

FLASHOVER:

DESARROLLO

Y

CONTROL

*José Miguel Basset Blesa
Oficial jefe de Guardia
Ingeniero Técnico Químico
Instructor para Flashover por el Råddningsverket*



INDICE

- 1. Introducción**
- 2. Desarrollo de Incendios: Conceptos Previos**
 - 2.1. Comportamiento de la Materia según su Estado Físico**
 - 2.1.1. Estado Gaseoso**
 - 2.1.2. Estado Líquido**
 - 2.1.3. Estado Sólido**
- 3. Teoría Básica del Desarrollo de Incendios**
 - 3.1. Combustión**
 - 3.2. Agentes Pasivos**
 - 3.3. Tipos de Llama**
 - 3.4. Gases de Incendio**
 - 3.5. Pirolisis**
 - 3.6. Inflamabilidad de los Gases de Incendio**
- 4. Límites de Inflamabilidad**
 - 4.1. Límite Inferior de Inflamabilidad**
 - 4.2. Límite Superior de Inflamabilidad**
 - 4.3. Rango de Inflamabilidad**
 - 4.3.1. Fuentes de Ignición**
 - 4.4. Factores de Influencia**
- 5. Desarrollo de Incendios en Recintos Cerrados**
 - 5.1. Fases del Incendio**
 - 5.2. Factores de Influencia**

- 6. Flashover: Evolución y Concepto**
 - 6.1. Flashover**
 - 6.2. Backdraught**
 - 6.3. Explosiones de Gas de Incendio**
 - 6.4. Señales y Síntomas**
- 7. Control de Flashover y Backdraught**
 - 7.1. Extinción de Incendios**
 - 7.2. Técnicas de Extinción**
 - 7.2.1. Ataque Indirecto**
 - 7.2.2. Ataque Directo**
 - 7.3. Enfriamiento de los Gases de Incendio**
- 8. Consideraciones Finales**
 - 8.1. Procedimientos de Acceso**
 - 8.2. Control de Temperatura**
 - 8.3. Desplazamiento entre Compartimentos**
 - 8.4. Observación de los Gases de Incendio**
 - 8.5. Consideraciones en Incidentes**

Anexo Técnico

Bibliografía

1 INTRODUCCIÓN

Tras una serie de años durante los cuales se ha especulado acerca de los fenómenos conocidos como flashover, backdraught ó backdraft y explosiones de gases de incendio, así como la terminología difundida procedente de los primeros tratados fundamentalmente Suecos tales como flashover pobre, rico, rico y caliente y rico y retrasado, los diferentes instructores a nivel internacional que trabajamos en el entrenamiento sobre flashover, hemos decidido en base a la experiencia adquirida en los últimos años, establecer una unificación de criterios en cuanto a la terminología utilizada, los cuales permitan por un lado comprender en profundidad por parte del bombero y de los futuros instructores el comportamiento en el desarrollo de incendios en interiores y por otro eliminar toda la terminología que atendiendo a una falta de rigor científico en cuanto a su exposición teórica ha podido dar lugar a confusión en la comprensión del fenómeno.

En base a ello se han respetado los principios establecidos a raíz de las investigaciones llevadas a cabo a principios de los años 80 donde un flashover que mató a dos bomberos Suecos, los bomberos de Estocolmo comienzan a practicar las técnicas desarrolladas por Gisselson y Rosander los cuales se propusieron proteger a los bomberos de los Flashovers, Backdraughts y de los riesgos de las explosiones de los gases de incendio. Estas técnicas suponían la utilización de las lanzas de agua pulverizada (recurriendo a la técnica de "pulsaciones " de la lanza). El objetivo era el de evitar el contacto con las superficies calientes, paredes y techos y colocar pequeñas cantidades de gotas de agua directamente en el seno de los gases del incendio de forma que el efecto refrigerante fuese el máximo. Esta forma de aplicación evitaba la masiva expansión del vapor y otros problemas asociados con el ataque "indirecto" con agua-nebulizada generando a su vez un entorno seguro y confortable para que los bomberos avanzasen en el interior del recinto incendiado antes de atacar el foco primario del incendio. El concepto Sueco (también denominado "**ataque ofensivo**") se basó fundamentalmente en el conocimiento acerca del proceso de desarrollo del incendio y se incidió de forma decisiva en la observación de los signos de peligro específicos, los cuales durante un incendio en un recinto cerrado pueden llevar a la ignición de los gases de incendio, dando lugar a episodios de Flashover y Backdraught. Los beneficios de las aplicaciones de agua-nebulizada de forma ofensiva son iguales para situaciones de incendio previas on posteriores al punto de flashover y/o backdraught.

Las "soluciones tácticas" e implicaciones de formación asociadas con la aplicación de agua para el control de las condiciones del entorno en el interior de un compartimento/recinto incendiado, van más allá de las técnicas normales de extinción. Los conceptos adquiridos con este tipo de formación permiten alcanzar un elevado nivel de comprensión acerca del crecimiento y desarrollo de incendios; patrones sobre el comportamiento de incendios y

comportamiento de las capas de gases de incendio inflamables. Este espíritu está haciendo que a nivel internacional se acepte que la seguridad del Bombero es lo primero.

También es digno de mención que en Suecia no se ha registrado ninguna muerte o lesión seria, en los equipos de bomberos, como consecuencia de un flashover desde la introducción del entrenamiento en vivo sobre el comportamiento del fuego mediante el uso de simuladores de incendio desde hace más de 18 años.

2 DESARROLLO DE INCENDIOS: CONCEPTOS PREVIOS

Para intentar comprender el fenómeno que lleva a la materia a desencadenar un proceso de incendio, no podemos obviar el conocimiento básico de la composición de esta materia, pero sin embargo, antes de descender a niveles de complejidad que nos puedan apartar de nuestro objetivo principal, que es el de entender los mecanismos mediante los cuales se inicia y desarrolla un incendio, quizás deberíamos plantearnos la siguiente cuestión: ¿Que entiende el profesional de la extinción de incendios como incendio? o planteado de forma más simple ¿Qué es un incendio?.

En cualquier caso, lo más sencillo sería recurrir a nuestro eterno triángulo del fuego, sin embargo, aún recurriendo a él, no obtenemos una idea clara de lo que sucede ante nosotros cuando nos enfrentamos a un incendio, ya que en último caso las cuestiones serían ¿Es posible con tres líneas definir cual es la verdadera naturaleza de nuestro "enemigo"?, ¿Estamos dispuestos a luchar contra él con tan solo tres líneas?, aunque en último extremo también podríamos en un momento dado ampliar a cuatro, pero el resultado variará poco.

Si realmente nos hemos planteado alguna vez esta cuestión, vemos que la respuesta puede ser valida, la cuestión es ¿convence? o lo que es peor, ¿con esto podemos hacer frente al incendio?.

Por otra parte, y ante la imposibilidad de hacer frente a la técnica podemos hacer un acto de fe y dar por valido el triángulo, grave error, ya que a continuación comenzamos con los implacables átomos, electrones, radicales libres, oxidaciones y reducciones, los cuales vienen a completar el panorama técnico de la teoría de incendios.

Esto constituye una realidad, pero en esencia la pregunta sigue siendo la misma, aunque tal vez con un matiz, **"a escala real"** ¿Qué es un incendio?.

Mi opinión, como técnico en este caso, es que para deducir una teoría debemos efectuar un análisis del fenómeno a escala real e intentar aplicar los conocimientos técnicos de la forma más simple posible con el fin de saber como nace nuestro "enemigo" y de que forma crece, de esta forma, y ahora desde el punto de vista del estratega en la lucha contra incendios, podré conocer donde se encuentran sus puntos débiles y consecuentemente, una vez reconocido el grado de avance en que se encuentra nuestro "enemigo" poder establecer la mejor estrategia para el ataque.

Planteadas estas premisas, podemos comenzar el análisis sistemático del desarrollo de un incendio, para ello lo primero que debemos hacer es situarnos en el principio del proceso.

Para que un material se inflame, comience el proceso de combustión (podemos suponer un trozo de madera en un espacio exterior) es necesario que apliquemos una llama (es decir, una fuente de energía), cuando esta llama lleva un cierto tiempo incidiendo sobre el material

observamos que éste comienza a emitir una serie de vapores por lo general de color blanco (podemos pensar en el proceso de encender una hoguera con leña, si le aplicamos un trozo de pastilla de encender, vemos como inicialmente comienza a aparecer una gran columna de humo blanco).

Si nos detenemos en este punto, y analizamos lo ocurrido hasta aquí, veremos que lo que ha ocurrido es que hemos calentado el material con la fuente de energía que nos proporciona la llama y por lo tanto se ha elevado la temperatura del mismo, como nuestro material en general es poroso, tiende a retener agua en su interior, y si nos hemos fijado en los incendios que hemos apagado, podemos reconocer que los humos blanquecinos que se desprenderán en este caso corresponden al vapor de agua que se ha liberado procedente del agua contenida en la estructura del material, de hecho si separamos estos humos e intentamos su ignición acercando otra llama, observamos que no arden, es más, dependiendo de su cantidad podrán incluso extinguir la llama.

Si seguimos aplicando nuestra llama al material inicial, observamos como el humo que se desprende comienza a hacerse más denso y si lo observamos con atención, vemos como con el tiempo aumenta la velocidad con que este se produce, hasta que llega un momento en que en el seno de este humo o gases comienzan a aparecer algunas pequeñas lenguas de fuego.

Volvamos a detenernos en este punto para analizar lo ocurrido, en principio observamos el fenómeno de la aparición de un mayor volumen de gases, lo cual nos indica que si bien inicialmente se podía tratar del agua contenida en el material, ésta en un momento determinado se agotará, y si esto es así, ¿de donde procede el gas que cada vez con mayor intensidad se libera?. Podemos pensar ciertamente que si necesariamente el agua se ha agotado como consecuencia de su evaporación o desecación, sería el término más correcto, la composición de los humos que siguen apareciendo deben ser procedentes del propio material. Esto nos lleva a pensar que mediante nuestro proceso de aporte energético a un material en estado sólido constatamos que este no arde de forma directa en dicho estado, sin embargo por efecto del calor se genera un material en estado gaseoso procedente del sólido que como podemos observar sí arde, de hecho, si apagamos la llama (retirando la pastilla incendiaria) y la aproximamos a los gases que se están generando vemos que estos se quieren volver a inflamar (este fenómeno se observa mejor cuando intentamos encender una estufa de leña, donde si la llama no es suficiente y el material está caliente y emitiendo gases, en un momento determinado cuando aplicamos la llama nuevamente todo este vapor se inflama a la vez). Finalmente podemos concluir de toda esta fase, que lo que ha ocurrido con nuestra materia sólida original, es que mediante el aporte de una energía en este caso proporcionada por la llama durante un cierto periodo de tiempo, hemos sido capaces de transformar parte de este material sólido en material en forma de gas, el cual además es inflamable.

Podemos llegar más lejos aún en nuestras afirmaciones y decir que el material original en estado sólido, estaba constituido por diferentes componentes, ya que estos se han hecho tangibles con posterioridad al convertirse en gases, además, antes de que aplicásemos una energía estos componentes mantenían un estado de equilibrio en su fase de sólido y esto solo puede ser debido a que sus componentes básicos, (a los cuales podemos denominar como átomos o moléculas), se encontraban unidos por una determinada fuerza (o energía sería más propio decir) que hacía que se mantuviesen unidos entre sí, y que esa energía con la cual se mantenían unidos ha sido superada por la que nosotros hemos aplicado mediante la llama durante un periodo de tiempo, y que por tanto necesariamente esta ha tenido que ser mayor que la energía que mantenía al sólido estable en su estado inicial, lo cual ha generado la ruptura de la estructura del material y como consecuencia han sido liberadas otras especies (materiales en estado gaseoso) procedentes del mismo, las cuales presentan un raro fenómeno, que consiste en emitir de forma esporádica pequeñas lenguas de fuego que rápidamente se extinguen.

Si continuamos con nuestro pequeño ejercicio de contemplación, veremos que en la medida en que mantenemos presente nuestra fuente de energía y el tiempo transcurre, los gases procedentes del material sólido inicial se generan con mayor velocidad y por tanto van adquiriendo mayor volumen, hasta que llega un momento en que las pequeñas trazas de llama iniciales se convierten en una llama sólida y mantenida y por ende el humo desaparece del entorno del proceso.

Si avanzamos en nuestro análisis, podemos inducir los siguientes razonamientos: si aceptamos como hecho que nuestro sólido inicial se ha desintegrado y a formado unas especies gaseosas, es lógico pensar que estas son las que genéricamente componen el humo. Si consiguiésemos aislar estos humos y llevarlos aparte podríamos apreciar como al aplicarles una fuente de ignición estos se inflaman, luego este gas está compuesto por partículas que en presencia de una fuente de energía suficiente, son capaces de generar un efecto de luz y calor que es lo que conocemos como llama. Sin embargo, la cuestión que ahora se plantea es, ¿qué le ocurre a este gas para que se pueda inflamar?

Para responder a esta pregunta, debemos pensar que hemos partido de una estructura sólida en la cual sus componentes se mantenían unidos por una fuerza o energía determinada, hemos aplicado la suficiente cantidad de energía como para poder romper esta cohesión generando una serie de productos distintos del original, ya que estos se inflaman. Desde un punto de vista energético, estos productos contienen mayor energía que los originales, y esto es lógico ya que la hemos aportado nosotros con medios externos (la llama), en términos simples dispondrán de su energía original más la que hemos aportado, resulta también lógico pensar que estos productos energéticamente sobrecargados tiendan a estabilizarse formando otros productos más estables, o lo que es lo mismo, de una energía más baja.

Llegados a este punto diremos que técnicamente los productos que hemos denominado como “energéticamente cargados” son lo que conocemos como radicales libres, y se denominan así precisamente porque son inestables y van a tener una fuerte tendencia a combinarse o reaccionar con otros productos, para generar formas estables de energía final menor que la inicial.

Con estos datos, podemos empezar a intuir que es lo que realmente está sucediendo, ya que si pensamos que los gases de combustión son emitidos al aire, en este elemento disponemos de un producto que se encuentra en un 21% de concentración y que es el oxígeno, el cual por otra parte resulta que tiene una capacidad muy grande de combinarse con estos productos activos para generar compuestos estables como puede ser el dióxido de carbono (CO_2).

Finalmente podemos concluir que hemos provocado la aparición de un producto gaseoso con gran cantidad de energía contenida en él y cuando éste ha encontrado la forma de estabilizarse mediante la reacción con el oxígeno, ha dado origen a un nuevo compuesto estable de energía mucho menor que la que tenía como “producto activado”, e incluso que la que tenía en su estado inicial como sólido, y por otra parte, la gran cantidad de energía acumulada en exceso durante todo este proceso, sencillamente se ha disipado en forma de luz y calor, que es al fin y al cabo lo que entendemos como llama.

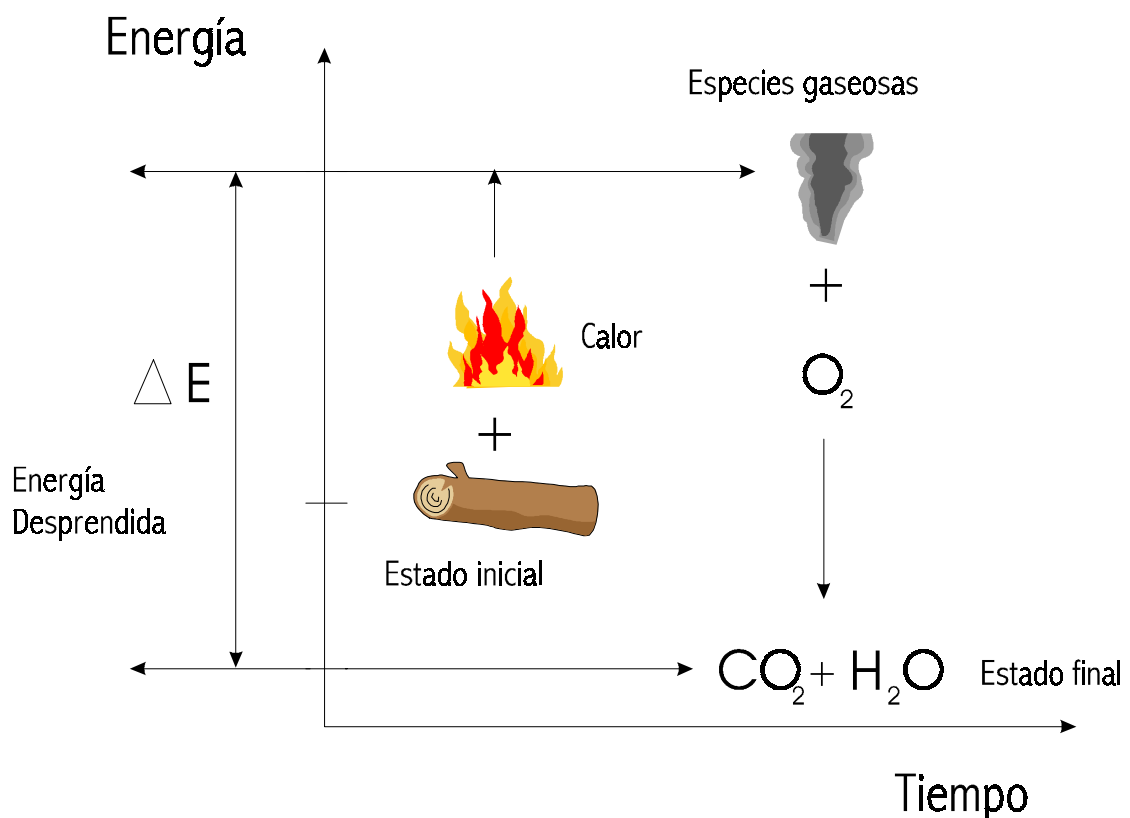


Figura 2.1: Diagrama de energías

De esta forma hemos definido lo que se conoce como reacción de oxidación exotérmica, que es lo que en definitiva es un incendio: *“una reacción de ciertos productos con el oxígeno del aire que como resultado genera un fenómeno de luz y calor”*. Y es precisamente este calor generado el que se encarga de cerrar el ciclo, es decir, no seguiremos necesitando el inflamador inicial para que este proceso se mantenga por sí mismo, o se autosustente, ya que el aporte de energía que necesitamos lo está produciendo el mismo proceso de reacción.

