Puntos de interés especial:

- **Evolución de un incendio hasta flashover**
- **Determinación del tiempo de aparición de un flashover**
- **Signos y síntomas de un potencial flashover**
- **Síntomas de reconocimiento de un backdraft**



2. PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN

Los productos de combustión se pueden dividir en cuatro categorías: llamas, calor, humos y gases de combustión.

2.1. Llamas

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

La llamas son gases incandescentes visibles alrededor de la superficie del material en combustión. Aunque el combustible que arde sea sólido o líquido, la presencia de llamas denota la emisión de gases o vapores por efecto del calor.

La combustión completa de materiales orgánicos produce llamas prácticamente incoloras. El color que ofrecen en la mayoría de los casos se debe a la presencia de partículas sólidas, generalmente de carbono, que arden en el seno de las mismas. Sin embargo, las llamas de algunos compuestos son de diferentes colores (las sales de sodio dan llamas de color amarillo; las de calcio, rojo; las de cobre, verde; las de potasio, violeta, etc.). El color de la llama depende, además de la **composición química del combustible**, de la **cantidad de oxígeno** presente.

En algunos casos se producen combustiones sin llama (ascuas). La radiación luminosa emitida en estos casos se conoce como incandescencia y es de mayor longitud de onda ya que se encuentra en la zona del rojo y del infrarrojo, y por tanto de menor energía.

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

2.2. Calor

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

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



La temperatura es resultado del estado térmico de los cuerpos, es decir, su mayor grado de frío o de calor. La temperatura es una magnitud que permite expresar el grado de calentamiento de los cuerpos.

El calor emitido en un incendio, y la elevación de temperatura que conlleva, producen daños, tanto a las personas, como a los bienes materiales.

La exposición al aire caliente puede causar deshidratación, agotamiento, bloqueo de las vías respiratorias y quemaduras. El calor intensifica el ritmo cardiaco. Cuando su intensidad excede el umbral de la tolerancia humana, es mortal.

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

2.3. Humo

El humo es una materia formada por diminutas partículas sólidas y vapor condensado. Los gases procedentes de materias de uso común, como la madera, contienen vapor de agua, dióxido de carbono y monóxido de carbono; en las condiciones normales de escasez de oxígeno que se producen en un incendio y que dificultan la combustión completa, hay también metano, metanol, formaldehído y ácidos fórmico y acético. Estos gases suelen producirse a partir de la materia combustible y a velocidad suficiente portan pequeñas gotas de brea inflamable que aparecen como humo. La descomposición de estas breas da lugar a la formación de partículas de carbón, que suelen estar presentes también en los gases procedentes de la combustión de productos petrolíferos, particularmente de los aceites pesados y de los destilados.



Imagen 1: Contenedor de flashover.

Estas **partículas de carbón y brea** son visibles y los gases de la combustión que las portan son lo que se denomina humo. Las partículas pueden ser de color, dimensiones o cantidades tales que obscurezcan el paso de la luz, y por lo tanto, obstruyan la visibilidad impidiendo la identificación de las salidas o sus señalizaciones. La formación de grandes cantidades de partículas en suspensión en el humo, suficientes para hacer inoperantes las vías de escape, puede ser muy rápida.



Las partículas en suspensión en el humo pueden ser irritantes si se respiran, una exposición prolongada a ellas puede causar lesiones en los sistemas respiratorios. Si se alojan en los ojos, producen lagrimeo que, a su vez, dificulta la visión.

2.4. Gases de la combustión

Son aquellos que permanecen en el aire al retornar los productos de combustión a las temperaturas normales.

La mayor parte de los materiales combustibles contienen carbono, que al quemarse forma anhídrido carbónico (CO_2), si la concentración de oxígeno en la atmósfera es suficiente y la combustión completa. Los combustibles también pueden producir monóxido de carbono (CO), si dicha concentración de O_2 es baja (la concentración de CO puede llegar al 20%).

Estos dos elementos (monóxido y dióxido de carbono), son los gases de combustión más abundantes en los incendios.

El **tipo de gases generados** depende de muchos factores, siendo los principales, la *composición química del combustible*, la *cantidad de oxígeno* disponible y la *temperatura alcanzada*.

Se ha demostrado que, en los incendios, los fallecimientos producidos por inhalación de gases o aire caliente, son mucho más numerosos que el total de muertos debido a todos los demás agentes en su conjunto.

Son varios los **factores que determinan la toxicidad** de los productos de la combustión sobre el ser humano, como la *concentración de los gases en el aire*, la *duración de la exposición* a los mismos y el *estado físico* de la persona. Diversos estudios indican que el efecto combinado de varios gases será mayor que la suma de los efectos de cada uno por separado. La **principal causa de muerte** en los incendios son los siguientes gases:

- *Anhídrido sulfuroso*; producto de la combustión de materias orgánicas que contengan azufre. Su presencia se delata por un efecto extremadamente irritante en ojos y conductos respiratorios. Es producto de la combustión típico de: lana, goma, algunas maderas.
- *Amoniaco*; se forma durante la combustión de materiales que contengan nitrógeno (lana, seda, plásticos, resinas de melanina, presente en sistemas de refrigeración). Tiene efectos extremadamente irritantes en ojos, nariz, garganta y pulmones.



- *Cloruro de hidrógeno*; producto de la combustión de materias plásticas que contienen cloro. El *cloruro de polivinilo* lo podemos encontrar en aislantes de conducciones eléctricas y otros conductos y tuberías. En concentraciones de 1500 partes por millón es fatal.



Imagen 2: Productos de la combustión: llamas, gases y humos.

- *Acroleína*; es un gas muy tóxico e irritante que se produce durante la combustión de productos petrolíferos, grasas, aceites, etc. En concentraciones de 10 partes por millón es mortal en un breve plazo de tiempo.
- *Cianuro de hidrógeno*; es un producto muy tóxico, se forma por la combustión de materiales como la lana, la seda, el uretano, las poliamidas y los acrílicos.
- *Dióxido de nitrógeno*; es extremadamente tóxico, se forma con la descomposición y combustión del nitrato de celulosa.
- *Fosgeno*; se desprende siempre que un producto clorado entra en contacto con la llama, como es el caso de plásticos de cloruro de polivinilo o los disolventes clorados. Es un producto muy tóxico.

Algunos de dichos gases además de tóxicos son **corrosivos**, por lo que afectan no sólo a las personas, sino que producen graves daños materiales. El *cloruro de polivinilo*, mencionado anteriormente como gas tóxico, sirve también como ejemplo de producto corrosivo.

El calentamiento de ciertos materiales produce una **pirólisis química** formando una rica variedad de sustancias conocidas como productos de gasificación.

Con excepción del agua que se genera, por ejemplo de la celulosa y los hidratos de carbono, la mayoría de los productos de gasificación son inflamables.



Las fibras comunes (nylon, rayón, etc.) producen principalmente CO (monóxido de carbono) y varios tipos de hidrocarburos. Los materiales sintéticos y productos como pinturas, barnices, etc., producen principalmente una variedad de hidrocarburos tales como metano, etano, metanol y ácido acético, generándose gases tóxicos, corrosivos, anestésicos, asfixiantes, etc.

3. LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

Son los *límites máximo y mínimo de la concentración de un combustible dentro de un medio oxidante, entre los cuales, al generarse una llama, ésta se propaga de forma continua a presión y temperatura específicas* determinadas por factores tales como la concentración de la mezcla combustible, propiedades físicas y químicas del mismo, lugar y características del confinamiento, etc. (puedes ampliar conocimientos consultando el apartado 6 de este tema: *Conceptos*).

A continuación comentamos un aspecto que nos permite aclarar la anterior definición: *porcentaje inflamable*.

3.1 Porcentaje inflamable

No podemos ofrecer cifras exactas en tantos por ciento de la mezcla ideal o del rango de inflamabilidad de las mezclas de gases cuando se habla de gases de combustión o fuego, dada su variabilidad. Para una mejor comprensión podemos agruparlos en dos tipos de gases: *gases de fuego en incendios de características y materiales normales* y *gases de fuego especialmente ricos en energía*, como por ejemplo los producidos en la combustión de pinturas, alquitranes, etc.

a) Gases de fuego normales

Después de 8 a 10 minutos aproximadamente, de haberse iniciado un incendio generalizado en una habitación, el aire de la misma ha sido prácticamente consumido y la temperatura es alta. Esto genera una sobrepresión en la habitación que provoca la salida de gases al exterior por cualquier rendija o abertura, desapareciendo la sobrepresión, lo que permite la entrada de aire del exterior, de modo que los gases vuelven a ser combustibles y se inicia una repetición del proceso.

Este proceso de **combustión-expansión** y **enfriamiento-entrada** de aire, produce un efecto que se denomina "*respiración del fuego*". Se dice que el fuego respira por movimientos pulsantes.



El *límite superior de inflamabilidad* (LSI) para los gases está comprendido entre el 75% y el 90%, es decir, sólo con un aporte de un 10% de aire la mezcla será inflamable. Si estos gases tienen un punto de ignición bajo, se verá favorecido el que a temperaturas relativamente bajas se inflamen.

El *límite inferior de inflamabilidad* (LII) está sobre el 50% de la mezcla. Este límite depende de la temperatura de los gases, ya que de estar los gases más o menos enfriados este límite puede desplazarse hasta el límite superior, con lo que la mezcla sería no inflamable.

b) Gases de fuego ricos en energía

Cuando hay presencia de materiales combustibles tales como plásticos, grasas, alquitranes, pinturas, etc., en un incendio, los gases producidos tienen un rango de inflamabilidad diferente a los denominados “normales”.

Estos gases “ricos en energía” requieren mayor cantidad de oxígeno que los “normales” para poder arder puesto que tienen moléculas ricas en carbono.

Este requerimiento alto de O₂ hace menos probable la interacción combustión-expansión y enfriamiento-entrada de aire de la que hablamos anteriormente, por lo que resulta una mezcla de gas fuertemente sobresaturada.

La mezcla ideal para estos gases es del 40%, siendo el rango de inflamabilidad entre el 25% de LII y el 60% de LSI.

	rango	% mezcla ideal	Temperatura de inflamación
GASES NORMALES	[50%-90%]	70%	alta
GASES RICOS	[25%-60%]	40%	baja

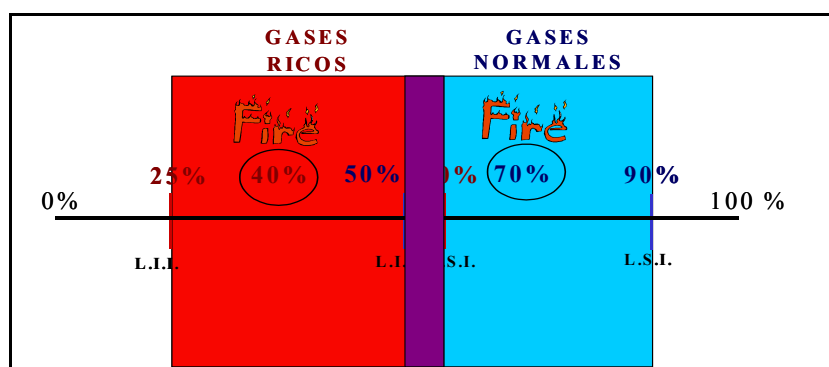


Tabla y gráfico 1: gases normales y gases ricos.

Como en el tipo anterior, *gases normales*, este intervalo (rango de inflamabilidad) depende de la temperatura de los gases, aumentando el mismo a medida que las temperaturas se elevan.

4. FLASHOVER

4.1 Conceptos de Flashover

Según la *escuela inglesa* el flashover sólo puede producirse si se dan dos condiciones: la primera es la existencia de incendio en un espacio cerrado, puesto que la **acumulación de gases bajo el techo** juega un papel protagonista. La segunda condición es una **suficiente aportación de aire**.

Sin embargo, la *escuela sueca* considera como condición para la existencia de flashover el **confinamiento de los gases de combustión** que se acumulan bajo el techo en un recinto cerrado. Esta misma masa de gases calientes generalmente todavía combustibles, al inflamarse da lugar al flashover y a la explosión de gases.



Imagen 3: Después de un flashover

Los investigadores suecos identifican distintos tipos de flashover, aunque en realidad son variaciones del mismo concepto definido en las siguientes líneas. Los distintos tipos son: *flashover pobre*, *flashover rico*, *flashover rico y demorado*. Para la escuela inglesa y americana el flashover rico y demorado es lo que ellos denominan **backdraft**.

Definición de flashover: *un aumento repentino de la velocidad de propagación de un incendio confinado debido a la súbita combustión de los gases acumulados bajo el techo y a la inflamación generalizada de los materiales combustibles del recinto como consecuencia de la radiación emitida por esta capa de gases caliente.*

4.2 Evolución del incendio hasta el flashover

Si tomamos como ejemplo una habitación de una vivienda en la que se origina un fuego en una pieza del mobiliario, la evolución del incendio hasta producirse un flashover será la siguiente:

1) Al principio, la **llama será pequeña** y la combustión gozará de la **libre aportación del oxígeno** presente en el compartimiento.



2) Progresivamente, el fuego va creciendo con una **propagación horizontal muy lenta** debido a que más del **70%** de la energía generada en la combustión irá hacia arriba como consecuencia de las **corrientes de convección**. Sólo un **30%** calentará el mobiliario del entorno en forma de radiación. En la medida en que el diámetro del fuego sea mayor la radiación irá perdiendo importancia a favor de la convección y el acceso del aire a la zona central del fuego será más difícil, originando una combustión menos completa en esa zona y, por consiguiente mayor altura de las llamas.

3) Los **gases de combustión** formados principalmente por CO_2 , CO y vapor de agua se irán acumulando bajo el techo. Inicialmente el techo absorberá una parte importante de la energía de los gases, pero a medida que sus temperaturas se vayan aproximando entre sí, esta pérdida de energía irá disminuyendo. Esto hará que la temperatura de la capa de gases acumulados en el techo vaya aumentando a la vez que su espesor. Estos gases bajo techo son los principales responsables del **flashover**.

Llegado el punto en que la **aportación continua de calor va aumentando** y con ella la **temperatura de la capa de humos**, se dan varias circunstancias casi simultáneas que van a interactuar entre sí para provocar lo que más tarde definiremos como **flashover**.