Cuando la evolución de la reacción alcanza este estado *“cíclico”*, es a lo que se refiere cuando se habla de reacción en cadena, la cual se mantendrá mientras nos quede el combustible primario, es decir, nuestro sólido inicial.

Una vez analizados los efectos a nivel macroscópico desde el inicio del incendio hasta que éste es capaz de automantenerse, y antes de continuar analizando las diferentes circunstancias que pueden darse en su desarrollo posterior, no tenemos más remedio que entrar en algunos aspectos técnicos que nos permitan acabar de comprender el fenómeno en un contexto más amplio. Para ello vamos a ver como se comportan los materiales en un proceso de incendio según el estado físico en que se encuentran.

2.1 COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA SEGÚN SU ESTADO FÍSICO

2.1.1 Estado Gaseoso

Resulta complicado intentar explicar como se comporta la materia en estado gaseoso, fundamentalmente porque en este estado la materia en la mayoría de los casos no es perceptible a simple vista, y por tanto si ya de por sí resulta complicado imaginarse unas partículas que hemos convenido en denominar como átomos o moléculas y que intuimos que componen los materiales, tanto más difícil resulta cuando la propia materia ni tan siquiera se puede ver.

En todo caso el panorama no se muestra tan desolador, ya que podemos hacer una abstracción bastante efectiva que nos dará una idea más clara de como se comportan los gases, para ello imaginaremos que se comportan como si fuesen líquidos, y de hecho así es, y al igual que entendemos perfectamente que el aceite flota sobre el agua, o que el azúcar se disuelve en el agua, debemos asimilar la idea para intentar comprender que los gases tienen diferentes densidades y por tanto unos flotan sobre otros (como es el caso del aire sobre el butano, ya que este lo buscamos a ras del suelo cuando existe una fuga) o bien unos son capaces de disolverse o mezclarse en seno de otros (como puede ser el caso del propio aire donde coexisten el nitrógeno y el oxígeno fundamentalmente).

Hecha esta pequeña pero necesaria abstracción, la primera idea que nos puede asaltar a la hora de analizar el comportamiento de los gases, es que si estos tienden a ocupar todo el espacio disponible (puede observarse la vaporización del agua, o el efecto de un extintor de CO₂) puede ser debido a que las partículas que lo componen no están unidas entre sí con demasiada fuerza (o energía), y por lo tanto estas partículas tienden a dispersarse en el entorno donde se les deja y que precisamente es por esta razón que la movilidad de las partículas que los componen así como su capacidad de difusión son en general grandes.

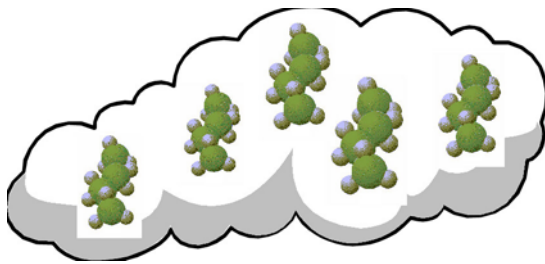


Figura 2.2: Moléculas de Butano

CARACTERÍSTICAS

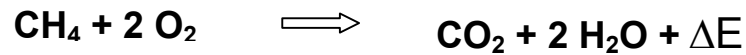
- ***Enlaces entre partículas débiles (de poca energía)***
- ***Gran capacidad de movilidad y difusión***
- ***Tendencia a ocupar todo el espacio disponible***

La forma en que la aplicación de una fuente de calor (energía) puede afectar a la materia que se encuentra en este estado seguiría el siguiente proceso.

En principio, resulta lógico suponer que con una fuente de energía relativamente baja podamos vencer la fuerza que mantiene unidas estas moléculas, y de hecho en lo que a los gases inflamables se refiere así es. Debemos pensar que al encontrarse la materia en estado gaseoso, no precisamos de un aporte de energía para alcanzar esta fase.

Si consideramos el proceso definido para el desarrollo de un incendio, tras el aporte inicial de energía al compuesto original, obtendremos unos productos secundarios que denominamos "productos activados" que en el caso de los gases serán moléculas de gas activadas, estas son altamente energéticas o visto desde otro punto de vista reactivas, y como sabemos, estas tenderán a alcanzar un estado de equilibrio, lo cual van a conseguir uniéndose o combinándose con el oxígeno del aire y generando como resultado una gran cantidad de energía, debido a que los productos generados van a ser mucho más estables que los originales (por lo general dióxido de carbono y agua).

Si tomamos como ejemplo la combustión del metano (CH_4), el esquema del proceso que tiene lugar sería el siguiente:



Donde ΔE representa la energía liberada por la reacción.

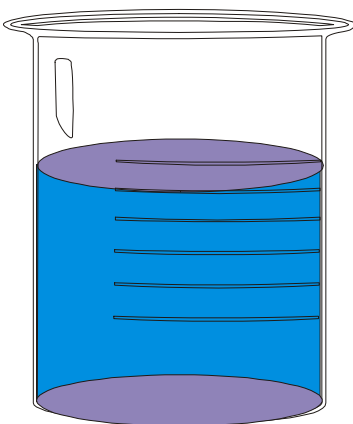
Para hacernos una idea de los valores de los que estamos hablando, diremos que la energía necesaria para activar un gramo (aproximadamente 1,4 litros en condiciones normales) de metano es de unas 750 calorías mientras que la energía liberada por la misma cantidad en el proceso de combustión, ΔE , es de 11.875 calorías.

Finalmente, debemos decir también que en estado gaseoso la velocidad a la que transcurre el proceso es muy alta con lo cual el desprendimiento de energía puede llegar a aparecer en forma de onda de choque.

2.1.2 Estado Líquido

El estado líquido de la materia es más asequible a nuestro entendimiento, ya que desde el punto de vista del trabajo de campo podemos verlo y apreciar sus cambios.

La primera apreciación que nos podemos plantear acerca de la materia en este estado, es que, a diferencia que en el estado gaseoso las partículas se encuentran unidas con una mayor cohesión, ya que la materia en este estado presenta una movilidad menor y su capacidad de difundirse queda limitada a su tensión superficial, lo cual se observa fácilmente ya que los líquidos tienden a permanecer con la forma del contenedor donde se les aloja.



CARACTERÍSTICAS

- *Enlaces entre partículas más fuertes*
- *Menor capacidad de movilidad y difusión limitada a su tensión superficial*
- *Tendencia a adquirir la forma del recipiente*

Figura 2.3: Estado líquido

En consecuencia la energía que necesitaremos para activar un combustible líquido será mayor que en el caso de los gases, ya que deberemos conseguir como paso previo convertir al menos una cantidad mínima del material en estado gaseoso rompiendo así su cohesión molecular, lo cual supone un aporte extra de energía para provocar el cambio de estado.

La energía que deberemos aplicar será como mínimo la suficiente como para conseguir transformar el mínimo número de moléculas gaseosas activadas del producto para que pueda tener lugar el proceso de combinación con el oxígeno.

A partir de este momento el proceso se desarrollará igual que si de un gas se tratase, aunque las reacciones son menos energéticas que con los gases.

2.1.3 Estado Sólido

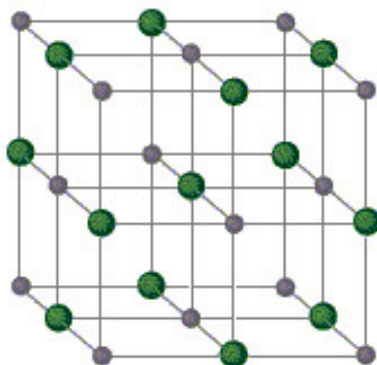
Desde un punto de vista energético, se precisa aportar una cantidad de energía mayor que en los casos anteriores para conseguir la activación del producto sólido y romper así su cohesión molecular.

La energía aplicada debe ser la suficiente como para hacer que las partículas abandonen las posiciones que ocupan en la estructura del material y pasen a la fase gaseosa.

Una vez en fase gaseosa, deberá existir la mínima concentración necesaria para que comience la reacción. A partir de este momento el proceso se desarrollará igual que si se tratase de un gas.

La cantidad de energía necesaria en este estado, es mayor que en los casos de los líquidos y de los gases. Normalmente las reacciones son menos energéticas que con líquidos o gases, debido básicamente al carácter de los productos obtenidos como consecuencia de la transformación en gases, ya que estos por lo general no suelen ser altamente energéticos, salvo en los casos de productos sólidos sintéticos.

Figura 2.4:
Estado sólido



CARACTERÍSTICAS

- ***Enlaces entre partículas muy fuertes***
- ***Capacidad de movilidad de partículas prácticamente nula.***
- ***Tienen forma propia y definida***

3 TEORÍA BÁSICA DEL DESARROLLO DE INCENDIOS

Hemos descrito de forma más o menos intuitiva como se desarrolla un incendio desde un enfoque macroscópico del fenómeno, vamos ahora a introducir una serie de conceptos y terminología utilizada con frecuencia en la teoría de incendios que a la vez nos permita resumir los conceptos expresados y añadir nuevos conceptos.

3.1 COMBUSTIÓN

Podemos resumir que el fuego es básicamente una reacción química en la cual el combustible se combina el oxígeno.

Esta reacción (combustión) necesita energía (calor) para que se inicie el proceso, emitiendo de esta manera luz y calor.

Para que una combustión ocurra se requieren los siguientes factores:

CALOR	-Energía
COMBUSTIBLE	-Puede encontrarse en uno de los tres estados, Sólido, Líquido o Gas. Para que ocurra una combustión con llama, un sólido o líquido debe transformarse a su estado vapor.
OXÍGENO	-El combustible se mezcla con el aire y reacciona con el oxígeno.

Este proceso se conoce comúnmente como el "**TRIANGULO DEL FUEGO**" Cuando se dispone de estos tres factores **y en las proporciones correctas**, la combustión ocurrirá. A partir del momento en que el proceso es capaz de aportarse a sí mismo la suficiente cantidad de energía como para mantener una emisión de gases constantes (**Radicales Libres**), el proceso se entenderá como automantenido, cuando se alcanza este estadio, comúnmente se conoce como "**TETRAEDRO DEL FUEGO**".

3.2 AGENTES PASIVOS

Como se ha mencionado anteriormente, existen tres caras para el triangulo del fuego, lo cual requiere que el combustible, el calor y el oxígeno deben estar presentes para que la combustión ocurra. Sin embargo existe un factor más que afectará al triangulo. Este factor puede denominarse como "**agentes pasivos**".

Los agentes pasivos o "pasivos" como comúnmente se les denomina, están presentes en cualquier proceso de combustión y no toman parte en la reacción química de combustión. Pero el hecho de que absorberán o robarán la energía (calor) afectará sobre el comportamiento del fuego.

Ejemplos de Agentes Pasivos son:

Gases no Inflamables	-	Dióxido de carbono, vapor de agua
Hollín	-	Partículas de carbón
Agua	-	Temperatura y humedad
Nitrógeno	-	Un componente del aire que permanece inerte a través de la combustión



Figura 3: Triángulo del Fuego

3.3 TIPOS DE LLAMA

La apariencia de la llama producida por la combustión de una sustancia puede facilitar información al bombero acerca de la eficacia (rendimiento) del proceso de combustión. En estas notas dividiremos la apariencia de la llama en dos tipos: Llamas de difusión y premezcladas.

3.3.1 Llamas de Difusión

Sabemos que el tipo de llama que resulta de un quemador Bunsen cuando la apertura del aire está cerrada es una llama lenta, brillante y lacia. El oxígeno, vital para la combustión, es arrastrado desde el área circundante a la llama. Todos hemos visto este tipo de llama cientos de veces, la de una vela por ejemplo. Ahora podemos considerar el hecho de que el rendimiento en el proceso de combustión de una vela es del 25%, teniendo esto en cuenta, podemos imaginar un incendio de intensidad media en una sala de estar donde existe un sofá



quemándose y produciendo llamas de difusión, ahora sabemos que esta combustión relativamente ineficiente está liberando grandes cantidades de combustible sin quemar (gases de incendio) en el interior de la habitación.

3.3.2 Llamas Premezcladas

Si volvemos a nuestro quemador Bunsen descrito anteriormente y abrimos el paso de aire lentamente, esto permite al oxígeno y al combustible mezclarse de forma previa antes de ocurra la combustión aumentando considerablemente la eficacia de la misma, lo cual se demuestra por el color, temperatura y velocidad de la llama. La cantidad de combustible sin quemar (gases de incendio) se reduce de forma drástica.



Llamas Premezcladas

- ✓ Gases mezclados antes de la ignición
- ✓ Por consiguiente arden limpiamente
- ✓ Llama más caliente la cual puede distinguirse por:
 - ✓ El color de la Llama (azul)
 - ✓ Mayor ruido
 - ✓ Mayor velocidad de deflagración
- ✓ Llama más estable pero más difícil de delimitar su borde debido a lo borroso de su perfil
- ✓ Mayor eficacia de la combustión

Llamas de Difusión

- ✓ Gases no mezclados antes de la ignición
- ✓ Por consiguiente no arden limpiamente
- ✓ Llama más fría la cual puede distinguirse por:
 - ✓ El color de la Llama (naranja / rojo)
 - ✓ Menor ruido
 - ✓ Menor velocidad de deflagración
- ✓ Perfil de la llama definido
- ✓ Menor eficacia de la combustión

!!! EN LA MAYORÍA DE LOS INCENDIOS EN LOS QUE SE INTERVIENEN LOS EQUIPOS DE BOMBEROS SE PRODUCIRÁN LLAMAS DE DIFUSIÓN!!!

3.4 GASES DE INCENDIO

Cuando se habla de los productos de la combustión (humo) se está refiriendo a los propios **Gases de Incendio** generados por el mismo, subproductos de combustión, y agentes pasivos presentes, de manera que su composición será:

GASES NO INFLAMABLES	-	Principalmente dióxido de carbono y vapor de agua
GASES INFLAMABLES	-	Debidos a la pirolisis y combustión incompleta, incluye el monóxido de carbono
AIRE	-	Fundamentalmente Nitrógeno (79%) y Oxígeno (21%)
HOLLÍN	-	Partículas de carbono

3.5 PIROLISIS

Se define como pirolisis la descomposición de una sustancia por el calor.

Todas las sustancias, si se les aplica calor, se descompondrán desde su estado sólido o líquido al estado vapor. Esto es debido al efecto que provoca el calor cuando se aplica sobre las moléculas, las cuales lo absorberán y comenzarán a hacerse más inestables de forma progresiva a medida que se descomponen a través de los diferentes estados de la materia.

Por tanto si una sustancia, que se encuentre como sólido o líquido se calienta, esta emitirá gases. A la temperatura y condiciones de mezcla adecuadas estos gases serán inflamables.

El contenido y estructura (pintura, madera, plásticos, textiles, etc.) de un compartimento producirán gases inflamables debidos a la pirolisis, cuando son calentados. La cantidad de material pirolizado aumentará en la medida que la temperatura aumente.

La PIROLISIS puede tener lugar a partir de los 80 °C. La pirolisis de la madera tiene lugar entre los 150 - 200 °C.

3.6 INFLAMABILIDAD DE LOS GASES DE INCENDIO

El análisis de la inflamabilidad de los gases procedentes de la pirolisis debe considerarse como el de cualquier otro gas inflamable, sin embargo, existe un factor que diferencia claramente unos de otros, mientras los gases de pirolisis están compuestos por una mezcla de diferentes componentes que son función de los materiales que intervienen en el proceso y de las propias condiciones del incendio (cantidad de oxígeno presente, temperatura, etc.), el resto suelen ser gases de composición simple, es decir, de un solo componente (butano, propano, etc.).