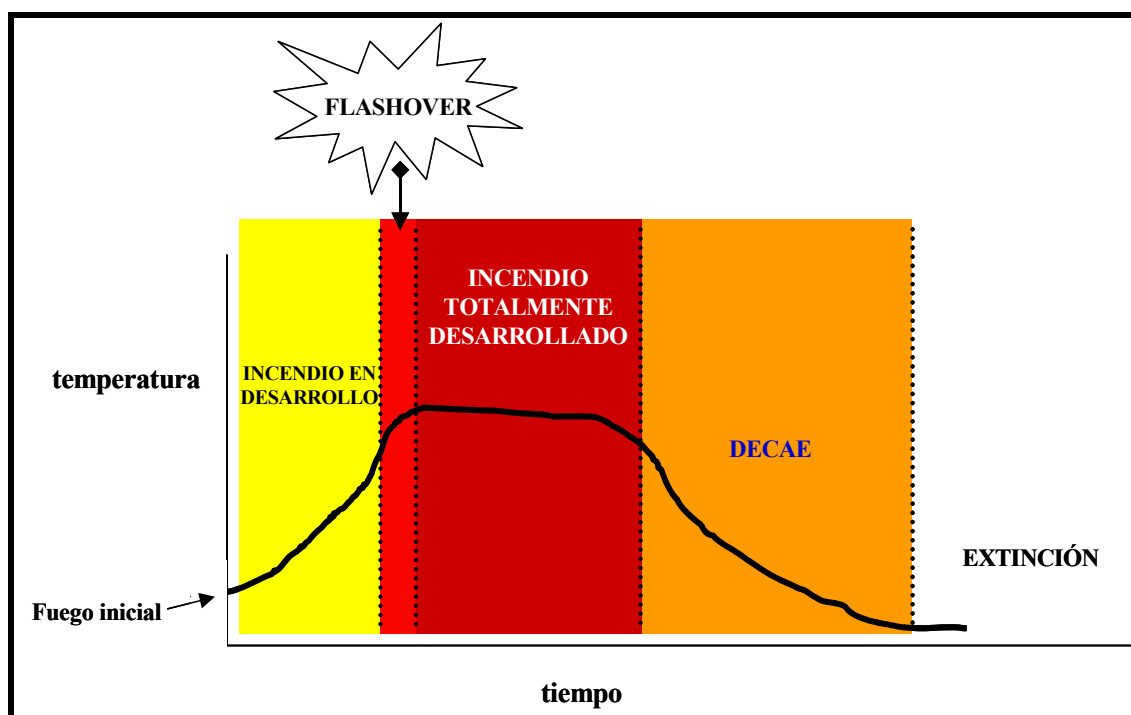


Figura 1: Gráfico del desarrollo de un incendio y momento de aparición del *flashover*.

En esta secuencia de imágenes vemos reproducido el desarrollo de un flashover desde su fase inicial (Imagen 7): incendio de sofá que produce llamas y desprendimiento de gases a la vez que irradia calor a los combustibles cercanos (mesilla), los cuales por descomposición química debida a ese mismo calor desprenden gases inflamables (pirolización).

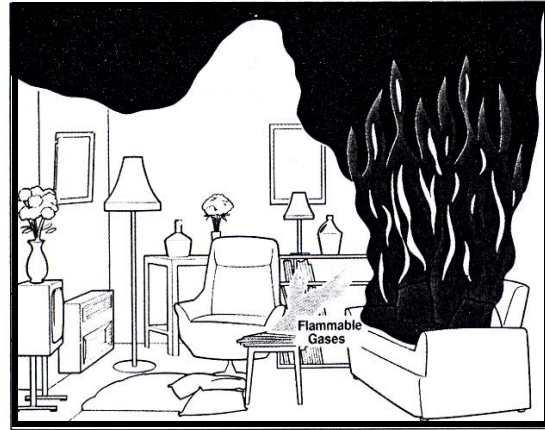


Imagen 7: desprendimiento de gases inflamables (pirólisis).

A continuación (Imagen 8) esos gases inflamables producto de la pirólisis de los combustibles comienzan a arder al mezclarse con el aire y recibir la radiación del colchón de gases que se acumulan en el techo y que han comenzado a arder con lenguas de fuego visibles (rollover).



Imagen 8: Los gases de pirólisis comienzan a arder.

En la *imagen 9*, observamos como la mayoría de los elementos combustibles de la habitación han comenzado a emitir gases inflamables ardiendo inmediatamente al mezclarse con el oxígeno presente en la habitación y recibir el aporte de calor de los gases calientes y combustibles previamente incendiados.

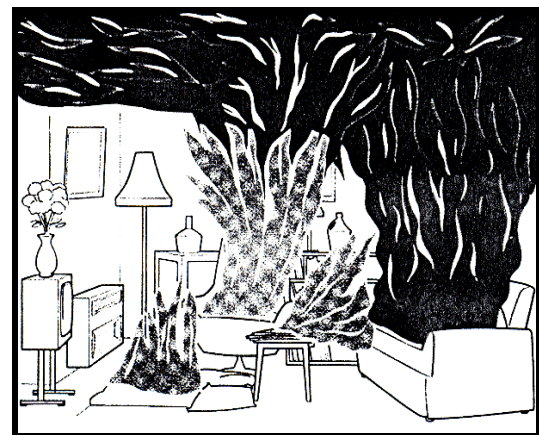


Imagen 9: Rápido calentamiento de todos los materiales combustibles.

Esta es la fase de flashover propiamente dicha: **repentina y mantenida transición desde un fuego creciente hasta un incendio totalmente desarrollado**, tal y como describe el *Fire Service Manual (H.M. Fire Service Inspectorate)*.



Tanto los gases calientes como el propio techo emiten una radiación hacia abajo que va aumentando la temperatura de las superficies combustibles de la habitación. A partir de cierta temperatura, estos materiales empezarán a liberar volátiles inflamables como consecuencia del inicio del **proceso de pirolización**. Este fenómeno tendrá lugar en toda el área del recinto bajo cuyo techo se hayan acumulado gases suficientemente calientes, a pesar de encontrarse a una distancia considerable del origen del fuego. **En esta fase, la radiación principal vendrá del techo, no de la propia llama.**

Cuando el calor radiado por el foco del incendio, los gases del techo y el propio techo elevan la concentración de los gases destilados en la superficie del mobiliario y revestimientos hasta alcanzar su límite inferior de inflamabilidad, es decir, a la temperatura de ignición de los combustibles presentes en el recinto, cualquier fuente de ignición, que generalmente provendrá del propio foco del incendio, provocará el incendio generalizado de todos los materiales combustibles de la habitación. **Esta fase de aceleración de la propagación del fuego ha sido identificada por algunos autores como el propio flashover, y muchos lo han definido en función de la energía de radiación que generalmente es necesaria para provocar este proceso.**

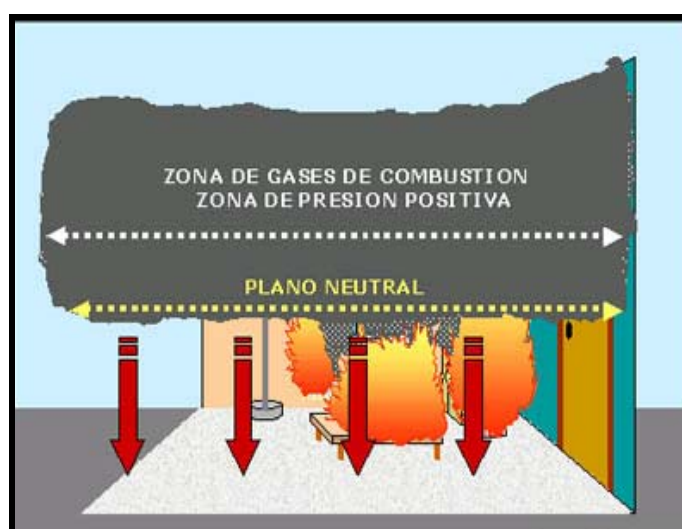


Imagen 4: Zona de gases de combustión y plano neutro.

Existen algunos factores que debemos tener en cuenta para tener un entendimiento más completo de ciertos fenómenos que confluyen casi simultáneamente y que contribuyen proporcionando complejidad, y también virulencia, a lo que hemos dado en llamar flashover.

Los gases liberados por el fuego contienen **monóxido de carbono** que, mezclado con aire en la proporción adecuada, se inflamará a unos **600°C**. Esto ocurre generalmente cuando las llamas alcanzan la nube de gases acumulados en lo alto del recinto. Estas llamas alcanzan el techo y empiezan a extenderse horizontalmente aumentando la intensidad de los fenómenos anteriormente descritos.



Es difícil establecer cuál de los dos fenómenos se produce antes, y es posible que su orden varíe en función de las condiciones del escenario, pero sin duda la aparición de cualquiera de los dos desencadena la casi inmediata aparición de la otra.