Precisamente esta característica, hace que sea difícil aplicar los criterios de inflamabilidad de un gas simple a los gases de incendio, con lo que ello comporta.

Así pues, resulta difícil determinar con exactitud tanto los límites de inflamabilidad de estos gases como su propio rango, el cual, además, se ve influenciado en el caso de un incendio por la temperatura y la concentración de oxígeno, pudiendo incluso no presentar inflamabilidad si la temperatura no es lo suficientemente elevada y el valor de la mezcla ideal es alto.

Vamos a analizar en que consisten estos límites y como varían en función de las condiciones del incendio.

4 LÍMITES DE INFLAMABILIDAD

En una mezcla de gases, como las que componen los gases de incendio, existen una serie de moléculas diferentes entre sí sometidas a la acción del calor, este calor como forma primaria de energía transfiere movimiento a estas moléculas, además del que poseen por ellas mismas.

En este estado, las moléculas de gas más ligeras se mueven con mayor rapidez que las más pesadas, provocándose choques entre ellas que hacen que la energía interna del gas aumente, tanto por parte de las moléculas ligeras como de las pesadas.

A medida que este calor aumenta las moléculas incrementan su movimiento aumentando paulatinamente el número de choques entre ellas y por consiguiente su nivel energético.

El progreso de esta situación nos conduce a un estadio, en el cual la energía acumulada por el gas es superior a la energía que cohesionan las moléculas, y estas acaban por romperse por

efecto de los choques, es decir, se desintegran. Si existe oxígeno suficiente en los alrededores, el combustible activado junto con él oxígeno se inflamarán. El aporte de oxígeno al combustible (oxidación) genera una reacción que desprende calor (exotérmica) gracias a la energía (calor) aportada por el mecanismo antes descrito.

Podemos decir pues, que la inflamabilidad de un gas es una consecuencia mecánica favorecida por una fuente de energía que es el calor, pero pueden existir otras fuentes de origen distinto como pueden ser ondas de choque, o la combinación de ondas de choque y calor.

Llegados a este punto, debemos hacer una reflexión acerca de lo expuesto, de tal forma que seamos capaces de comprender el significado de la influencia de la presencia de oxígeno en la ignición de los gases.

4.1 LÍMITE INFERIOR DE INFLAMABILIDAD

En efecto, la sola disgregación de las moléculas no es suficiente para que la inflamación se produzca, es necesario además que el número de moléculas que se disgregan sea el suficiente para que, con el también imprescindible oxígeno del aire, comience la reacción de combustión.

El número mínimo de moléculas de combustible que se precisa para que esta ignición se produzca, constituye la concentración de gas de incendio mínima necesaria para que este se inflame en una reacción de combustión con el oxígeno, y al valor de esta concentración con respecto al volumen total de gases en un recinto se le denomina como el *Límite Inferior de Inflamabilidad (L.I.I.)* el cual se mide como porcentaje en volumen.

Para efectuar una aproximación sobre un caso real, consideraremos una habitación que podría ser la cocina de cualquier casa, si nosotros abrimos la espita del gas y a la vez en el otro extremo de la estancia alguien encendiese un mechero, no ocurriría ningún efecto sobre el gas que fuga de la cocina, sin embargo si dejamos que la espita del gas siga vertiendo moléculas en el recinto y mantenemos la llama encendida al cabo de un cierto tiempo se produciría la inflamación del gas.

Este hecho es debido a que, si por ejemplo, estamos hablando de gas propano, será necesario que en el recinto la concentración de este alcance el 2% del volumen total para comenzar la ignición, a este porcentaje es a lo que se denomina L.I.I. por debajo de este nunca obtendremos inflamación en condiciones normales.

4.2 LÍMITE SUPERIOR DE INFLAMABILIDAD

Si seguimos con la experiencia anterior, pero esta vez dejamos que la cocina se llene de gas propano, sin que exista una llama o fuente de ignición presente, observaríamos que pasado un cierto tiempo, cuando intentásemos encender la llama, curiosamente no se produciría ningún tipo de efecto, esto ocurrirá cuando la concentración de gas supere el valor del 10% del volumen total, y será como consecuencia de que la cantidad de oxígeno presente en el recinto no sea suficiente para reaccionar con la cantidad de gas existente.

A esta concentración de gas sobre la cual no es posible que exista combustión, se le denomina **Límite Superior de Inflamabilidad (L.S.I.)**.

Si representásemos de forma gráfica la curva del efecto del incendio sobre la concentración de combustible, obtendríamos algo similar a lo representado en la figura 4.1.

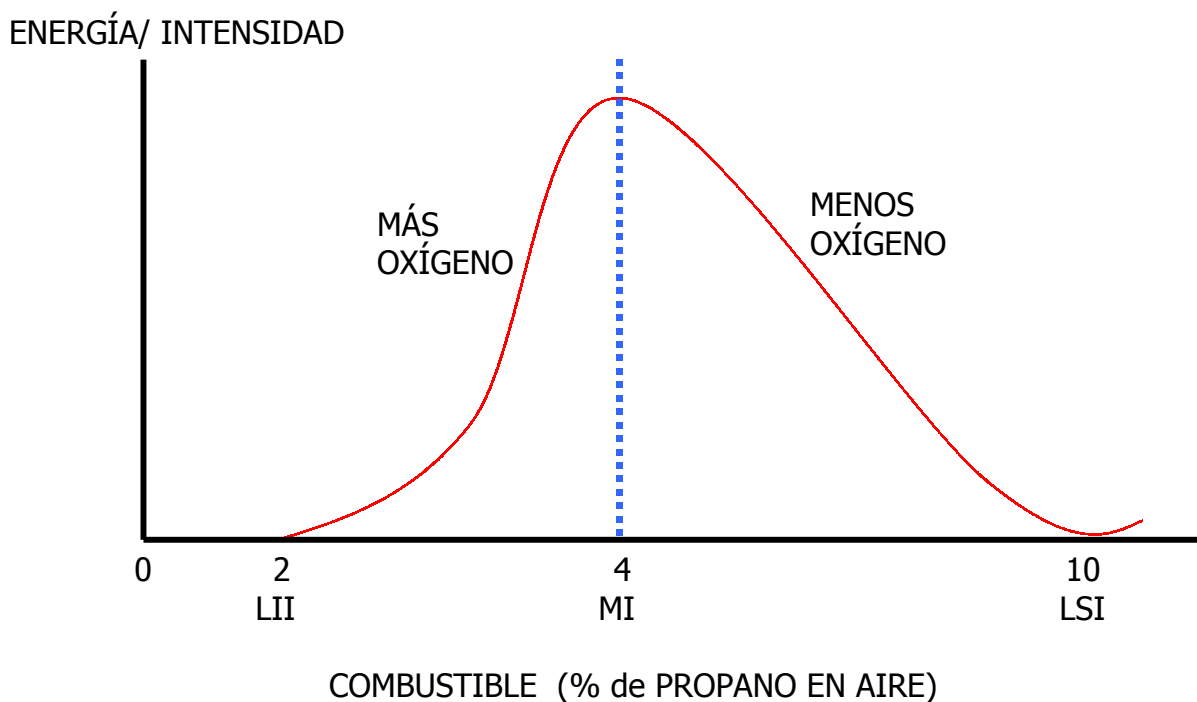


Figura 4.1: Límites de Inflamabilidad

4.3 RANGO DE INFLAMABILIDAD

Entre las cantidades comprendidas entre 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**.

Para cada gas, o mezcla de gases, existe una cierta concentración que es exactamente la necesaria para que su combinación con el oxígeno produzca una reacción al 100% efectiva o de rendimiento total, en este punto es donde mayor y más notable se hace la intensidad con que se da el efecto de la ignición, y se le denomina punto de **Mezcla Ideal (M.I.)**.

Es en este punto donde la mezcla arde a la perfección, mientras que en los límites lo hace con cierta dificultad.

A continuación se presenta la tabla 1 donde se pueden apreciar algunos de los valores típicos de inflamabilidad de algunos gases:

Producto	Límite Inferior	Mezcla Ideal	Límite Superior
Acetato de etilo	2.2	4.0	11.4
Acetileno	2.0	7.4	80.0
Acetona	2.0	4.8	13.0
Amoniaco	15.0	21.0	27.0
Benceno	1.4	2.6	7.0
Butano	1.8	3.0	9.0
Etano	3.0	5.4	12.5
Etanol	3.0	6.0	19.0
Gasolina	0.7	1.6	7.0
Hidrogeno	4.0	28.8	76.0
Metano	5.0	9.0	15.0
Metanol	6.0	12.0	37.0
Monóxido de Carbono	12.0	28.8	74.0
Pentano	1.4	2.4	7.8
Propano	2.0	4.0	10.0
Tolueno	1.2	2.2	7.0

Tabla 1: Límites de Inflamabilidad

Como conclusión podemos decir que si un compartimento contiene un gas inflamable, con aire, más una fuente de ignición, este solo puede arder si se da la condición que el gas/gases se encuentre dentro de su rango/rangos de inflamabilidad (es decir, entre el LII y el LSI).

Para alcanzar a comprender este efecto, podemos hacer una simple comparación con el motor de un coche. Consideremos que tenemos un carburador al que no se le suministra la suficiente cantidad de combustible para que el motor funcione, o dicho de otra forma la mezcla de gases es demasiado pobre, desde el punto de vista del combustible y el motor no conseguira arrancar. En el extremo contrario, un exceso de combustible que alimente al carburador originará el desbordamiento del motor con una mezcla demasiado rica en combustible, no consiguiendo funcionar tampoco. Cuando el carburador funcione correctamente, será cuando se haya alcanzado el valor de la mezcla ideal y la intensidad de la reacción será la máxima ya que la mezcla se habrá ajustado a sus valores ideales.

Es por esto que a menudo en los meses de invierno cuando el motor está frío se hace difícil arrancar, esto puede ser debido a que las condiciones meteorológicas frías actúen como agente pasivo, absorbiendo la (energía) de la reacción del combustible con las bujías. Así, si el motor está caliente o precalentado en el verano, la reacción a menudo es más rápida cuando se arranca el motor.

4.3.1 Fuentes de Ignición

Las fuentes de ignición juegan un papel importante en el efecto del incendio, ya que dependiendo del tipo de fuente el efecto alcanzará una mayor o menor magnitud.

Así mismo el momento en el tiempo en el que la fuente actúe va a ser determinante de la magnitud del efecto ocasionado.

Podemos distinguir tres clases de fuentes:

- Abiertas.
- Ocultas.
- Intermitentes.

Fuentes de Ignición Abiertas: son aquellas que permanecen constantemente activas en presencia de una fuga de gas o de una mezcla de gases, como puede ser el caso del propio foco del incendio durante la evolución del mismo, con este tipo de fuentes la ignición siempre se produce en el L.I.I..

Fuentes de Ignición Ocultas: son aquellas que permaneciendo constantemente activas, no actúan directamente sobre la capa de gases, este puede ser el caso de un quemador de gas que permanece dentro de su hornacina, como consecuencia permanece un poco al margen de la concentración de gases alrededor del receptáculo. Por lo general este tipo de fuente

retrasará la ignición de la mezcla y en consecuencia cuando esta se inflama se producirá un efecto más o menos grande dependiendo del punto del rango de inflamabilidad donde se encuentre en ese momento la concentración de gases.

Fuentes de Ignición Intermitentes: son aquellas que se activan de forma esporádica, como puede ser la puesta en marcha de una nevera, o el zumbador de un timbre, al igual que en el caso anterior el tipo de efecto a que dan lugar será función de la concentración de gases en el momento en que esta se active.

4.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RANGO DE INFLAMABILIDAD

Fundamentalmente son dos los factores que influyen en el rango de inflamabilidad:

- Temperatura.
- Concentración de oxígeno.

Efecto de la Temperatura: este efecto es especialmente importante, ya que la temperatura afecta tanto al combustible como al comburente, de tal forma que el aumento de esta actúa sobre dos factores, el de aporte de energía calorífica al combustible, mediante la cual este se aproxima a los valores correspondientes a la temperatura de inflamación del material y en consecuencia cantidades insignificantes de este pueden resultar inflamables, y la disminución del efecto refrigerante del aire excedente en el recinto.

De esta manera cuando la temperatura aumenta el rango de inflamabilidad se modifica tendiendo a desplazar el valor del L.L.I. hacia el valor cero en la misma proporción en que tiende a desplazar el valor del L.S.I. hacia valores más elevados con lo cual el rango o intervalo de inflamabilidad se amplía tal y como se muestra en la figura 4.2.

Se estima que un aumento de temperatura de alrededor de 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.

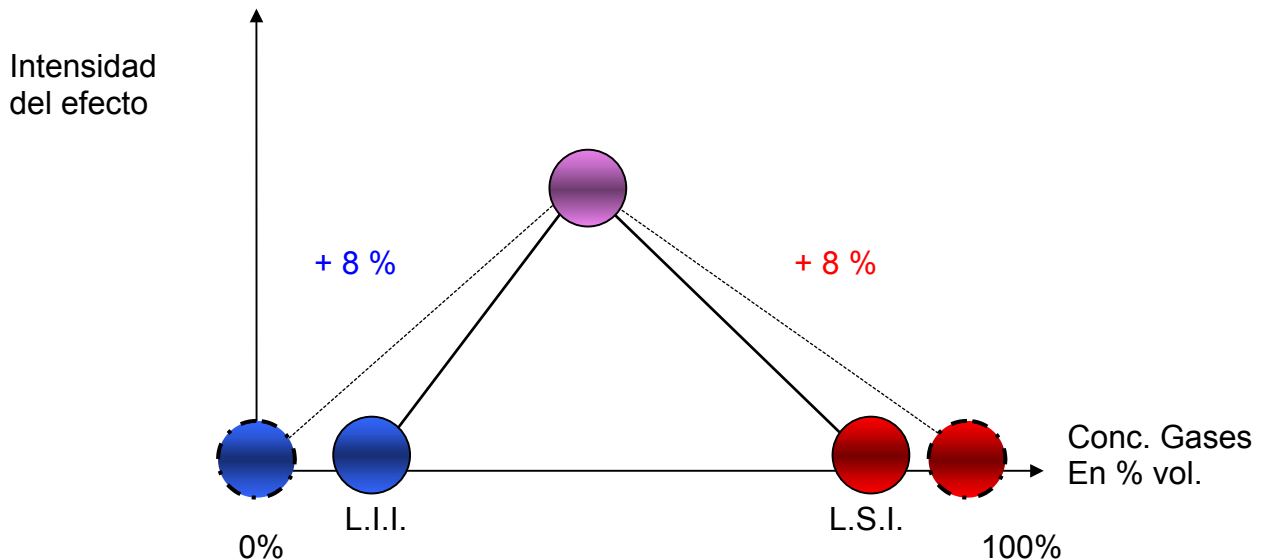


Figura 4.2: Variación del Rango de Inflamabilidad con la Temperatura

Efecto de la Concentración de Oxígeno: a diferencia de la temperatura, la variación en la concentración de oxígeno afecta a los límites de inflamabilidad de forma distinta, y la implicación es clara, si hemos definido la mezcla ideal como la cantidad de combustible que un volumen concreto de aire puede quemar, si el volumen de oxígeno contenido en el mismo se reduce, lógicamente la cantidad de combustible que pueda arder será menor, es decir el valor de la mezcla ideal se reduce.

Este efecto afecta de manera distinta a los dos límites. Por una parte en el L.I.I. la mezcla apenas es combustible, debido principalmente al efecto refrigerante del aire circundante en exceso, si el contenido de oxígeno en el aire es normal o bajo, apenas va a influir en el inicio de la combustión ya que las concentraciones de oxígeno en las proximidades de este límite están en exceso, todo se limitará a que una cantidad mínima de oxígeno esté presente para que la pequeña cantidad de combustible existente comience a arder.

Desde el punto de vista del L.S.I., el descenso de la concentración de oxígeno provocará un descenso del valor de la mezcla ideal de forma lineal, es decir contra menor sea la cantidad de oxígeno disponible más descenderá el valor de la mezcla ideal y en consecuencia el descenso del L.S.I. será aún más rápido, de tal forma que cuando la mezcla ideal y el L.S.I. coincidan con el L.I.I., no se producirá la inflamación, expresado en otros términos, la saturación o exceso de combustible producido por el incendio cuando existe una carencia de

oxígeno, alcanzará antes los valores superiores en el rango que si la cantidad de oxígeno es la normalmente requerida.

Una representación esquemática de este fenómeno puede observarse en la figura 4.3.