Cuando los gases se calientan por encima de los 650°C, el CO₂ se transforma en CO, convirtiendo en combustible un gas que en principio actuaba como retardante. Esta cadena exponencial de liberación térmica genera una temperatura en la capa de gases que permite la reacción del carbono libre con el vapor de agua liberando monóxido de carbono e hidrógeno, ambos altamente combustibles, que se sumarán a la cadena de la combustión.

Estos gases bajo techo son los principales responsables del flashover... Los gases liberados por el fuego contienen monóxido de carbono que, mezclado con aire en la proporción adecuada, se inflamará a unos 600°C.

La ignición súbita y casi simultánea de los gases de combustión y del mobiliario de la habitación puede provocar una **sobrepresión de unos 2 kilopascals** (ver tabla de conversión de medidas de presión en el tema *técnicas de ventilación* en página 88) . Como consecuencia de la expansión provocada por los nuevos gases de combustión y por el aumento de temperatura, se produce una **onda de presión que arrastra consigo la nube de humo** que se va generando. Este humo sobrecalentado todavía contienen gases no quemados que inflaman a medida que el frente avanza y se va mezclando con el oxígeno del aire. La ya elevada temperatura de los gases, unidos a este nuevo frente de combustión es lo que origina la bola de fuego que avanza por los pasillos, puertas y ventanas hasta alcanzar el exterior proyectando muchas veces las llamas a varios metros de distancia (*dardo de llama*).

4.3 Determinación del tiempo de aparición.

Conocida más o menos la hora de inicio del incendio, hay ciertos datos que nos pueden ayudar a estimar el tiempo de la fase de pre-flashover en función de las características del recinto y de su contenido.



La **duración del periodo previo al flashover** viene en general determinado por:

- La altura del techo.
- El área del recinto.
- La altura de los materiales combustibles.
- La altura del origen del incendio.
- La distancia del foco del incendio a la pared.
- El espesor y grado de humedad de techos y paredes.
- La combustibilidad de los materiales del recinto. La velocidad de combustión es determinante de la rapidez de aparición del flashover. También será determinante la temperatura a la que los materiales empiezan a desprender vapores combustibles.
- El área de ventilación.

En cualquier caso, la **influencia de la ventilación** en el tiempo de aparición del flashover es mínima comparada con otros factores, como la posición del origen del incendio o la altura del combustible.

Cualquier variación en las condiciones del incendio (ventilación, aplicación del agua...) puede modificar a su vez el proceso de producción del flashover.

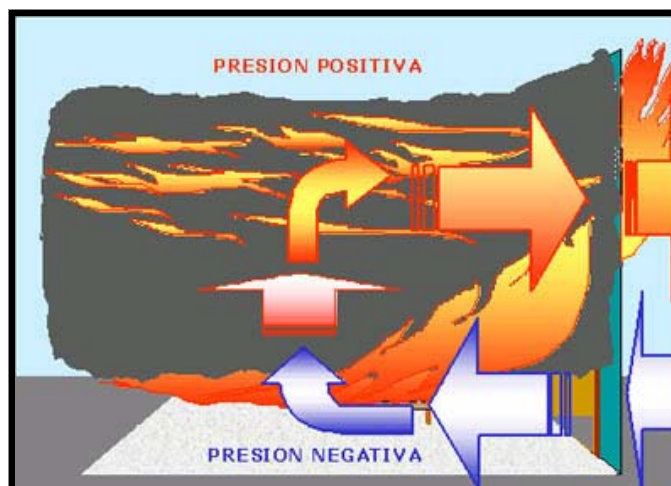


Imagen 5: Esquema del flujo de ventilación en un flashover.

En un fuego doméstico su tiempo de aparición estará entre 10 y 30 minutos.

4.4 Signos y síntomas de un potencial flashover

1. En el momento de la llegada al siniestro y todavía desde el exterior:
 - El fuego se ha iniciado hace más de 10 minutos.
 - No se ven asomar llamas que indiquen un incendio en pleno estado de desarrollo.

- Por puertas y ventanas sale un **humo denso y oscuro**. Si este humo va acompañado de **pequeñas lenguas de fuego**, el flashover puede ser inminente.

2. Al entrar en el edificio y durante la aproximación al recinto incendiado:

- **Lenguas de fuego (rollover)** apareciendo bajo el techo en forma de rodillo. Suelen presentarse un minuto o dos antes del flashover.
- Un **rápido incremento de la temperatura** sin razón aparente.
- **Aumento del espesor de la capa de humos** bajo el techo.
- La **puerta está muy caliente**.

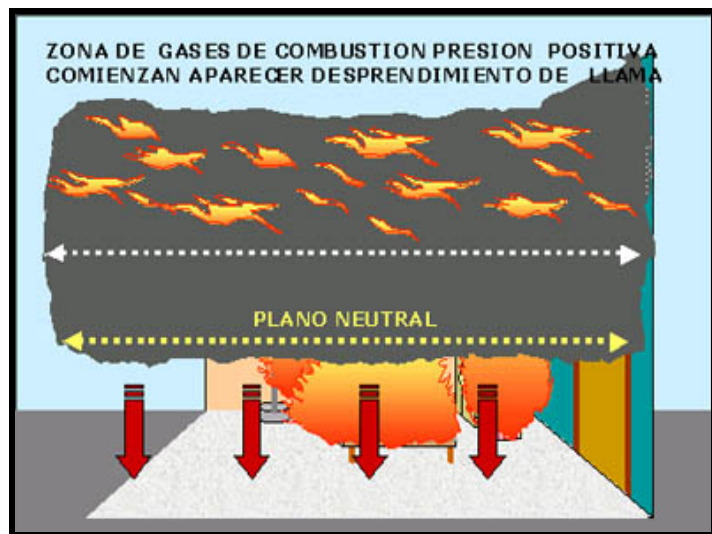


Imagen 6: Lenguas de fuego (roll over).

3. Al entrar en el recinto origen del incendio:

- **Calor radiante** que produce dolor en las partes expuestas de la piel a los pocos segundos.
- Las **corrientes de convección del aire caliente** obligan a agacharse. La temperatura a la altura de la cabeza puede ser de hasta 450°C.
- La **capa de humos** ocupa la parte alta de la habitación hasta una altura de un metro sobre el suelo.
- Las **llamas** comienzan a crecer hasta alcanzar un tamaño que no corresponde al combustible ni a la superficie inflamada.
- El **mobiliario** próximo al fuego emite vapores visibles.

Todas estas señales son indicios de que en cualquier momento puede desencadenarse la combustión generalizada de gases y mobiliario.

Muchos de estos síntomas pueden no aparecer, por lo que no tenemos que confiar plenamente en la identificación de estas señales previas. El único síntoma inequívoco de un incipiente flashover es el repentino aumento de la temperatura en el recinto incendiado y en las zonas adyacentes.



El equipo de protección personal del bombero está preparado para protegerle en condiciones de flashover durante un máximo de 14 segundos.

El único síntoma inequívoco de un incipiente flashover es el repentino aumento de la temperatura en el recinto incendiado y en las zonas adyacentes

4.5 Diferentes tipos de flashover

A) *Flashover pobre*

En primer lugar ha de producirse un incendio, generalmente en la parte inferior de una habitación. Como consecuencia de los gases de pirólisis emitidos por los materiales adyacentes al recibir la radiación de calor del propio foco del incendio, de los gases emanados por el mismo y de una combustión incompleta de los materiales debida al progresivo empobrecimiento de oxígeno del recinto, se genera bajo el techo una masa de gases calientes inflamables.

Esta masa gaseosa se va haciendo cada vez más inflamable a medida que aumenta la temperatura y la concentración de gases que no se quemaron en la combustión. Este colchón de gases pronto alcanzará el límite inferior de inflamabilidad (LII) .

La combustión suele ser breve (5-10 segundos) y poco violenta (1kPa de presión) y, generalmente, sucede antes de la llegada de las dotaciones de bomberos.

A partir de ese momento volvemos a tener una mezcla pobre pero que ha consumido el oxígeno del recinto. El calor generado y el crecimiento del fuego de origen generan un rápido incremento de la temperatura de la habitación que aumenta la producción de gases de pirólisis procedentes de los diferentes materiales del recinto (mobiliario, pinturas, etc.).

Si existe alguna vía de entrada de oxígeno en ese recinto, entonces volverá a repetirse el ciclo con mayor intensidad. Las llamas consumirán rápidamente el oxígeno que queda y la mezcla de gases comenzará de nuevo a enriquecerse. Si la ventilación es pobre, las llamas irán reduciendo sus dimensiones hasta acabar en pocos minutos en estado de latencia (arder sin llama), en forma de brasas.



B) *Flashover rico*

En un recinto en el cual existe una **mezcla de gases ricos**, producto de una combustión anterior, que se encuentran **por encima de su límite superior de inflamabilidad**, el suministro o entrada de aire fresco puede desencadenar un flashover, al bajar la concentración de gases y entrar ésta dentro de su rango de inflamabilidad. La entrada de aire podemos causarla los propios equipos de intervención al penetrar para realizar las tareas de rescate y extinción o por la rotura de una ventana producto del calor. Resulta difícil predecir si un flashover será tenue o explosivo.

Podemos distinguir dos tipos de flashover rico: **caliente** y **demorado** (aunque a este segundo tipo la escuela inglesa le denomina **backdraft**. Nosotros consideramos ambos: *flashover rico y demorado* y *backdraft* fenómenos distintos).

En el caso del *flashover rico y caliente*, si la temperatura de los gases está por encima de su temperatura de autoinflamación, los gases se inflamarán instantáneamente al contacto con el aire sin necesitar de una fuente externa de ignición. Esta combustión puede ser espectacular (2 kpa de sobrepresión) y grandes llamas aflorarán por las aberturas, sin embargo desaparecerá si volvemos a cerrar los huecos de ventilación.

Su aspecto exterior es el de fuertes llamas brillantes saliendo del recinto, generalmente en las aberturas (puertas y ventanas) donde hacen contacto los gases con el aire fresco. Posteriormente las llamas avanzan hacia el interior hasta convertirse en un incendio de interior completamente desarrollado.

Este tipo de flashover no es difícil de tratar. Por ejemplo, puede utilizarse un extintor en el primer momento en la entrada de la puerta o ventana, cerrarlas y esperar a tener preparado el ataque con el agua.

Un *flashover rico y demorado* se diferencia del anterior, *flashover rico y caliente*, por el retraso que se produce en la ignición de la mezcla gases combustibles-aire al no existir una fuente de ignición desde un principio, estar oculta, o no estar los gases con la suficiente temperatura como para arder por sí mismos. De este modo, **la mezcla baja desde el LSI (límite superior de inflamabilidad) hasta la mezcla ideal (punto estequiométrico)**.



La fuente de ignición más común de este tipo de flashover es el fuego inicial, si éste se encuentra situado cerca de la entrada de aire la mezcla se inflamará desde el comienzo y tendrá poca violencia. Pero, por el contrario, cuando el fuego se encuentra en el fondo de la habitación, el aire se mezclará libremente con los gases antes de que la mezcla inflamable alcance la fuente de ignición, en este caso el volumen de la mezcla de gases inflamada será mayor que en el caso anterior y el aumento de la temperatura y la fuerza de expansión de los gases será mucho mayor (hasta 10 kpa).

5. BACKDRAFT

4.1 Descripción

El fenómeno backdraft recibe diversos nombres, de este modo *backdraft* sería la expresión norteamericana, *backdraught* en Inglaterra, *flashover rico y demorado* según la escuela sueca, y *explosión de humo* según algunos autores españoles.

Podemos definir **backdraft** como: *una explosión, de violencia variable, causada por la entrada de aire fresco en un compartimiento que contiene o ha contenido fuego, y donde se ha producido una acumulación de humos combustibles como consecuencia de una combustión en condiciones de deficiencia de oxígeno”.*

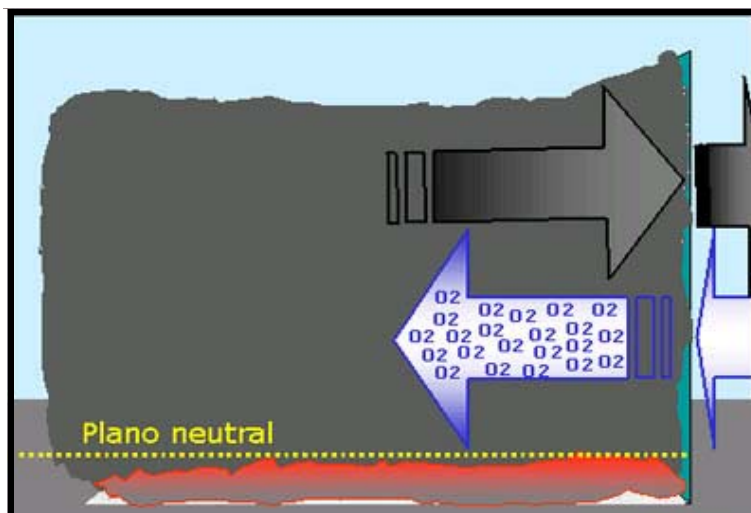


Imagen 10: Situación del plano neutro y entrada de aire (previo a un Backdraft).

El proceso por el que se produce un *backdraft* es el mismo que el que se produce en un *flashover "rico"* pero con la diferencia de que **todo el gas se mezcla con el aire antes de la ignición**. Se produce entonces una *"explosión de gas de fuego"* con un elevado aumento de presión y temperatura. La onda de presión producida destruye puertas y ventanas acompañado con frecuencia de daños en la estructura.

Dos factores imprescindibles para el desarrollo de un backdraft son: existencia de una **mezcla rica de gases** y la presencia de una **fuerza de ignición a una gran distancia** que esté oculta o sea intermitente.

Todo este proceso:

- a) **Acumulación de gases calientes** de combustión,
- b) **empobrecimiento del aire en el interior** y enriquecimiento de los gases calientes,
- c) aparición de una corriente inferior entrante como consecuencia de la **repentina ventilación** del compartimiento y la consiguiente creación de una zona dentro del rango de inflamabilidad que avanza hacia el interior, y
- d) **la ignición y propagación de la llama de forma turbulenta hasta el exterior** del compartimiento, constituye lo que en inglés se ha dado en llamar **backdraft** o **explosión de humo** en castellano.

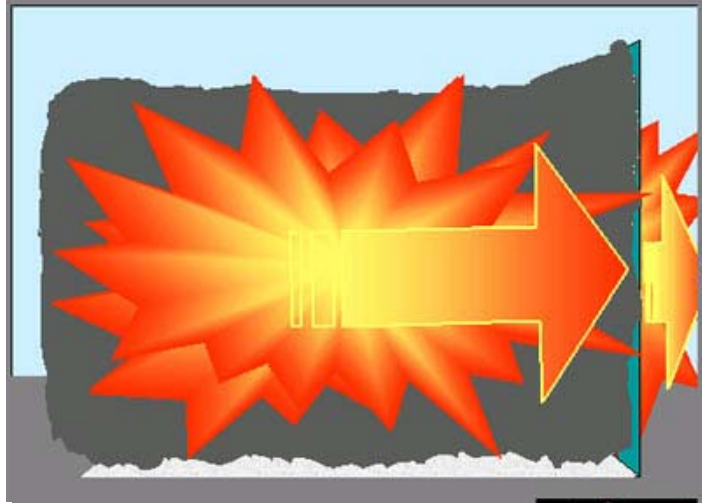


Imagen 11: Backdraft o explosión de humo.