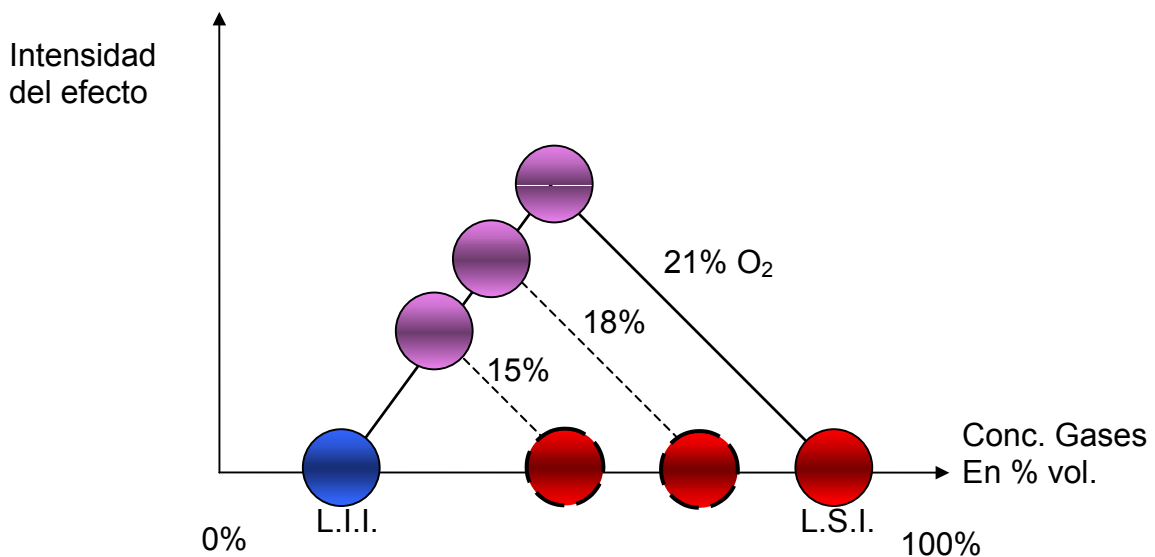


Figura 4.3: Variación del R. I. con la Concentración de Oxígeno

5 DESARROLLO DE INCENDIOS EN RECINTOS CERRADOS

Para que un incendio se desarrolle más allá del material primario en ignición, el calor debe ser transmitido más allá de dicho material hacia fuentes de combustible adicionales. En la primera etapa de un incendio, el calor aumenta y genera una pluma de gases calientes (columna de humo ascendente o cojín de gases del incendio). Si el incendio transcurre en un espacio abierto (en el exterior o en un gran edificio), la pluma crece sin ningún impedimento, y se alimenta de aire en la medida que crece. Precisamente porque este aire aportado a la pluma está más frío que los gases del incendio, esta acción tiene un efecto refrigerante en los gases generados por el incendio. La propagación del incendio en un área abierta se debe en origen a la energía calorífica que se transmite desde la pluma a los combustibles cercanos. La propagación del incendio en exteriores puede aumentar por la acción del viento y la inclinación del terreno que facilita el precalentamiento de los combustibles por exposición.

El desarrollo de incendios en recintos cerrados es mucho más complejo que los declarados en espacios abiertos. A los efectos de esta explicación, 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 de interior 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 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**, es decir, en este caso no existen limitaciones de combustible, pero no se dispone de la suficiente cantidad de oxígeno para que la combustión se mantenga.

5.1 Fases del Incendio

Recientemente, los investigadores han tratado de describir los incendios de interior en términos de etapas o fases que se suceden en la medida en que el incendio se desarrolla. Estas fases son las siguientes:

- Ignición
- Crecimiento
- Flashover
- Incendio totalmente desarrollado
- Decrecimiento

La figura 5.1 muestra el desarrollo de un incendio de interior en función del tiempo y la temperatura.

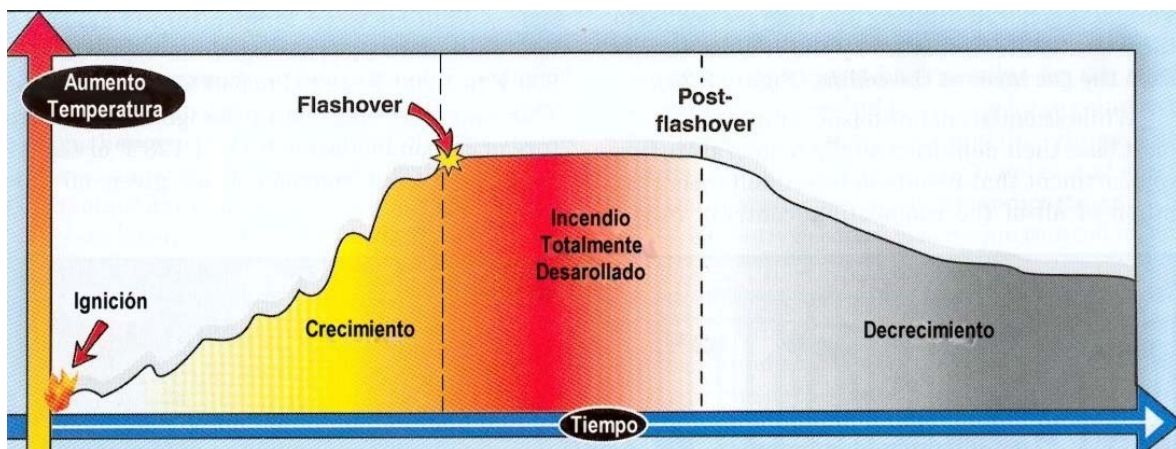


Figura 5.1: Curva Típica de Incendio

Debe entenderse que las fases representadas tratan de describir el complejo mecanismo mediante el cual se desarrolla el incendio sin que se actúe sobre él, es decir que se desarrolla libremente. La ignición y desarrollo de un incendio de interior es un proceso muy complejo y en él influyen muchas variables. Consecuentemente, no todos los incendios pueden desarrollarse a través de cada una de las etapas descritas. Lo que el gráfico intenta describir es la representación de un incendio como un suceso dinámico cuyo crecimiento y desarrollo depende de múltiples factores.

IGNICIÓN

La ignición describe el periodo donde todos los elementos capaces de iniciar el incendio comienzan a interactuar. El acto físico de la ignición puede ser *provocado* (causado por una chispa o llama) o *no provocado* (causado cuando un material alcanza su temperatura de ignición como resultado del autocalentamiento) tal como sucede en una combustión espontánea. En este punto, el incendio es pequeño y generalmente se restringe al material (combustible) que primero se incendia. Todos los incendios – en espacios abiertos o en recintos cerrados- ocurren como resultado de algún tipo de ignición.

CRECIMIENTO

Poco después de la ignición, comienza a formarse una pluma de incendio sobre el combustible incendiado. En la medida en que la pluma se desarrolla, comienza la succión o entrada de aire desde los espacios circundantes hacia el interior de la columna. El crecimiento inicial es similar al de un incendio que transcurre en el exterior, en un espacio no confinado, y su crecimiento está en función del combustible que ha comenzado arder en primer lugar. No obstante, a diferencia de un incendio no confinado, la pluma en un recinto cerrado se ve rápidamente afectada por la distancia al techo y las paredes del recinto. El primer factor de influencia es la cantidad de aire que entra en la pluma. Debido a que el aire está más frío que los gases calientes procedentes del incendio, el aire ejerce un efecto refrigerante en las temperaturas del interior de la pluma. La ubicación de la fuente de combustible en relación con las paredes del recinto determina la cantidad de aire que se introduce y en consecuencia el grado de enfriamiento que tiene lugar. Fuentes de combustible cercanas a las paredes implican un menor aporte de aire y por consiguiente unas mayores temperaturas en las plumas. Fuentes de combustibles en las esquinas todavía limitan más la entrada de aire en la columna de humo y es donde se consiguen mayores temperaturas de las plumas. Este factor afecta significativamente las temperaturas en el desarrollo de las capas calientes de gases que se encuentran sobre el incendio. Como los gases calientes aumentan, estos comienzan a propagarse hacia el exterior cuando alcanzan

el nivel del techo. Los gases continúan dispersándose hasta que alcanzan las paredes del recinto. La profundidad de la capa de gases comienza entonces a aumentar.

La temperatura en el recinto durante este periodo depende de la cantidad del calor por conducción en el techo y paredes del recinto así como del flujo calórico procedente de los gases que se sitúan en la parte superior, la ubicación de la fuente de fuego inicial y de la cantidad de aire que entra. Las investigaciones muestran que la temperatura de los gases disminuye conforme aumenta la distancia a la línea central de la pluma. La figura 5.2 muestra la pluma generada en un incendio de interior tipo y los factores que afectan el desarrollo de la temperatura de la capa de gases calientes.



Figura 5.2

La etapa de crecimiento continua si se dispone de suficiente combustible y oxígeno. Los incendios en interiores en la etapa de crecimiento están generalmente controlados por el combustible. En la medida que el incendio crece, aumenta la temperatura en todo el recinto, al igual que lo hace la temperatura de la capa de gas a nivel del techo.

Si la cantidad de aire aportado al incendio no es la suficiente (incendio controlado por ventilación) los gases calientes (pero por debajo de la temperatura de autoinflamación) saldrán al exterior provocando, según las condiciones, una elevación del plano neutro, y la entrada de aire limpio a través de la zona de presión negativa únicamente como consecuencia de la liberación de presión en la zona de presión positiva, cuando este aire alcance el foco o los focos de ignición el efecto se traduce en un nuevo aumento de la cantidad de gases de pirolisis y de la presión en el recinto, un descenso nuevamente de la cantidad de oxígeno y la liberación de gases enriquecidos de incendio al exterior a través de la vía de entrada de aire.

Una vez alcanzado este punto, el proceso descrito no cesará, al contrario tenderá a reiterarse de forma que el ciclo establecido se irá repitiendo de forma sucesiva generando lo que conocemos como pulsaciones (o respiración) del incendio, estas acrecentarán su intensidad en la medida en que los valores de temperatura dentro del recinto aumenten como consecuencia de las aportaciones energéticas procedentes de las combustiones que se generan, lo que provoca a su vez que la cantidad de aire que entra cada vez sea mayor.

FLASHOVER

El Flashover es la transición entre las etapas de crecimiento y de incendio totalmente desarrollado y no constituye un evento específico tal como la ignición. Durante la etapa de flashover, las condiciones en el recinto cambian muy rápidamente, siendo esta la consecuencia que más claramente marca esta etapa. Estos cambios se producen en la medida en que el incendio pasa de estar controlado por la combustión de los materiales que han comenzado a arder en primer lugar hasta que este se extiende a todas las superficies de material combustible dentro del recinto. La capa de gases calientes que se desarrolla a nivel del techo durante la etapa de crecimiento provoca calor radiante sobre materiales combustibles lejanos al origen del incendio (figura 5.3).

Por lo general, la energía radiante (flujo calorífico) desde la capa de gases calientes excede los 20 Kw/m^2 cuando ocurre el flashover. Este calor radiante genera la pirolisis en los materiales combustibles que se encuentran en el interior del recinto.



Figura 5.3

Los gases generados durante este tiempo son calentados hasta su temperatura de ignición por la energía radiante procedente de la capa de gases del techo (figura 5.4).

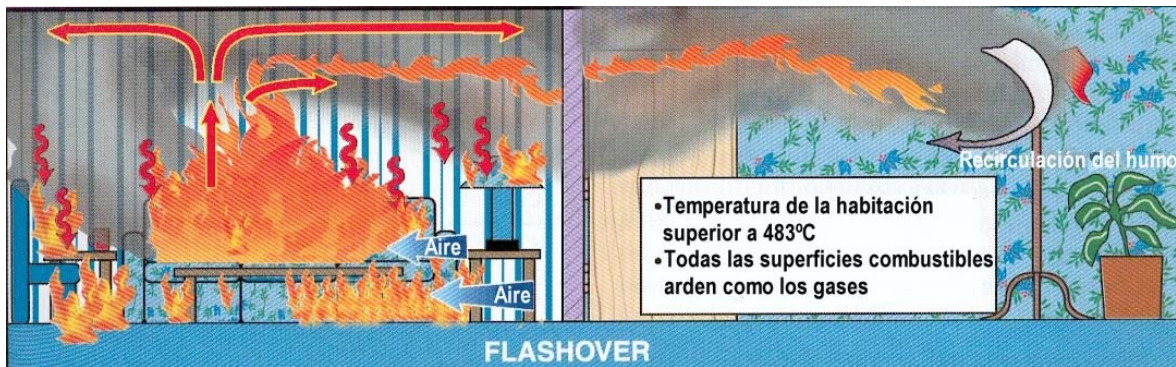


Figura 5.4

A pesar de que los científicos definen el flashover de diferentes formas, la mayoría basan su definición (momento en el cual comienza a producirse) basados en la temperatura del recinto, y como consecuencia de la cual resulta la ignición simultánea de todos los combustibles contenidos en el mismo. Aunque no se asocia una temperatura exacta con este fenómeno, este suele darse en un rango comprendido entre los 483° C y 649° C. Este rango se corresponde con la temperatura de autoinflamación (609° C) del monóxido de carbono (CO), uno de los gases más comunes obtenidos como resultado de la pirolisis. Justo antes del flashover, se suceden diferentes fenómenos dentro del recinto incendiado: Las temperaturas aumentan rápidamente, fuentes de combustibles adicionales se ven involucradas en el proceso, y todas las fuentes de combustible en el recinto emanan gases combustibles como resultado de la pirolisis. Cuando el flashover ocurre, los materiales combustibles en el recinto y los gases generados por la pirolisis se incendian. El resultado es un incendio totalmente desarrollado en el recinto. El calor liberado por una habitación totalmente incendiada en la fase de flashover puede ser del orden de más de 10.000 Kw.

Los ocupantes que no hayan escapado de un recinto antes de que un flashover ocurra probablemente no sobrevivirán. Los bomberos que se encuentren en un recinto cerrado cuando se produce un flashover se encuentran en una situación de extremo peligro aunque se encuentren equipados con su Equipo de Protección Personal.

INCENDIO TOTALMENTE DESARROLLADO

La etapa de incendio totalmente desarrollado ocurre cuando todos los materiales combustibles en el recinto se encuentran incendiados. Durante este periodo de tiempo, los combustibles incendiados en el recinto están liberando la máxima cantidad de calor posible

por las fuentes de ignición disponibles y produciendo grandes cantidades de gases de incendio. El calor liberado y el volumen de gases de incendio producidos dependen del número y tamaño de las aberturas de ventilación en el compartimento. El incendio frecuentemente se convierte en controlado por ventilación, y de esta manera se producen grandes cantidades de gases no quemados. Durante esta etapa, los gases de incendio no quemados es probable que comiencen a fluir desde el recinto donde se está desarrollando el incendio hacia espacios adyacentes u otros recintos. Estos gases se inflaman si entran en espacios donde el aire es más abundante y si se encuentran a temperaturas dentro del rango de inflamación o autoinflamación (figura 5.5).



Figura 5.5

DECRECIMIENTO

En la medida en que el fuego consume el combustible disponible, la cantidad de calor liberado comienza a disminuir. Una vez el incendio se convierte en controlado por el combustible, la cantidad de fuego disminuye, y la temperatura dentro del recinto comienza a descender. La cantidad de restos ardiendo (rescaldos) pueden, sin embargo, generar temperaturas moderadamente altas en el recinto durante algún tiempo.

5.2 FACTORES DE INFLUENCIA

Para que un incendio se desarrolle desde la etapa de ignición hasta la de decrecimiento, son varios los factores que afectan a su comportamiento y desarrollo en el interior del recinto:

- Tamaño, número y distribución de los huecos (aberturas) de ventilación.
- Volumen del recinto.
- Propiedades térmicas de los cerramientos del recinto.
- Altura del techo del recinto.
- Tamaño, composición y localización de las fuentes de combustible que se incendian en primer lugar.
- Disponibilidad y ubicación de fuentes de combustible adicionales (combustibles objetivos del incendio).

Para que un incendio se desarrolle, debe existir suficiente aporte de aire para mantener la combustión en la etapa de ignición. El tamaño y número de los huecos de ventilación en un compartimento determinan si el incendio se desarrolla o no en el interior de un recinto. El tamaño del recinto su forma y la altura del techo determinan si se formará una capa de gases calientes significativa. La ubicación de la fuente de combustible inicial es también muy importante en el desarrollo de la capa de gases calientes. Las plumas generadas por fuentes de combustible en el centro de un recinto toman más cantidad de aire y se enfrían más que aquellas que se encuentran contra las paredes o esquinas del recinto.

En el centro del Compartimento



Figura 5.6
El aire entra desde todas las direcciones
del compartimento

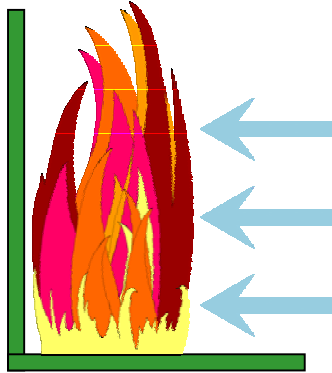
Pegado a una pared del Compartimento

Figura 5.7
Solo entra aire desde un 50% del
compartimento

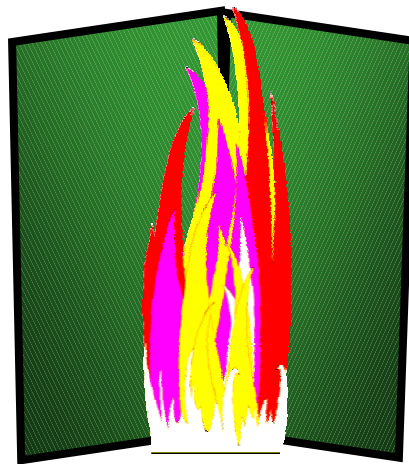
En una esquina del Compartimento

Figura 5.8
Solo entra aire desde un 25% del
compartimento.

La temperatura que se desarrolla en un incendio de un recinto cerrado es el resultado directo de la energía liberada cuando el combustible arde. Dado que la materia y la energía se conservan, cualquier pérdida de masa causada por el incendio es convertida en energía. En un incendio, la energía resultante lo es en forma de luz y calor. La cantidad de energía calorífica liberada en función del tiempo durante un incendio se denomina *cantidad de calor liberado (CCL)*. La CCL se mide en Btu/s o Kilovatios (Kw.). La cantidad de calor liberado esta directamente relacionada con la cantidad de combustible que se ha consumido por

unidad de tiempo (efecto térmico) y el calor de combustión (la cantidad de calor que una masa específica de una sustancia emite cuando arde) del combustible que está quemándose.

Los bomberos deben ser capaces de reconocer las fuentes de incendio potenciales en un edificio o recinto y utilizar esta información para calcular el potencial crecimiento del incendio. Los materiales que liberan grandes cantidades de calor tales como muebles rellenos de espumas de poliuretano, colchones de espuma de poliuretano, o pilas de palets de madera, por ejemplo, puede esperarse que ardan rápidamente una vez comenzado el incendio. Incendios de materiales que liberan una baja cantidad de calor podremos suponer que tomarán más tiempo en desarrollarse. En general, los materiales de baja densidad (tales como la espuma de poliuretano) arden mucho más rápido (tienen una mayor CCL) que los materiales con una alta densidad (bloques de algodón) de similares características.

Otra relación final entre el calor generado en un incendio y las fuentes combustibles es la ignición adicional de las fuentes combustibles alejadas del foco de incendio inicial. El calor generado en un recinto incendiado se transmite en el espacio desde la fuente combustible inicial a los otros combustibles mediante las tres formas de transmisión de calor. El incremento de calor en la pluma de incendio inicial es aportado por convección. A medida que los gases viajan sobre las superficies de otros combustibles en el recinto, el calor se transfiere a ellos por conducción. La radiación juega un papel importante en la transición de las etapas de crecimiento del incendio a incendio totalmente desarrollado. A medida que los gases calientes forman una capa en el techo, las partículas calientes que componen el humo comienzan a radiar energía a las otras fuentes combustibles en el recinto. Estas fuentes combustibles alejadas son denominadas en ocasiones como **objetivos de incendio**. A medida que la energía radiante aumenta, los objetivos de incendio comienzan el proceso de pirolisis y comienzan a generar gases inflamables. Cuando la temperatura en el recinto alcanza la temperatura de ignición de estos gases, el recinto al completo se ve envuelto en el incendio (se incendia), esto es lo que se define como flashover.

De los factores de influencia expuestos cabe destacar el papel fundamental que adoptan en la velocidad con que el incendio se desarrolla en el recinto, las propiedades térmicas de los cerramientos, o lo que es lo mismo su capacidad de transmitir calor y la altura del techo del recinto.

- **Capacidad de la Estructura de Transmitir Calor:** va a determinar la cantidad de calor que se puede concentrar para contribuir a la velocidad de desarrollo del incendio y la que se va a disipar al ambiente exterior.

Si suponemos dos recintos exactamente iguales (figura 5.9) pero contruidos en materiales diferentes, la primera consecuencia que observamos desde el punto de vista de la

transmisión de calor, es que estas van a adoptar necesariamente valores diferentes, a los que denominaremos respectivamente Q_{L1} y Q_{L2} .

Con el fin de optimizar el ejemplo supondremos que el material que compone las estructuras va a ser de hormigón normal en una de ellas y de hormigón ligero en la otra, de esta forma el efecto producido por el desprendimiento de gases de pirólisis procedentes de la estructura queda literalmente igualado para ambas.

Si analizamos las características de conductividad térmica de los componentes de nuestras dos estructuras, observamos que en el hormigón ligero 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, mientras que 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 de hormigón normal.

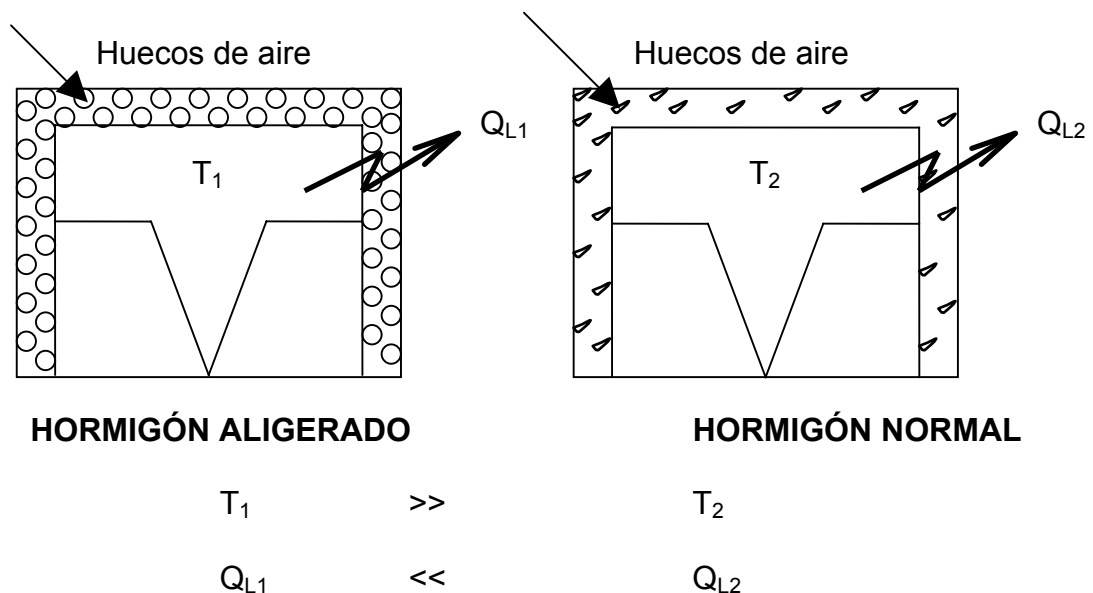
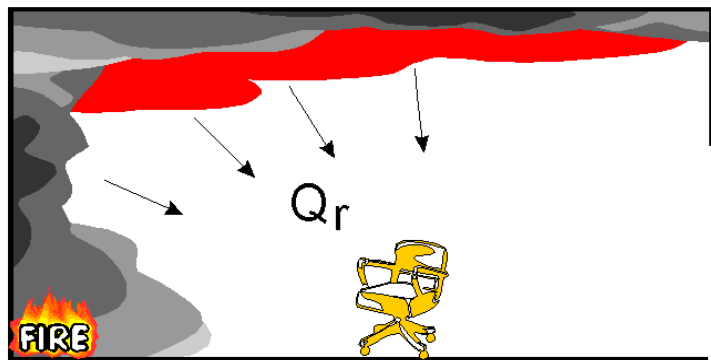


Figura 5.9: Transmisión de Calor de la Estructura

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

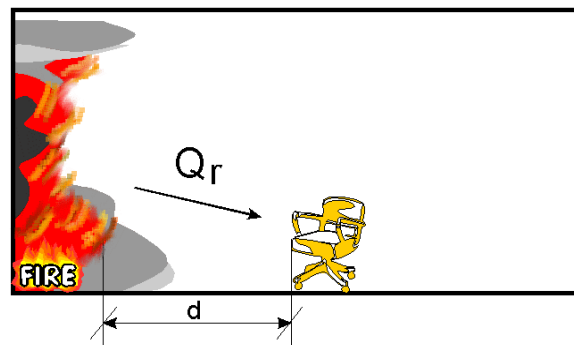
➤ Altura del techo del recinto.

Los techos juegan un papel no menos importante en la velocidad de propagación del incendio, de tal forma que los techos bajos van a favorecer una propagación mucho más rápida que los techos altos, ya que en los primeros, la llama alcanza rápidamente el techo propagándose rápidamente a lo largo de él, con lo cual la llama alcanza mayor longitud y superficie, suministrando de esta forma la energía de radiación necesaria para que los elementos combustibles contenidos en el recinto alcancen en menos tiempo la energía de activación necesaria y contribuir así a la rápida evolución del incendio.



Si las llamas no llegan al techo, la cantidad calor radiado es menor y la evolución del incendio queda condicionada por la proximidad de los materiales al foco de ignición.

Podemos decir, y este es un factor importante a la hora de evaluar la fase del incendio donde nos encontramos, que el momento crítico o de transición del incendio llega precisamente cuando las llamas alcanzan el techo, ya que como hemos dicho el valor de la energía radiante aumenta de forma considerable.



6 FLASHOVER: EVOLUCIÓN Y CONCEPTO

Antes de comenzar a establecer definiciones, que de hecho ya se han sido tratadas en el capítulo 5, cuando hablábamos de las fases en el desarrollo de un incendio en recintos cerrados, y atendiendo a las diferentes concepciones que el término *"flashover ó flash over"* ha sufrido a lo largo del tiempo, lo más conveniente, sería efectuar un seguimiento de

lo que podríamos denominar como “evolución histórica” de las definiciones a las que el fenómeno por sí mismo ha dado lugar y finalmente ver cual es la situación en el momento actual.

El fenómeno conocido como Flashover es el principal causante de muertes en el colectivo de bomberos. En EE.UU. las estadísticas de la NFPA indicaron que entre 1985 y 1994 un total de 47 bomberos americanos perdieron sus vidas como consecuencia de un “flashover”.

El término “flashover” fue introducido por el Británico Philip H. Thomas en los años sesenta y fue utilizado para describir la teoría del desarrollo del incendio desde su inicio hasta que alcanza el estado de totalmente desarrollado. Habitualmente, se decía que este periodo de crecimiento culminaba en “flashover”, aunque Thomas admitió que su definición original era imprecisa y aceptó que el termino pudiese utilizarse para expresar conceptos diferentes en contextos diferentes. Thomas aportó un informe en la Nota 663 del Fire Research del Reino Unido (en diciembre de 1967) donde explica que puede haber más de un tipo de flashover y describió “flashovers” como el resultado de escenarios controlados por ventilación y combustible.

Thomas también reconoció las limitaciones de cualquier definición precisa de flashover vinculada al incendio generalizado de toda la superficie de los combustibles dentro de un compartimento (habitación) dado que, especialmente en compartimentos grandes, resulta físicamente imposible que todo el combustible arda al mismo tiempo. Las Normas británicas (4422) de 1969 y 1987 intentaron establecer una definición más precisa pero sin éxito.

En 1989 la Fire Research Station del Reino Unido localizada a Borehamwood definió el término “flashover” como un termino designado para describir un fenómeno científico en un rango más genérico, aunque el efecto general era el del desarrollo de un incendio de forma rápida - Esta definición se encontraba en la línea de otras definiciones aceptadas establecidas en esa época -

- 1. LA IGNICIÓN DE PRODUCTOS VOLÁTILES INFLAMABLES BAJO UNA SUPERFICIE HORIZONTAL (NORMALMENTE UN TECHO) FORMADA COMO CONSECUENCIA DE LA ACUMULACIÓN DE LOS MECANISMOS DE LA PIRÓLISIS DE LOS MATERIALES CALENTADOS.*
- 2. LA RADIACIÓN PROYECTADA POR LAS LLAMAS BAJO UN TECHO LA CUAL PROVOCA LA DESCOMPOSICIÓN RÁPIDA DEL COMBUSTIBLE SITUADO ABAJO Y QUE RESULTA EN UNA ACELERACIÓN DEL PROCESO DE INCENDIO. (LA FRS PREFIRIÓ ESTA DEFINICIÓN).*

3. *COMBUSTIÓN "EXPLOSIVA" DE PRODUCTOS VOLÁTILES INFLAMABLES DENTRO DE UN RECINTO CUANDO EL COMPARTIMENTO SE VENTILA POR LA APERTURA (O ROTURA) DE UNA PUERTA O VENTANA.*
4. *COMBUSTIÓN "EXPLOSIVA" DE ALGUNOS TIPOS ESPECIALES DE "HUMOS FRÍOS" QUE ARDEN SIN LLAMA DE (POR EJEMPLO) LAS ESPUMAS.*

Durante los años ochenta el uso genérico del término flashover evolucionó más allá todavía cuando los ingenieros de fuego Suecos Krister Giselsson y Mats Rosander ensamblaron una extensa serie de eventos asociados con la ignición de gases de incendio ampliando el campo de la definición original. Sin embargo, este esfuerzo en introducir una nueva terminología en el idioma científico previamente aceptado no se hizo popular aunque ciertamente incitó una revisión de las definiciones internacionalmente reconocidas.

En los años 90 los científicos internacionales mantuvieron un conflicto con las definiciones reconocidas del término flashover negándose insistentemente a incluir cualquier referencia a la "combustión de gases premezclados" dentro de su contexto global. El estado actual a que nos llevan estas cuestiones es el siguiente:

Flashover según norma ISO 8421-8 de 1990 (International Standards Organization).

"TRANSICIÓN RÁPIDA AL ESTADO DONDE TODAS LAS SUPERFICIES DE LOS MATERIALES CONTENIDOS EN UN COMPARTIMENTO SE VEN INVOLUCRADOS EN UN INCENDIO".

Flashover según la Fire Research Station (UK 1993).

"EN UN RECINTO INCENDIADO PUEDE ALCANZARSE UNA ETAPA DONDE LA RADIACIÓN TÉRMICA TOTAL PROCEDENTE DE LA PLUMA DEL INCENDIO, GASES CALIENTES Y LOS CERRAMIENTOS DEL RECINTO GENERAN LA IGNICIÓN POR RADIACIÓN DE TODAS LAS FUENTES COMBUSTIBLES DENTRO DEL MISMO. ESTA TRANSICIÓN SÚBITA Y MANTENIDA DE UN INCENDIO EN ETAPA DE CRECIMIENTO A INCENDIO TOTALMENTE DESARROLLADO ES LO QUE SE DENOMINA COMO FLASHOVER".

Mientras esto sucedía, en los EE.UU. se estaba dirigiendo la investigación hacia el fenómeno denominado como "backdraft" o "Backdraught" y podemos encontrar la siguiente definición procedente de la NFPA (National Fire Protection Association):

"INCENDIO RÁPIDO O EXPLOSIVO DE LOS GASES CALIENTES QUE TIENE LUGAR CUANDO SE INTRODUCE OXÍGENO EN UN EDIFICIO QUE NO HA SIDO VENTILADO ADECUADAMENTE Y TIENE UN SUMINISTRO DEFICIENTE DE OXÍGENO DEBIDO AL INCENDIO".

Aunque debe destacarse que Fleischmann, Pagni y Williamson sugirieron que deberían sustituirse la expresión "productos de pirolisis no quemados" por "gases calentados" en la definición de la NFPA.

Por no ser menos desde Europa (Fire Research Satation - UK 1993) la definición de backdraft/backdraught adquiriría unos términos similares:

"LA VENTILACIÓN LIMITADA PUEDE HACER QUE UN INCENDIO DE UN COMPARTIMENTO GENERE GASES QUE CONTENGAN PROPORCIONES IMPORTANTES DE PRODUCTOS PARCIALES DE LA COMBUSTIÓN Y PRODUCTOS DE PIROLISIS NO QUEMADOS. SI ESTOS SE ACUMULAN, Y SE PRACTICA UNA APERTURA EN EL COMPARTIMENTO, LA ENTRADA DE AIRE PUEDE DAR LUGAR A UNA DEFLAGRACIÓN SÚBITA. ESTA DEFLAGRACIÓN QUE SE TRASLADA A TRAVÉS DEL COMPARTIMENTO Y SALE POR LA ABERTURA PRACTICADA ES UN BACKDRAFT".

Ignición de Gases de Incendio

Según lo expuesto hasta aquí, parece lógico que flashover y backdraught son dos sucesos distintos además existen situaciones donde se puede producir la ignición de los gases de incendio dentro de un recinto. Estos "eventos" adicionales no se encuadran necesariamente en ninguna de las definiciones anteriores, pero el resultado final será similar desde el punto de vista de la propagación rápida de un incendio.

Es importante que el bombero tenga una comprensión básica de todos los sucesos que pueden dar lugar a tales igniciones bajo diferentes condiciones en el interior de un recinto afectado por un incendio.

En el interior de un edificio pueden tener lugar la formación de "colchones" de gases de incendio de tamaño variable. Estos pueden existir en el mismo compartimento incendiado, o en compartimentos adyacentes, corredores y pasillos de entrada. También pueden

propagarse a cierta distancia desde la fuente de ignición en espacios vacíos o a través de los falsos techos.

La adición de aire no es un requerimiento para la ignición de estos gases que se han formado en un estado de premezcla ideal, simplemente es necesaria una fuente de ignición. La deflagración resultante será similar a la de un backdraft pero en términos reales será una explosión de humo, o tal vez una ignición de gases de incendio resulte una mejor descripción.