4.2 Diferenciación entre el Flashover y el Backdraft

Si bien, cuando hablamos de *flashover*, decimos que éste se produce en los incendios en recintos cerrados cuando se aporta aire de modo más o menos libre a través de puertas o ventanas, el fenómeno del *backdraft* sólo puede producirse debido a la falta de ventilación de un recinto. De este modo, el oxígeno se va consumiendo dando lugar a una combustión incompleta que junto con el intenso calor de la etapa de combustión libre y las partículas libres no quemadas de carbono más los gases inflamables como el CO (monóxido de carbono) y el SO₂ (dióxido de azufre) generan una atmósfera potencialmente muy peligrosa.

Este fuego latente genera grandes cantidades de humo combustible que inunda la totalidad del recinto y da origen a una evolución pulsante del fuego, pudiendo llegarse a la total extinción por agotamiento del comburente. Si durante esta fase un bombero abre una puerta o una ventana para acceder a la habitación, permitirá un aporte de oxígeno que posibilitará la combustión súbita de los gases inflamables allí acumulados.



El proceso por el que se produce backdraft es el mismo que el que se produce en un flashover “rico” pero con la diferencia de que todo el gas se mezcla con el aire antes de la ignición.

4.3 Características del backdraft

- **Respiración del incendio;** es uno de los síntomas que siempre se mencionan al estudiar el backdraft: el flujo y reflujo pulsátil de gases por las rendijas del compartimento en que se ha desarrollado un incendio con ausencia de ventilación. Esta secuencia succión-expulsión de gases a través de las pequeñas aberturas se ha denominado “respiración” o “pulsación” del incendio.
- **Deflagración.** en realidad un backdraft no es la *inflamación repentina* de toda la masa de gases contenida en el recinto, sino una *combustión rápida pero progresiva* del volumen parcial de gases, dentro del rango de inflamabilidad, creado por el contacto entre los humos calientes y la corriente de aire entrante por la parte inferior de un hueco de ventilación abierto en una fase avanzada de desarrollo del incendio.

El volumen de esta mezcla inflamable depende de las **turbulencias creadas** en el interior del recinto por la interacción entre las corrientes de gases o por factores externos tales como la **entrada de personas o ventilación forzada** y siempre depende del **tiempo transcurrido** entre la apertura del hueco y la ignición de la mezcla. La violencia de esta combustión es función de la **cantidad de mezcla** dentro del rango de inflamabilidad, de la posición de la proporción combustible-comburente en relación a la “mezcla ideal” dentro de este rango, y de las **características del local**.

En cualquier caso, en situaciones normales, la combustión será siempre subsónica por lo que no debemos hablar de explosión en el sentido de detonación, sino de deflagración.

- No debe confundirse una **explosión de humo o backdraft** con una **explosión de gases inflamables** (metano, etc.). En una explosión de gas el combustible es un gas diferente al producido por una combustión pobre en comburente. La acumulación de combustible no se debe a un incendio sino generalmente a un escape de gases inflamables o a una volatilización.



Imagen 12: Secuencias de un backdraft (rescate y evacuación de un bombero).

La combustión será siempre subsónica por lo que no debemos hablar de explosión en el sentido de detonación, sino de deflagración.

Han sido reproducidos en laboratorio tres modelos diferentes de backdraft. No obstante, no debemos olvidar que en un incendio real hay muchos factores que pueden influir en la mayor o menor mezcla de gases de combustión con el aire entrante del exterior como: geometría del local, mobiliario y obstáculos intermedios, movimiento de personas o de chorros de agua penetrando en el recinto o la turbulencia producida por ventiladores de presión positiva mal utilizados.

Un backdraft raramente ocurre inmediatamente después de la apertura del hueco de ventilación. Esto presenta un problema añadido pues esta dilación puede inducir la entrada de los bomberos, incrementando considerablemente el riesgo de accidente.

4.4 Síntomas de reconocimiento de un backdraft

Durante la intervención en un incendio hay varios factores que debemos tener en cuenta y que nos pueden advertir sobre un potencial backdraft. Estos síntomas son los siguientes:

1. El escenario en el que puede aparecer este fenómeno es siempre un **compartimiento cerrado con escasa o nula ventilación**. En este punto



debemos añadir, que las nuevas técnicas constructivas influyen en el desarrollo de fenómenos como el flashover y el backdraft, al provocar un mayor hermeticidad (dobles acristalamientos, ventanas no practicables, nuevos materiales de construcción) en los edificios.

En este tipo de construcciones se juntarán tres circunstancias agravantes:

- La **acumulación de calor** acelera el ciclo natural del incendio y se alcanzan temperaturas superiores.
- Algunos materiales aislantes tienen una gran capacidad de **producción de gases combustibles** durante su descomposición térmica.
- Los **cristales suelen ser dobles** y aguantan temperaturas y presiones superiores que los convencionales por lo que se retrasará o no se producirá su rotura ayudando a generar las condiciones ideales para la aparición de un backdraft cuando se abra un hueco de ventilación de forma inadecuada.

2. **Llamas de color amarillento** bajo el techo (denominadas *roll over*) o emergiendo del compartimiento, en forma de lenguas zigzagueantes.

3. Una **rápida entrada de aire** por las partes bajas, muestra de la succión súbita de aire que se produce al abrir huecos.

4. Aparición del fenómeno de **respiración latente** (como podemos recordar en los efectos especiales de la película "Llamaradas", *backdraft* es el título original, al aparecer pequeñas lenguas de fuego asomando por debajo de las puertas y desapareciendo a continuación).

5. Escuchar determinados **sonidos característicos**, tales como un *sonido silbante* debido al rápido movimiento de corrientes a través de rendijas, un *ronroneo sordo*, segundos antes de producirse el backdraft. Una vez se escucha este síntoma de aviso, el backdraft es tan inminente que poco se puede hacer ya para evitarlo. También podremos escuchar *ruidos sordos* debido a la dilatación de la estructura del compartimiento debida a la sobrepresión interna provocada por la expansión de los gases sobrecalentados.

6. **Colores** característicos de los gases que emanan de la estancia: *negro* y particularmente *amarillento grisáceo*. Podemos apreciarlos también en ventanas, etc.

7. **Focos** del incendio no visibles, permanecen en estado latente (brasas).

8. Excesivo **calor** palpable en puertas, ventanas.

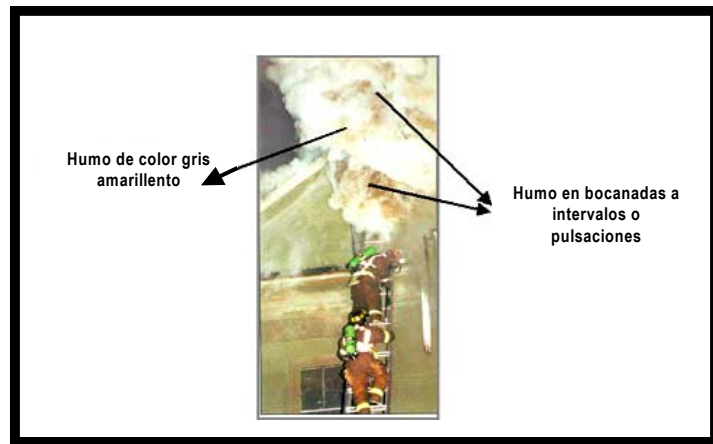


Imagen 12: Síntomas de reconocimiento de un backdraft.

Estos síntomas por separado pueden no ser determinantes, pero si durante una intervención reconocemos varios de ellos apareciendo simultáneamente, debemos prepararnos para el potencial desencadenamiento de una explosión de humo.