También se puede producir la ignición de gases de incendio súper calentados si se mezclan con el aire cuando salen del compartimento. Esto puede ocurrir en una ventana o en la puerta de acceso y como resultado podemos obtener una llama que retrocede hacia el interior del recinto incendiado provocando un flash hacia el interior (semejante al retroceso de una llama en un quemador).

¡Sin embargo, a pesar del extenso debate la situación acaba confundiendo, quizás más aún, en el momento actual! En un informe de 245 páginas (ref: 1019) (1999) de la Universidad Sueca de Lund, Lars-Goran Bengtsson presenta una descripción detallada de los fenómenos relacionados con los fenómenos de flashover; backdraft y también explosión de humo; en el cual se sugiere pueden existir situaciones adicionales que podrían llevar al desarrollo rápido de un incendio.

A este informe siguió un extenso informe de Richard Chitty de la Fire Research Station (5/94) del Reino Unido donde se informaba que los flashovers podrían generarse por un incremento de la ventilación en un compartimento - ¡Aunque! ¿no es esto un backdraft? ¿una acción táctica de ventilación puede realmente llevar a situaciones de backdraught y de flashover?.

Todo este mar de dudas planteadas en las definiciones ha llevado a una situación dónde la NFPA ya no contempla en la estadística las muertes por flashover. Según un analista de la NFPA, se descubrió que las muertes informadas como consecuencia del flashover realmente lo eran por backdraughts u otras formas de "evolución rápida del incendio". Así es que ahora, para curarse en salud, todas las muertes se clasifican simplemente como debidas a una "evolución rápida del incendio".

El extenso informe de Richard Chitty estableció un punto de diferencia entre llamas de gases premezcladas y llamas de gases de difusión en su exposición acerca de los límites de inflamabilidad de los humos y gases procedentes del incendio, o productos de pirolisis no quemados y productos parciales de la combustión.

El resumen de las conclusiones a las que llegó Chitty tras un análisis en profundidad del fenómeno del desarrollo de un incendio en un recinto cerrado, puede traducirse en que existen diferentes estadios donde puede ocurrir la inflamación de los gases procedentes del incendio (este autor reconoce siete casos diferentes) en función del rango de inflamación donde estos se encuentran, su temperatura y las condiciones de incendio controlado por combustible o ventilación.

En la realidad los fenómenos de backdraft, flashover y explosiones de humo se encuentran estrechamente relacionados entre sí y resulta muy complicado establecer en función de las vivencias expuestas por los bomberos que los han sufrido, establecer con exactitud que es lo que realmente ha sucedido en cada situación específica, aunque en ocasiones esto puede estar realmente claro.

Es muy importante para los bomberos reconocer las señales de advertencia asociadas con la evolución rápida de un incendio y valorar el efecto que sus acciones podrían tener al incidir sobre el medio donde se desarrollan estos fenómenos.

Este estado de cosas, definen sin duda el momento actual en cuanto a la terminología más utilizada en cuanto al desarrollo de incendios en recintos cerrados, sin embargo, todavía existe más, es decir, no contentos con toda esta sinergia de definiciones, se suman otras que como a continuación veremos, nada tienen que envidiar a las anteriores, si de lo que se trata es en definitiva de rizar el rizo:

FLAMEOVER/ROLLOVER

Los términos *flameover* y *rollover* describen una condición donde las llamas se mueven en el seno o a través de los gases no incendiados durante la progresión de un incendio.

El flameover se distingue del flashover por estos envolvimientos solo de los gases de incendio y no de las superficies de otras fuentes combustibles en el interior del recinto. Esta condición puede ocurrir durante la etapa de crecimiento a medida que la capa de gases calientes se forma en el techo del recinto. Las llamas pueden verse en la capa donde los gases combustibles alcanzan su temperatura de ignición. Esta aportación que agregan las llamas al calor total generado en el recinto, no es la condición de flashover. El flameover puede también observarse cuando los gases de incendio no quemados escapan del recinto durante las etapas de crecimiento e incendio totalmente desarrollado de un recinto incendiado. A medida que estos gases fluyen desde el recinto incendiado hacia los espacios adyacentes, estos se mezclan con el oxígeno; si se encuentran a su temperatura de ignición, a menudo las llamas en la capa de gases se hacen visibles (figura 6.1).

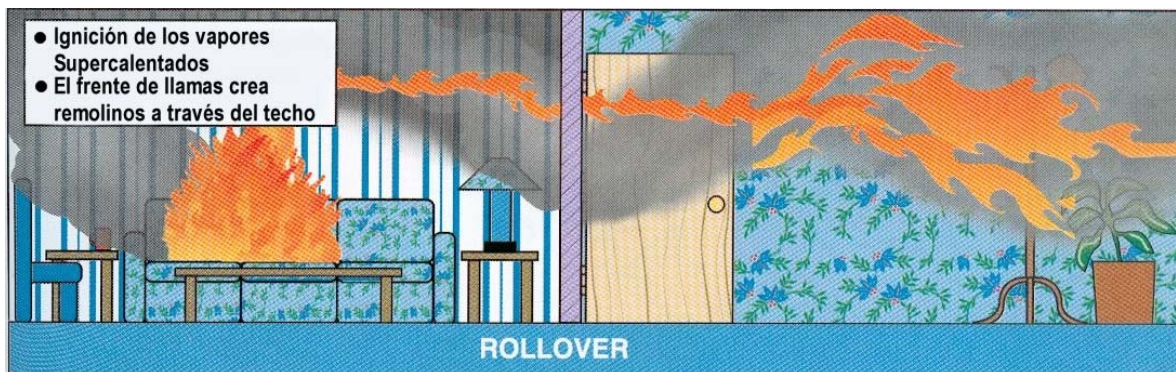


Figura 6.1

Con esta definición concluyen, por el momento, los diferentes *“over-términos”* que hasta el momento rodean la terminología empleada cuando se habla de incendios que transcurren en recintos cerrados, aunque como podemos intuir, todos estos términos vienen a intentar explicar, diferentes fases por las que un incendio atraviesa en su evolución en un entorno donde el combustible, la forma del recinto, la ubicación de los materiales, y los huecos de ventilación son los protagonistas sin guión de los escenarios de incendios.

TIPOS DE GASES DE INCENDIO

Si establecemos como criterio (y en vista de lo que hemos analizado se hace evidentemente necesario) desde el cual podemos tomar un punto de partida, parecería lógico establecer como referencia el hecho de que todos los fenómenos de evolución súbita de un incendio que pueden ocurrir son consecuencia de los gases provenientes del mismo, los cuales en función de las condiciones de evolución que se den para cada caso derivaran en un tipo de fenómeno u otro, esta básicamente es la premisa de la que parten los ingenieros de fuego Suecos Krister Giselsson y Mats Rosander.

Cuando hablábamos de la inflamabilidad de los gases de incendio, se hacía mención a las diferentes cantidades que intervienen en la composición porcentual de la mezcla en el L.I.I. y su influencia en la posibilidad de inflamación de estos gases en función de la temperatura.

Esto es debido a que los diferentes materiales que pueden entrar en combustión desprenden diferentes tipos de gases combustibles y en diferentes cantidades, de tal forma que podemos establecer dos tipos fundamentales de gases de combustión:

- Gases de incendio normales.
- Gases de incendio altamente energéticos.

Los gases de incendio normales son los procedentes de productos más o menos naturales, como pueden ser la madera, los aglomerados, etc. , la mezcla ideal de estos gases suele estar alrededor de un 70% y generalmente en frío no arden.

Los gases altamente energéticos proceden de la combustión de productos sintéticos y de alto contenido energético en su composición química, estos son los aceites, pinturas, plásticos, espumas de poliuretano, etc. , en estos casos la mezcla ideal suele estar alrededor del 25% y los gases son combustibles en frío.

La influencia que el tipo de gas tiene en el proceso de flashover es fundamentalmente la del tiempo en el que este puede sobrevenir y las consecuencias que puede provocar, las cuales serán más severas cuanto más energéticos sean los gases de combustión.

6.1 FLASHOVER

Con el fin de establecer definiciones que nos permitan hablar un lenguaje común con los estándares establecidos en la terminología de incendios, vamos a definir los siguientes conceptos, tal y como se utilizan en el momento actual.

Cuando hablamos de la segunda fase del desarrollo del incendio, se especificaba que cuando concurren los requisitos (figura 6.2) de temperatura ($500-650^{\circ}\text{C}$) y potencia de calor radiante (12 a 20 Kw/m^2) los gases se autoinflaman.

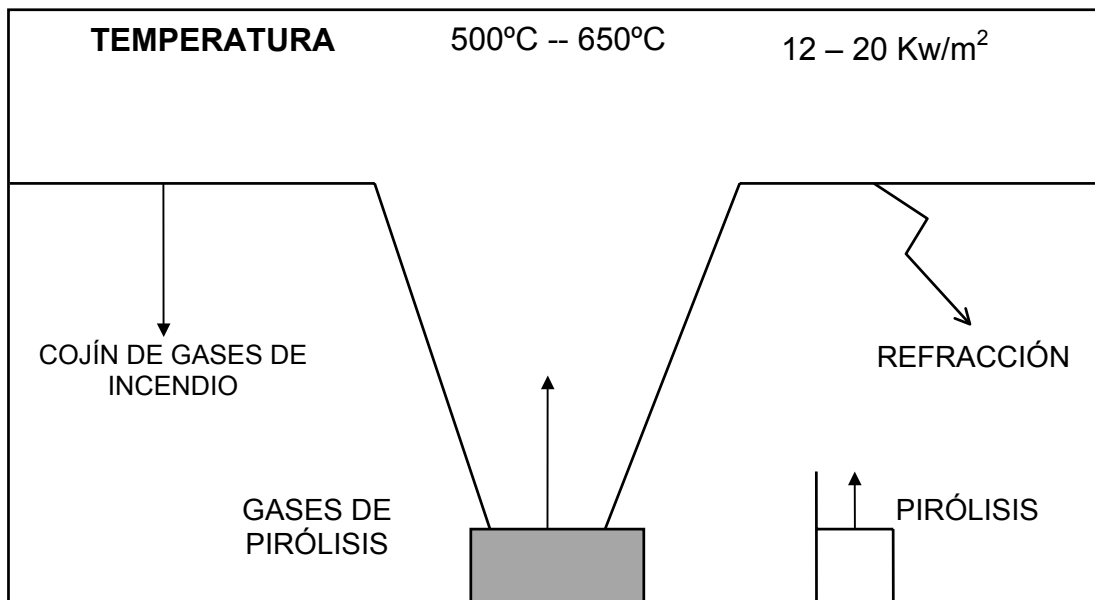


Figura 6.2: Condiciones de Flashover

Como veíamos en 1990 la norma ISO, define el fenómeno como:

"TRANSICIÓN RÁPIDA AL ESTADO DONDE TODAS LAS SUPERFICIES DE LOS MATERIALES CONTENIDOS EN UN COMPARTIMENTO SE VEN INVOLUCRADOS EN UN INCENDIO".

Esta es la definición que nosotros vamos a adoptar, aunque vamos a analizar los motivos por los que se llega a esta situación. El mecanismo mediante el cual se desarrolla podemos describirlo de la siguiente forma:

Al inicio del incendio el fuego se desarrolla en las partes bajas del recinto, debido a la carencia de oxígeno, calentamiento secundario, etc. , este foco inicial da origen a los gases no quemados los cuales se elevan hacia el techo formando un cojín de gases (figura 6.3).



Figura 6.3: Desarrollo del cojín de gases

Con el paso del tiempo la temperatura y la concentración de gases aumentan de forma que se va generando un cojín de gases de incendio donde el rango de inflamabilidad se ve modificado favoreciéndose una inflamación muy favorable en un punto del L.I.I. .



Figura 6.4: Flujo radiante del cojín de gases

Cuando las llamas llegan a la parte inferior del cojín (de ahí la importancia de la altura de los techos, contra más bajos son antes alcanzan las llamas esta cota) estos gases se inflaman precisamente en ese lugar, incrementándose el efecto de radiación de calor desde el cojín de gases al resto de los materiales contenidos en el recinto.



Figura 6.5: Situación previa a Flashover

El proceso de combustión que se verifica se basa fundamentalmente en la combustión del monóxido de carbono, procedente de los gases no quemados, que pasa a dióxido por oxidación con el oxígeno del aire (figura 6.6).

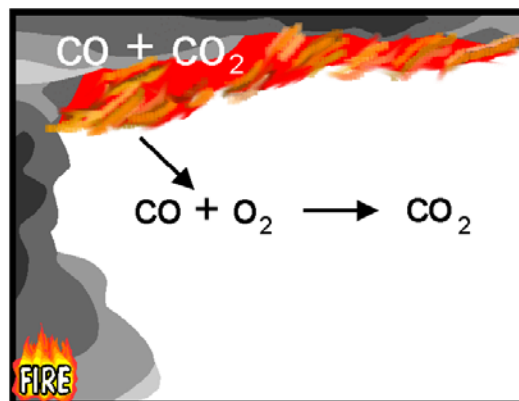


Figura 6.6: Combustión del Monóxido de Carbono

Cuando se alcanzan las condiciones en el recinto de flujo calórico y temperatura descritos es cuando se produce el fenómeno de flashover.

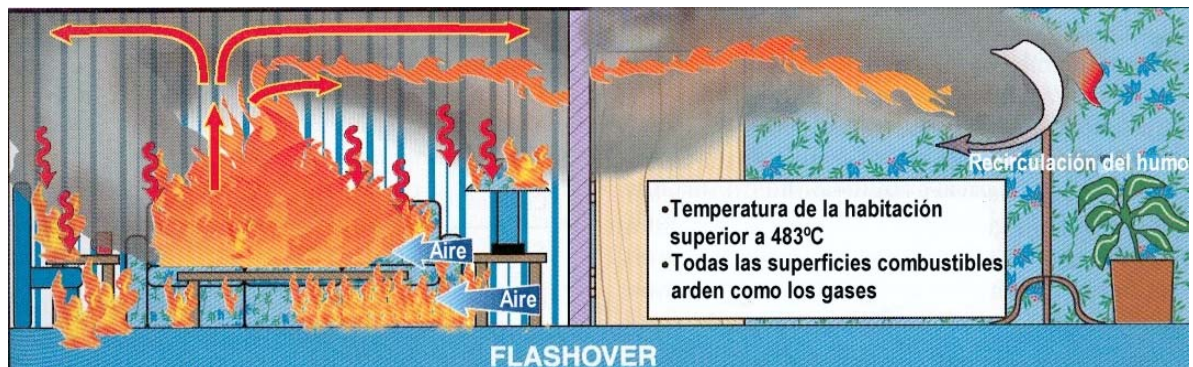


Figura 6.7: Condición de Flashover

La duración del fenómeno es corta tan solo el tiempo justo en que los gases procedentes de los materiales que pirolizan se autoinflaman, registrándose elevaciones de presión debidas a la expansión del frente de llamas moderadas, alrededor de 1 kPa. (0,01 bar), es por ello que cuando los servicios de intervención llegan el fenómeno ha finalizado, salvo que se trate de grandes superficies.

Llegado a este punto si el aporte de aire es suficiente, estaremos en la etapa de incendio generalizado, tal y como se define en algunos informes, de lo contrario, las llamas decrecen y comienza un aumento de la temperatura favorecida por la inercia térmica de los materiales en el proceso de pirolisis.

Una vez se ha producido el flashover, la ventilación (aporte de oxígeno) o el combustible restante (contenido y estructura) controlaran el incendio. Si cualquiera de estos componentes se ha consumido o no está disponible el fuego se extinguirá.

Una vez que exista una abertura en el compartimento, este evoluciona hacía un incendio controlado por combustible o ventilación. Un incendio permanecerá en este estado si la abertura tiene el tamaño aproximado de una puerta. Si la abertura aumenta al tamaño de una pared o ventanal, entonces es posible evolucionar a un incendio controlado solo por combustible.

En compartimentos grandes, el fuego inicial puede no siempre evolucionar en un flashover. Esto es debido a que los gases del incendio se enfrían a medida que ascienden a niveles mas altos (según la altura de los techos), alejándose de esta manera del foco del incendio. Este enfriamiento hará que los gases de incendio queden fuera de sus rangos de inflamabilidad, y de este modo se evitará su ignición.

Si la cantidad de oxígeno en el interior del recinto no es suficiente, el cojín de gases se irá "enriqueciendo" en gases de incendio favoreciendo el descenso del plano neutro y haciendo cada vez más difícil la combustión en el interior del recinto al aproximarse a cotas cercanas al límite superior de inflamabilidad. No obstante, si estos gases alcanzan el exterior a través de ventanales u otros huecos, estos arderán en el exterior al disponer de la suficiente cantidad de oxígeno.