6. MANIOBRAS DE PREVENCIÓN Y DEFENSA

Ciertas técnicas tales como: *técnicas de ventilación* (natural y forzada), *técnicas de control de gases y extinción ofensiva con agua*, realizadas de una forma estudiada y bien entendida pueden ser determinantes para la efectividad de la extinción y, lo que más importante, para la seguridad del bombero. A continuación detallamos cada una de ellas:

- a. Podemos utilizar dos métodos de **ventilación** (véase capítulo: *ventilación*), uno de ellos con *posterioridad a la extinción* del incendio y que consiste en realizar ventilación para aumentar la visibilidad y reducir gases en el compartimiento. El segundo, que consideraremos *ventilación ofensiva* realizada bien de forma *natural*, bien empleando la técnica de *ventilación por presión positiva* (VPP), permite expulsar los gases calientes acumulados bajo el techo para reducir la temperatura y los efectos de su radiación.
- b. El **agua** puede ser utilizada con fines ofensivos (ver capítulo: *Técnicas de extinción*), mediante su aplicación indirecta para enfriar y reducir la inflamación de los gases de combustión. Con el empleo de estas técnicas podemos enfriar los gases disminuyendo su inflamabilidad y provocando su contracción. Esto producirá una disminución de la presión interior del recinto que inducirá la entrada de aire fresco, que a su vez ventilará la parte inferior del local.



Para conseguir este efecto se debe buscar la máxima transferencia de calor con la mínima producción de vapor. El calor latente de vaporización del agua se debe emplear para enfriar los gases y no el techo. Así, las gotas de agua deben evaporarse antes de alcanzar la superficie del techo y parte alta de las paredes. Mediante una adecuada atomización del agua, aplicada a alta presión con pulsaciones cortas de agua dirigidas hacia arriba en todas direcciones.

El método de ataque desarrollado por la *escuela sueca* para la extinción de fuegos confinados se basa en enfriar los gases de combustión, mediante ventilación, para impedir el desarrollo del incendio y mejorar las condiciones del local antes de proceder al ataque directo. De esta forma se reducen riesgos y se mejoran las condiciones de acceso al foco del incendio ganando en seguridad y eficacia. Un *ataque directo* al fuego desde el principio puede producir unos efectos muy perjudiciales para las labores de extinción.



Imagen 13: Momento en que desarrolla un flash over.

A favor de este método de intervención figuran argumentos tales como la obtención de unas **mejores condiciones de trabajo** del bombero debido a la **no producción de grandes cantidades de vapor de agua**, que aumentan la temperatura a la altura de trabajo del bombero y que pueden provocar el arrastre no deseado de gases calientes a recintos adyacentes.

El riesgo de reavivamiento de la llama con la entrada de aire exterior no se considera un problema puesto que no afectará de forma importante a la temperatura del recinto y con la lanza portada por el bombero será suficiente para, a continuación, neutralizarlo mediante el ataque directo. En algunos casos este reavivamiento puede ser beneficioso puesto que nos ayudará a identificar el foco del incendio.

El procedimiento utilizado por los suecos durante su entrenamiento, utilizando el **método de ataque ofensivo indirecto** para acceder a un compartimiento con riesgo de backdraft es el siguiente:

- 1) Provocar en el exterior de la puerta de acceso una **nube de agua en suspensión** en el momento de su apertura, para evitar el avance de las llamas en el caso de que éstas aparezcan.



- 2) Un bombero abre la puerta y otros dos se **introducen con una línea de agua en carga**. La puerta se cierra a sus espaldas y es sujeta y controlada por el primer bombero. Los dos bomberos se quedan en las inmediaciones de la puerta, utilizando desde allí la técnica del ataque indirecto para tratar de enfriar los gases y reducir riesgos.

- 3) A medida que las condiciones lo permiten los dos bomberos irán avanzando en busca del origen del fuego para **extinguirlo mediante el ataque directo**.

Puedes encontrar esta técnica desarrollada con más detalle en el capítulo: *Técnicas de extinción*.



7. CONCEPTOS

- Límites de inflamabilidad o explosividad

Para que sea posible la ignición, debe existir una concentración de combustible suficiente en la atmósfera oxidante dada. Una vez que ésta comienza, mantener el estado de combustión exige un suministro continuado de combustible y oxidante. En el caso de líquidos, vapores o gases combustibles, pueden existir dos tipos de mezcla en la atmósfera: homogénea o heterogénea.

Se llama mezcla homogénea aquella cuyos componentes están mezclados íntima y uniformemente, de tal modo que una muestra de poco volumen sea verdaderamente representativa de la totalidad de la mezcla. Una mezcla homogénea inflamable es aquella cuya composición se encuentra dentro de los límites de inflamabilidad del gas combustible o vapor, referido a una composición atmosférica dada y a temperaturas y presiones determinadas.

Al valor de la concentración de gas mínima necesaria para que este se inflame en una reacción de combustión con el oxígeno, con respecto al volumen total de gases en un recinto se le denomina: *Límite Inferior de Inflamabilidad (L.I.I.)*, el cual se mide como porcentaje en volumen.

A una concentración de gas, en relación con el volumen total de gases de recinto, por encima de la cual no es posible que exista combustión se le denomina: *Límite Superior de Inflamabilidad (L.S.I.)*.

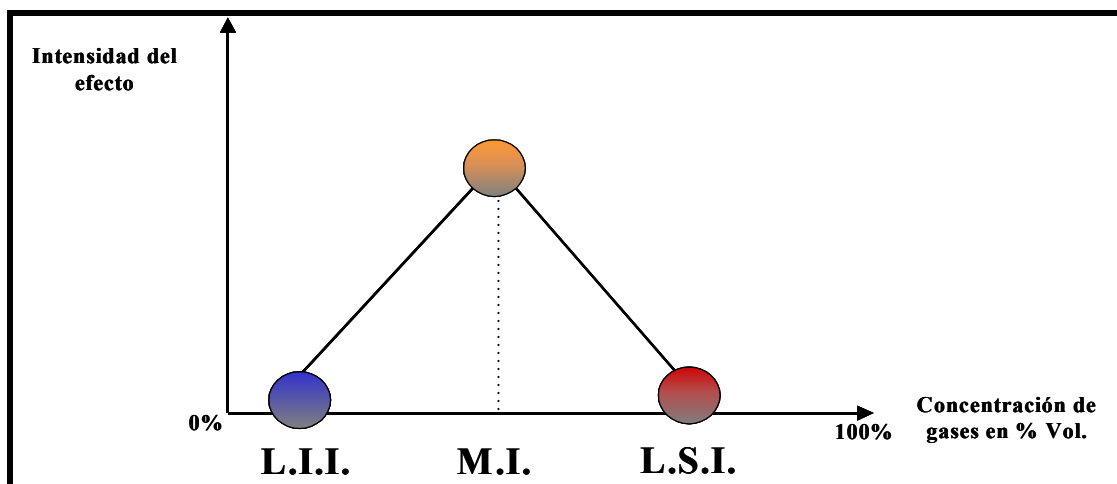


Figura 1: Límites de inflamabilidad y mezcla ideal.

- *Rango de inflamabilidad*: Entre las concentraciones de gas comprendidas ente el L.I.I. y el L.S.I. existe una gama de concentraciones de gas que cuando se combinan con el oxígeno del aire son inflamables, a esta gama o rango de concentraciones se le denomina *Rango de Inflamabilidad*.
- *Mezcla ideal*: Es la proporción en la mezcla de gases que produce el máximo efecto. Se denomina también punto estequiométrico.
- *Factores que influyen en el Rango de Inflamabilidad*: Los factores que influyen en el Rango de Inflamabilidad son fundamentalmente dos: *Temperatura y Concentración de oxígeno*.
 - a) *Temperatura*: La temperatura afecta tanto al combustible como al comburente. De esta manera, cuando la temperatura aumenta el rango de inflamabilidad se amplía. Se estima que un aumento del temperatura en torno a 100°C es capaz de hacer disminuir el L.I.I. en un 8% y de elevar el L.S.I. en una proporción igual.

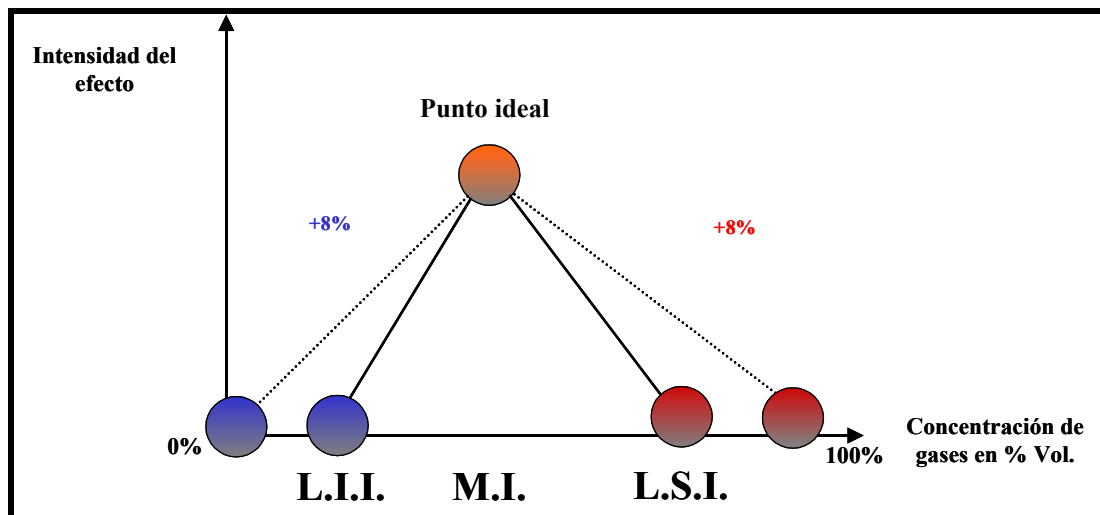


Figura 2: Variación del Rango de Inflamabilidad con el incremento de temperatura .

- b) *Concentración de oxígeno*: Un descenso de la concentración de oxígeno afecta fundamentalmente al L.S.I. provocando una disminución del rango de inflamabilidad de la mezcla de gases reduciéndose por su límite superior.

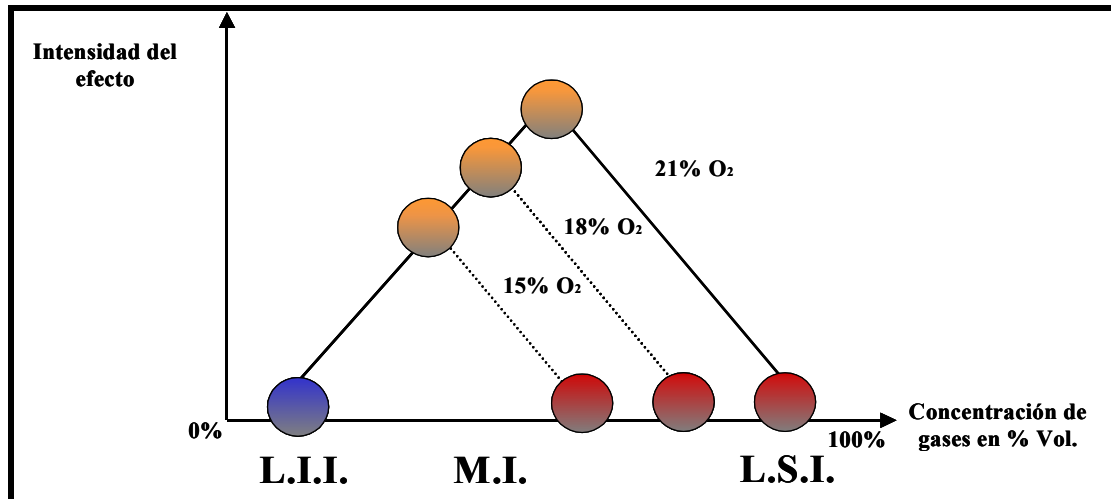


Figura 3: Variación del Rango de Inflamabilidad con la concertación de oxígeno..

- **Temperatura de ignición (temperatura de autoignición)**

La temperatura de ignición es la temperatura mínima a la que debe ser calentada una sustancia en el aire para que en ella se pueda iniciar y mantener una combustión independiente de la fuente de calor.

- **Transferencia de calor**

La transferencia de calor es la propiedad que actúa en el comienzo o en la extinción de la mayor parte de los fuegos. El calor se transfiere por uno de estos tres medios: conducción, convección o radiación.

- *Conducción:* Es la transferencia de calor por contacto directo entre dos cuerpos.
- *Convección:* Por la *convección*, el calor se transfiere a un medio circundante, gaseoso o líquido. Así, el calor generado por una estufa se distribuye por una habitación al calentarse el aire por conducción, pero el calentamiento de los objetos que se encuentren en la habitación distantes de la estufa, a través de la circulación del aire caliente, se debe a la transferencia por convección. El aire caliente se expande y se eleva, y por esta razón la transferencia de calor por convección ocurre en sentido ascendente aunque puede conseguirse que las corrientes de aire transfieran el calor por convección en muchas direcciones.



- **Radiación:** Se habla de radiación, cuando la energía se mueve a través del espacio o de los materiales en forma de ondas, que se mueven a la velocidad de la luz. Al entrar en contacto con un cuerpo, éste las absorbe, las refleja o las transmite.

- **Pirólisis:**

Proceso de descomposición química debido a la acción del calor. Cuando se aplica cierta cantidad de calor a una sustancia se produce una reacción química que la descompone en sustancias nuevas.

La sustancia original se descompone en moléculas (elemento más pequeño que puede existir independientemente) que vuelven a unirse con otras formando sustancias nuevas. Por ejemplo la madera está formada por hidrógeno (H), carbono (C) y oxígeno (O₂), siendo su fórmula química: C₆H₁₀O₅.

Cuando tiene lugar la pirólisis en la madera se producen las siguientes sustancias:

- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Vapor de agua (H₂O)
- Partículas de carbono (C)
- Monóxido de Carbono (CO)

- **Explosiones:**

La explosión es un efecto producido por una expansión violenta y rápida de gases.

- **Deflagración:**

Se llama deflagración a una reacción exotérmica que se propaga a través de los gases ardientes por conducción, convección y radiación, a un material que todavía no ha entrado en reacción. En este proceso, la zona de combustión avanza a través de la materia a una velocidad inferior a la del sonido dentro de los materiales sin reaccionar.

- **Detonación:**

Es una reacción exotérmica caracterizada por la presencia de ondas de choque en el material que establece y mantiene la reacción. Una característica diferenciadora estriba en que la zona de reacción se propaga a una velocidad mayor que la del sonido dentro del material sin reaccionar. El principal mecanismo calorífico es el de la compresión por choque; el aumento de la temperatura se relaciona directamente con la intensidad de la onda expansiva en lugar de venir determinado por la conducción térmica.



- **Flameover**
 - Inflamación de la capa caliente de gases.
 - Rápida propagación de las llamas sobre una o varias superficies (NFPA).
 - Inflamación de los gases depositados sobre paredes, techos y suelos.
- **Rollover**
 - Ignición esporádica de gases combustibles a nivel de techo durante la fase de crecimiento de un incendio. Es síntoma de un flashover.
 - Inflamación de la capa de gases sin que se inflame el resto del contenido de la habitación.
- **Flashback**
 - Ignición repentina de los humos inflamables acumulados en una habitación después de que el fuego haya sido extinguido con un extintor o manguera.
- **Descarga disruptiva**
 - Término utilizado como sinónimo de flashover. Transición rápida a un estado de propagación total de un fuego a todos los materiales combustibles dentro de un compartimiento.