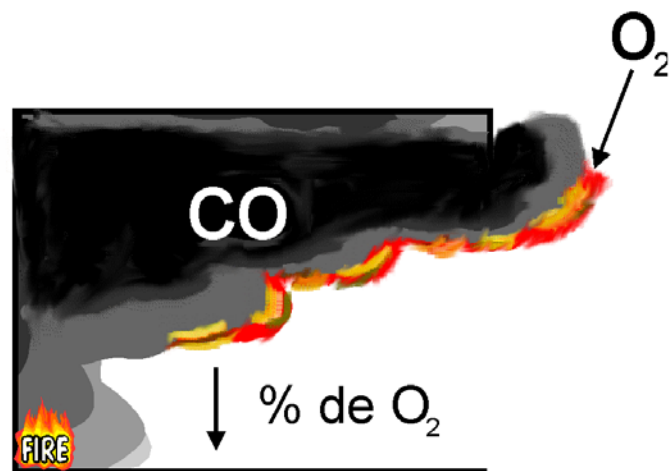


Figura 6.8

6.2 BACKDRAUGHT

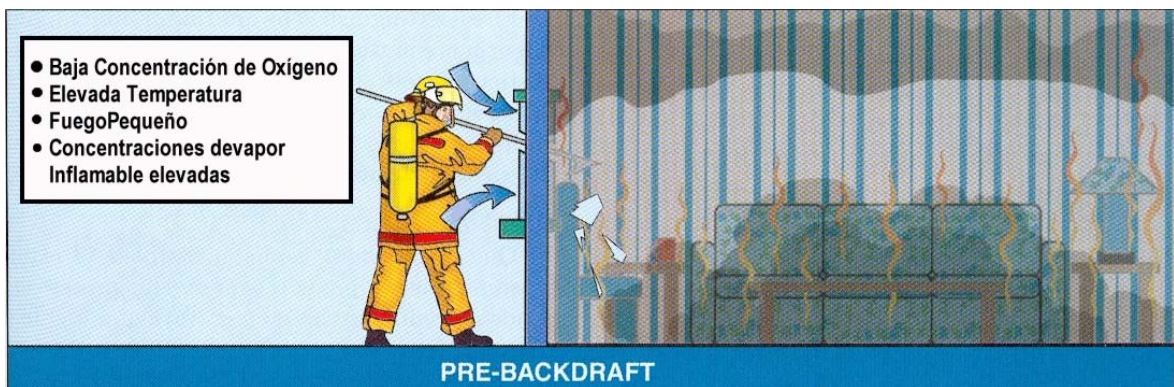
Aunque el término backdraught (backdraft en la terminología Americana) no se encuentra definido según ningún estándar, lo cierto es que se trata de un término de uso generalizado en la terminología de incendios y por lo que a nosotros respecta vamos a adoptar la definición establecida en el volumen 2 del manual de incendios del Fire Service Operations del Reino Unido:

"LA VENTILACIÓN LÍMITADA PUEDE LLEVAR A UN INCENDIO EN UN COMPARTIMENTO A LA PRODUCCIÓN DE GASES DE INCENDIO QUE CONTIENEN PROPORCIONES SIGNIFICANTES DE PRODUCTOS PARCIALES DE COMBUSTIÓN Y PRODUCTOS DE PIROLISIS NO QUEMADOS. SI ESTOS SE ACUMULAN, ENTONCES LA ADMISIÓN DE AIRE CUANDO SE PRODUCE UNA ABERTURA EN EL COMPARTIMENTO PUEDE PROVOCAR UNA DEFLAGRACIÓN SUBITA. ESTA DEFLAGRACIÓN QUE SE TRASLADA A LO LARGO DEL COMPARTIMENTO Y SALE POR LAS ABERTURAS SE CONOCE COMO UN BACKDRAUGHT."

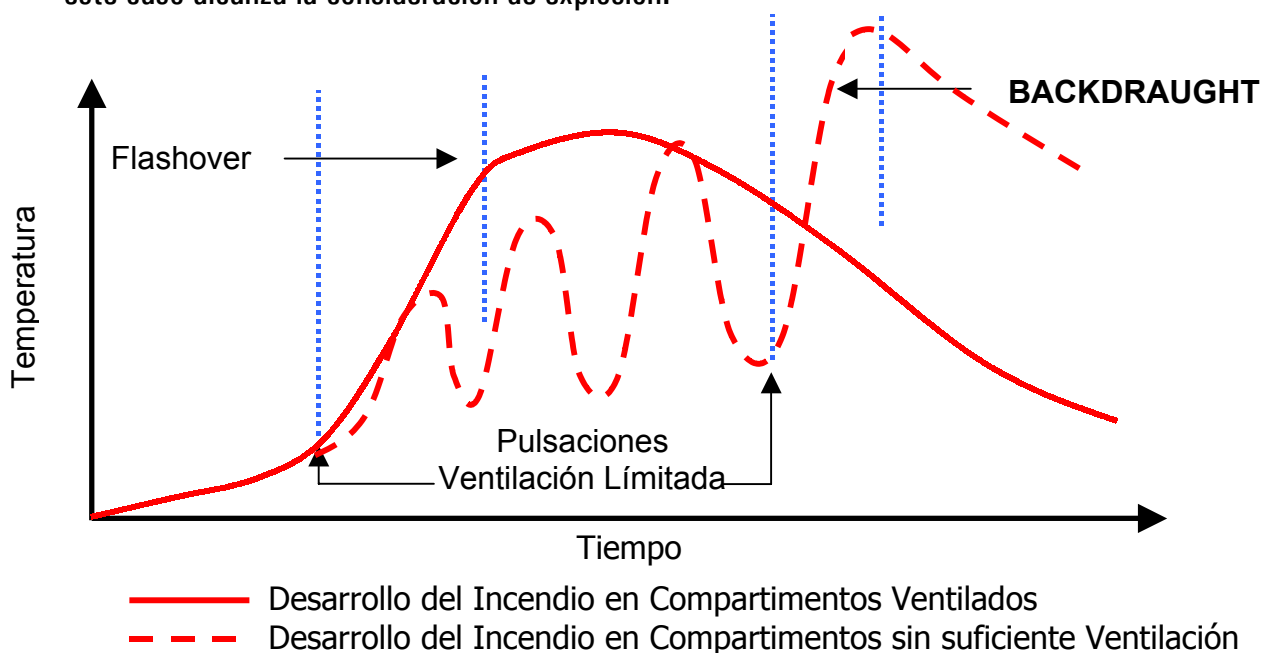
A medida que el incendio se desarrolla, con el adecuado aporte de aire, el proceso de combustión continuará desarrollándose y creciendo mientras que quede combustible. Pero si el suministro de aire en el recinto se restringe, el oxígeno del interior del recinto se consumirá antes de que pueda ser remplazado. Esto generará un progresivo descenso de la concentración de oxígeno en los gases de incendio del interior del recinto. Esto causará

inicialmente un incremento en la temperatura del recinto. En la medida en que el oxígeno disminuye, provocará que el calor radiado desde la pluma del incendio disminuya y las llamas comenzarán a apagarse. Sin embargo, esto no resultará en una reducción de los gases inflamables que se están produciendo y distribuyendo a través del compartimento hasta que la temperatura haya disminuido, o más exactamente hasta que la inercia térmica pierda potencia. Si se abre una abertura en el compartimento, esto permitirá el aporte de aire fresco y su mezcla con los gases del incendio, formando así una mezcla explosiva en la zona de interfase, es decir, en la zona donde entran en contacto gases de incendio y aire mientras se den condiciones de flujo laminar entre ambos.

Cuando esto ocurre y dependiendo del punto en el rango de inflamabilidad donde se produce la inflamación, la onda de presión que se puede generar alcanza valores que pueden llegar a los 10 kPa. (0,1 bar) y al efecto se le denomina como Backdraught o Backdraft.



Los efectos que provoca pueden ser variables, como hemos dicho, dependiendo del punto dentro del rango de inflamabilidad donde se produzca el efecto de combustión total que en este caso alcanza la consideración de explosión.



6.3 EXPLOSIONES DE GAS DE INCENDIO

Aunque queda claro que flashover y backdraught son dos fenómenos diferentes, existen además situaciones donde pueden ocurrir igniciones de gases de incendio en el interior de compartimentos. Estos "eventos" adicionales pueden no ajustarse necesariamente a cualquiera de las definiciones anteriores pero presentaran un desenlace similar en términos de propagación rápida del incendio. Es importante para los bomberos tener un conocimiento básico de todas las situaciones que pueden llevar a tales igniciones bajo condiciones variables en las que una estructura se ve afectada por un incendio.

- a) La formación de llamas de tamaño variable de gases de incendio puede ocurrir en el interior de un edificio. Éstas pueden existir en el propio compartimento incendiado, o en los compartimentos adyacentes, vestíbulos de entrada y corredores. También pueden trasladarse a cierta distancia de la fuente de ignición a través de huecos estructurales o falsos techos. **El aporte de aire y/o una fuente de calor no es un requisito para la ignición** de estos gases, los cuales ya han alcanzado un estado de pre-mezcla, simplemente esperando una fuente de ignición. Si en este punto aparece una fuente de ignición, entonces la deflagración resultante se parecerá a un backdraught pero en términos reales, lo que ocurre es una explosión de humo o gases de incendio.
- b) Puede ocurrir una ignición extensa de gases de incendio calentados en el lugar donde estos se mezclan con el aire, en la salida del recinto. Esto puede tener lugar en una puerta o ventana y el fuego resultante puede provocar un retroceso de la llama hacia el interior del compartimento a través de las capas de gas, algo similar a un retroceso de llama en un quemador Bunsen.

Aunque puede ser difícil diferenciar entre explosión de gases y backdraught, existen 3 razones principales para que las explosiones de gas sean diferentes:

Conducción

El calor puede trasladarse del recinto incendiado a otros compartimentos. Esto puede ocasionar que otros materiales se descompongan y produzcan pirolisis en el interior de otros compartimentos, los cuales no están afectados por el propio incendio.

Filtración

Puede producirse una filtración de gases de incendio desde el recinto incendiado a través de diferentes huecos, cavidades y conductos a otros compartimentos, los cuales pueden incrementarse con el paso del tiempo.

Tipo de Construcción

Las características de los diferentes tipos de construcción influenciarán la posibilidad de que se produzca una explosión de gases de incendio, no solo debido a la filtración referida anteriormente, sino también por combustiones lentas causadas por el calor radiante del incendio. Estas combustiones lentas pueden estar confinadas en el interior, por ejemplo, de paneles tipo sándwich, si no se detectan, se permitirá la formación de gases de incendio incontrolados.

Debe tenerse en cuenta también, que no es habitual que se produzca una explosión de gases en el compartimento en los momentos iniciales de un incendio

6.4 SEÑALES Y SINTOMAS

Existen una serie de *“señales”* y *“síntomas”* que nos pueden ayudar a *“diagnosticar”* la posibilidad de que tenga lugar cualquiera de los fenómenos antes descritos. Para ello bastará con aprender a efectuar un análisis *“rápido”* de los conceptos que hemos utilizado hasta el momento .

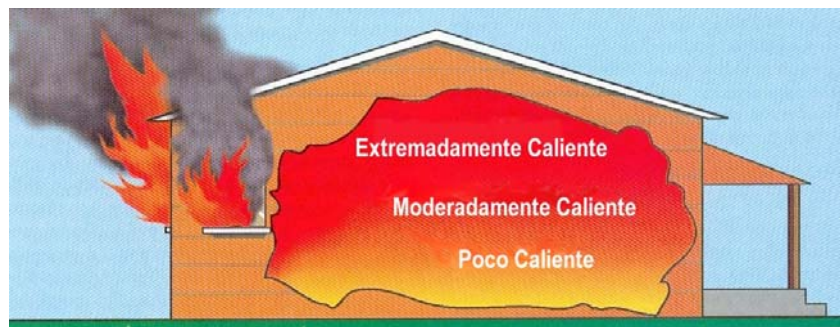
De esta forma, la detección comienza antes de introducirse en el recinto siniestrado, así si en la entrada al propio incendio, nos encontramos con un recinto abierto con poca cantidad de humo y un frente de llamas desarrollándose libremente podremos decir que estamos ante un incendio en pleno desarrollo, aquí podremos decir que el incendio se desarrolla en las proximidades del Límite Inferior de Inflamabilidad, ya que los gases de incendio estarán ardiendo en la medida en que se producen, sin dar lugar a mezclas inflamables ricas en combustible.

Si nos encontramos con que por los huecos de puertas o ventanas, vemos que columnas de humo denso formando grandes volutas se inflaman al contacto con el aire exterior, podremos deducir que el incendio se encuentra en una etapa donde el aporte de aire al incendio es insuficiente como para alcanzar el estado de incendio totalmente desarrollado, pero sí con la suficiente temperatura como para que en el exterior (donde se dispone de la suficiente cantidad de aire) los gases se inflamen por el efecto que provocan las llamas procedentes del foco de incendio y que se trasladan por la interfase (cojín de gases que salen y aire que entra) del plano neutro.

Finalmente si estas volutas son significativas, no se inflaman al contacto con el aire y observamos pulsaciones a través de orificios o rendijas, debemos tener en cuenta la posibilidad de que ocurra un backdraught.

Sin embargo, podemos encontrarnos con que estos síntomas externos no son claramente visibles y accedamos al recinto, en este caso debemos saber que en el proceso de incendio, nos encontramos con que las propias llamas están compuestas por gases inflamados, de los cuales el que se encuentra en una mayor proporción es el nitrógeno (aproximadamente un 64%), generándose una estratificación de gases en el cojín debida a la diferencia de densidad de las distintas especies gaseosas presentes, en general los gases de incendio son menos densos que los del exterior ya que 1 m^3 de aire pesa 1,2 Kg., mientras que la misma cantidad de llamas puede pesar unos 0,3 Kg.

Estos factores tienen su importancia ya que en el cojín de gases superior se establecen diferentes zonas de calor como consecuencia de los diferentes gases que lo componen, lo que por otra parte evidencia la existencia de zonas de flujo laminar a diferentes temperaturas.



Debido a este hecho los sonidos se amortiguan (al igual que ocurre con el forro del capó de los coches) haciéndose patente una sensación de silencio debido a que las ondas sonoras se rompen o amortiguan al atravesar las capas de diferente densidad.

Los síntomas que preceden a un flashover, en este caso, son precisamente la amortiguación del crepitoso ruido del incendio, lo cual da una sensación de falsa seguridad al bombero que se encuentra en el interior del recinto, seguido de un aumento súbito de la temperatura.

En resumen podemos concluir lo siguiente:

Antes de entrar en un compartimento los bomberos necesitan decidir si es seguro entrar o no. Los siguientes signos indican el desarrollo de un flashover.

- INCENDIO VENTILADO
- CALOR RADIANTE DOLOROSO
- DOTACIONES FORZADAS A PERMANECER AGACHADAS POR LAS ALTAS TEMPERATURAS
- SUPERFICIES CALIENTES
- LLAMAS A NIVEL DEL TECHO
- DESCENSO DEL PLANO NEUTRO
- INCREMENTO EN LA VELOCIDAD DE PIROLISIS
- INCREMENTO DE LA TURBULENCIA EN EL PLANO NEUTRO*

*Un aumento en la velocidad y/o turbulencia de los gases indica que la situación evoluciona rápidamente hacia Flashover. Puede observarse un Efecto Ondular de los gases.

Signos de un Backdraught

Los bomberos necesitan reconocer las condiciones donde se puede presentar una situación de backdraught. El factor más importante para determinarlo es conocer la HISTORIA DEL INCENDIO, como por ejemplo saber cuanto tiempo lleva el incendio en marcha, o que tipo de materiales estaban involucrados en el mismo.

Otras señales y síntomas son:

- INCENDIO CON VENTILACIÓN LIMITADA O SIN VENTILACIÓN
- HUMO NEGRO ESPESO, AMARILLO Y/O FRIO
- LLAMAS AZULES
- PUERTAS Y VENTANAS CALIENTES
- VENTANAS ENEGRECIDAS DE HOLLÍN
- AUSENCIA DE LLAMAS VISIBLES
- AIRE SIENDO ARRASTRADO (SUCCIONADO) HACIA EL INTERIOR (RUIDO DE SILBIDO)
- PULSACIONES DE HUMO a través de pequeños huecos en las entradas.

7 CONTROL DE FLASHOVER/BACKDRAUGHT

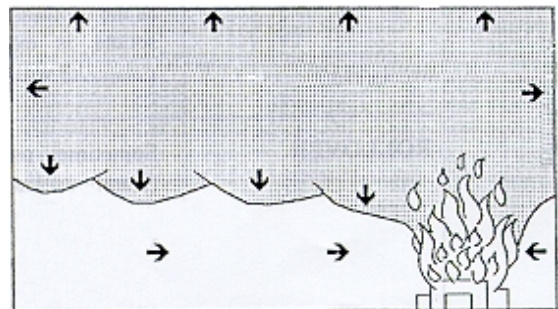
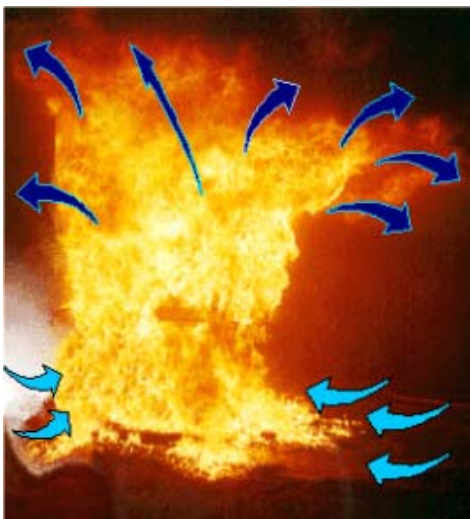
Hemos definido el origen y evolución de un fenómeno natural como es el desarrollo de un incendio en las condiciones que se pueden dar en un recinto cerrado.

Si se analizan los factores que lo controlan vemos que se hace difícil intentar definir todas las posibilidades a través de las cuales puede evolucionar el fenómeno, y consecuentemente todas las acciones que podemos adoptar para su control, este conocimiento solo es posible adquirirlo con el suficiente entrenamiento y con la propia experiencia adquirida en los diferentes servicios en los que se ha participado (acabamos de definir el principio de que ningún incendio se parece a otro).

Sin embargo lo que sí podemos hacer es definir unas 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.

7.1 EXTINCIÓN DE INCENDIOS

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 la capa inferior contendrá el aire remanente en la habitación. A la línea de separación imaginaria de 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 aire remanente en el compartimento está siendo utilizado y arrastrado hacia el incendio.

Extinción con Agua

El agua es un medio ideal de extinción ya que esta se encuentra rápidamente disponible y cuando se aplica a un incendio esta incide sobre todos los lados del triangulo del fuego, es decir:

Disminuye el **COMBUSTIBLE**

La rápida conversión del agua a vapor y su expansión, diluye los gases inflamables. Además reduce la producción de gases inflamables por efecto de la pirolisis, ya que se reduce el calor. La expansión del agua a vapor empuja al exterior algunos de los gases existentes.

Reduce el **CALOR**

Absorbe el calor cuando el agua líquida se convierte en vapor.

Disminuye el **OXÍGENO**

El vapor limita la cantidad de oxígeno que llega al incendio sofocándolo.

Cuando el agua se transforma en vapor, expande su volumen a razón de 1:1700 veces a 100 °C. Si la temperatura aumenta a 450 °C el vapor duplicará su expansión, es decir, 1:3500.

El 80 % de la energía de los incendios será absorbida por la transformación del agua del estado líquido a estado vapor.

Así por ejemplo, si aplicamos un litro de agua a un incendio y la temperatura final resultante es de 450 °C, esta tomará el 80% del calor ya que producirá 3500 litros de vapor.

7.2 TÉCNICAS DE EXTINCIÓN

Una intervención bien realizada supone evitar la aparición del flashover o un backdraught. El objetivo principal para evitarlo será bajar la temperatura de los gases mediante la técnica adecuada de aplicación de agua y la inflamabilidad de la mezcla por dilución de los gases de incendio con el vapor de agua generado, posteriormente se extinguirán los focos de ignición.

Cuando se extingue una llama con polvo químico, alrededor de cada partícula se forma una zona de aproximadamente 1 mm de espesor donde no existe combustión, el conjunto de estas zonas extingue la llama, 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 la llama, ésta también se extinguiría, a este efecto se le denomina efecto Devy y para conseguirlo la cantidad de gotas necesarias serán función de la temperatura de los gases incendiados y de la cantidad de flujo de los mismos.

Teóricamente se necesitarían 200 millones de gotas por metro cúbico de llama para extinguirla según el efecto descrito. Si las gotas de agua se mueven rápidamente entre las llamas, estas enfriarán un volumen mayor. Según Krister Gilselsson y Mats Rosander este efecto comienza a notarse cuando las gotas de agua adquieren un diámetro igual o inferior a 0,3 mm.

Podemos establecer tres clases principales dentro de los métodos de extinción:

1. Indirecto
2. Directo
3. Enfriamiento de los gases del incendio

7.2.1 Indirecto (Defensivo)

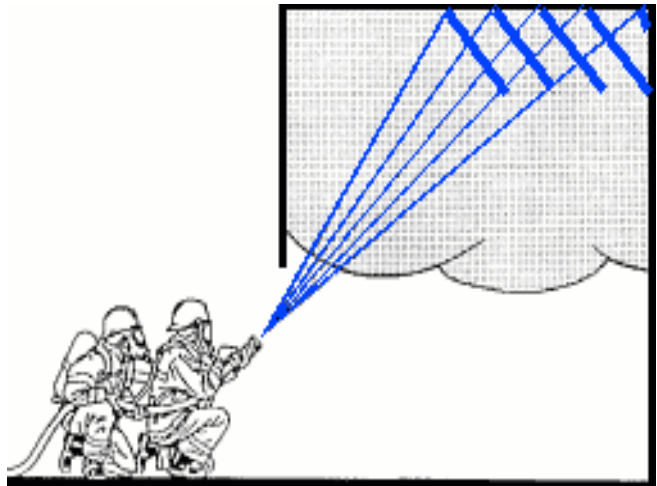
Intención

Un fuego puede extinguirse dirigiendo el agua al interior del compartimento para producir vapor y crear una sobre presión la cual desplazará hacia el exterior el aire y sofocará el incendio.

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

Procedimiento

Agua pulverizada con el cono en posición media dirigida a la parte superior y alrededor del fuego. La lanza debe moverse en forma circular de forma que se asegure la máxima cobertura.



Efecto

Enfriar y diluir los gases del incendio. Enfriar la estructura del compartimento. Las grandes cantidades de vapor producido ejercen un efecto de sofocación sobre el incendio. Disminución del plano neutro, con la consecuente reducción de la visibilidad y el empeoramiento de las condiciones de seguridad para los bomberos y víctimas.

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

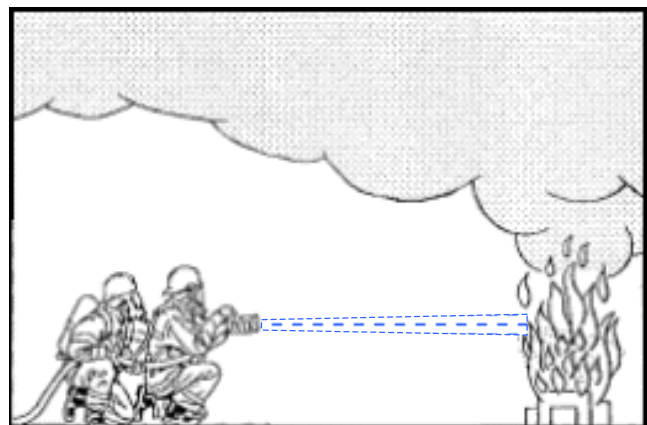
7.2.2 Directo

Intención

Debe aplicarse en las etapas iniciales del incendio o cuando el incendio es exterior. Se aplica directamente sobre el lugar donde se encuentra el foco del incendio.

Procedimiento

Chorro/niebla con ajuste del cono mínimo dirigido directamente al fuego.



Efecto

Extinción del fuego. Posibles daños causados por el agua. Entrada de aire en el compartimento, intensificando el incendio si no se utiliza correctamente. Condiciones muy severas para los bomberos y víctimas.

7.3 ENFRIAMIENTO DE LOS GASES DEL INCENDIO (OFENSIVO)

El uso de la técnica de enfriamiento de los gases del incendio (también denominadas como técnicas tridimensionales (3D), agua-niebla u "ofensivo") mediante la supresión de la fase gaseosa de un incendio es un método relativamente reciente e innovador.

Debe quedar claro que tales aplicaciones se utilizan -no (solamente) para la extinción del incendio- principalmente para **"asegurar" la vía de penetración al incendio y reducir la probabilidad de flashover-backdraught y Explosiones de Gases de Incendio.**

Estas técnicas no han sido diseñadas para reemplazar el método de ataque "directo" al incendio utilizando el agua de la forma descrita anteriormente, sino también, para complementar las formas existentes de ataque al incendio en un esfuerzo de incrementar la seguridad y efectividad de los equipos de bomberos.

El método de "Enfriamiento de Gases", cuando se utiliza como una herramienta de extinción de incendios, consiste en colocar el agua pulverizada directamente en los gases de incendio calientes, utilizando proyecciones cortas y rápidas para colocar la mínima cantidad de agua en la zona de sobrepresión. Este agua entonces se evaporará en la zona de los gases calientes, generando una "zona de extinción", aunque no debe hacer contacto con las superficies calientes tales como paredes y techo, produciendo así un exceso de vapor. Este efecto de enfriamiento provocará **una contracción mucho mayor de los gases de incendio que la expansión producida por el vapor de agua**, y de esta forma el resultado final será la contracción del todo el volumen de gases final frente al que había inicialmente, dejando libre el espacio delante de los bomberos que manejan la lanza. Esta maniobra, en efecto, 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, además también se incrementan las probabilidades de supervivencia de las víctimas.

Este efecto se alcanza mediante lanzas específicas y seleccionando los ángulos del cono ideales y el diámetro de la lanza que producirá un **tamaño de gota no superior a 0.3 mm de diámetro**. Así mismo la lanza debe ser manipulada de una forma determinada,

denominada "pulsaciones" de manera que se llegue a conseguir de forma adecuada el efecto antes descrito.

Básicamente existen tres "técnicas de pulsaciones" diferentes:

1. Pulsaciones cortas
2. Pulsaciones largas
3. Pulsaciones largas con barrido

Una cuarta técnica, la cual se también utiliza, aunque no consiste en una técnica de pulsación, es una adaptación del método directo, pero se utiliza mediante un mayor control del sitio donde se proyecta el agua. Esta técnica se denomina;

4. Pintar

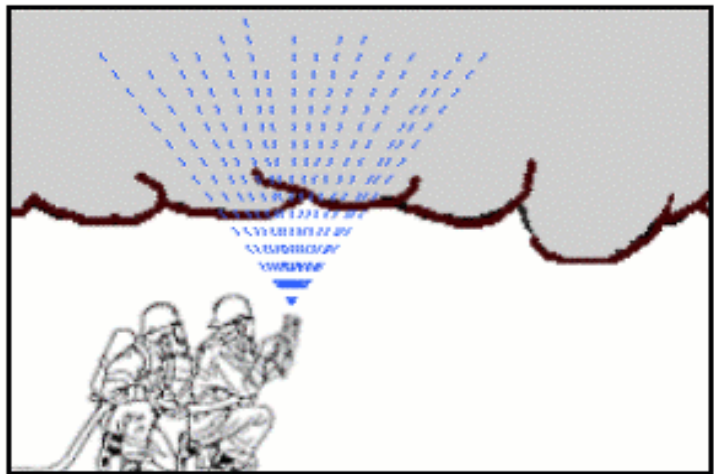
7.3.1 Pulsación Corta

Procedimiento

Posición del cono de la lanza en pulverización media/ancha. Aplicar pulsaciones cortas, dirigidas directamente sobre los gases del incendio en la zona de sobrepresión.

Efecto

Enfriar y diluir los gases inflamables y por consiguiente prevenir que los gases de incendio alcancen su temperatura de autoignición.



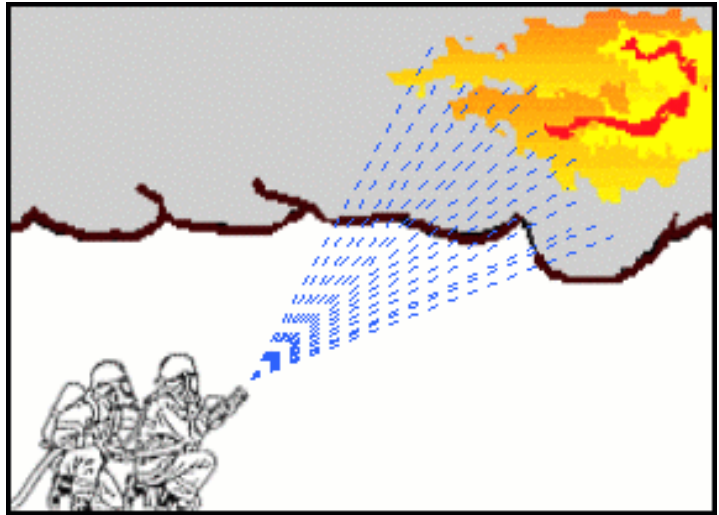
7.3.2 Pulsación larga

Procedimiento

Posición del cono de la lanza con pulverización media. Aplicar pulsaciones largas, dependiendo de la penetración requerida. Dirigir el chorro directamente sobre la zona de sobre presión a los gases incendiados.

Efecto

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



7.3.3 Pulsación larga con barrido

Procedimiento

Posición del cono de la lanza con pulverización media. Al igual que con las pulsaciones largas, dirigir el chorro directamente sobre la zona de sobre presión a los gases incendiados moviendo la lanza en forma circular, la intención es la de proyectar la mayor cantidad de posible de gotas de agua en el seno de los gases calientes cuando existen grandes volúmenes de estos incendiados de forma que se intenta abarcar toda su superficie.

Efecto

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

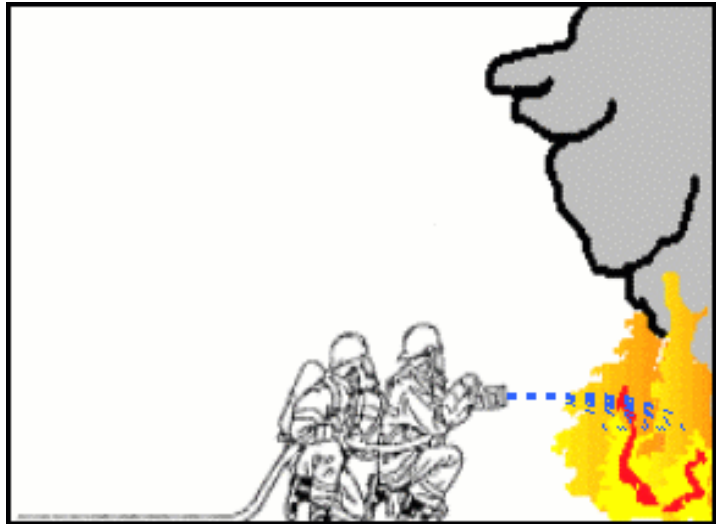
7.3.4 Pintar

Procedimiento

Aplicar pequeños chorros de agua. Utilizar la menor cantidad de agua posible, dependiendo de la penetración requerida. Dirigir directamente sobre todas las sustancias y materiales combustibles.

Efecto

Enfriar todos los productos y materiales combustibles, y además prevenir la descomposición de los materiales en gases de combustión (pirólisis).



Utilización efectiva del agua

Para efectuar de la forma más eficiente posible el enfriamiento de los gases de incendio, es preciso disponer de una lanza adecuada que proporcione el tipo de niebla (agua pulverizada) adecuado y un caudal aproximado de 300 l/m. La proyección a los gases calientes se realiza mediante cortas y sucesivas pulsaciones con una abertura de cono intermedia, la gasificación del agua que se produce provoca una contracción de los gases inflamados y una elevación del plano neutro.

Dicha contracción se debe al descenso de la temperatura provocado en los gases de incendio. Cuando la cantidad de agua utilizada y la forma en que se aplica son las correctas el efecto global es el de una contracción, ya que el volumen total de gases de incendio disminuye en tal proporción, que la suma del volumen de los gases enfriados más el volumen del vapor de agua generado, no superan el volumen inicial de los gases de incendio.

Con el fin de mantener estos parámetros estables, en la extinción de un incendio los buceadores de humo deben mantener un delicado equilibrio entre las pequeñas cantidades de agua aplicada, con el fin de mantener al mínimo la cantidad de vapor producido pero aportando el agua suficiente para extinguir el incendio.

Demasiada agua produce grandes cantidades de vapor, haciendo descender el plano neutro empeorando las condiciones para los bomberos, ya que se reduce el campo de visión y quedan expuestos al vapor y "aumento de la temperatura" aparente creado por la fuerte corriente de vapor de agua sobrecalentado que penetra sin dificultad en el interior del equipo de protección individual.

Para enfriar la máxima cantidad de gases con la mínima cantidad de agua, el tamaño de las gotitas desde la lanza deben mantenerse tan pequeñas como sea posible, y así aumentar la superficie del agua disponible para enfriar. Estas pequeñas gotitas aplicadas en pulsaciones cortas asegurará un enfriamiento rápido a medida que atraviesan los gases calientes produciendo la mínima cantidad de vapor y asegurando unas condiciones en el interior del compartimento lo más confortables posibles, a la vez se podrá tener un control más eficaz sobre los posibles excesos de vapor que si se aplican grandes cantidades, donde no es posible corregir.

Además de la cantidad de agua utilizada, el lugar donde esta se coloca es importante también. Si el agua cae toda sobre el piso no está siendo efectiva, por consiguiente el agua debe ser dirigida al interior de la capa de gases donde esta puede ser mejor aprovechada, si por otra parte esta agua da contra las paredes u otras superficies calientes la cantidad de vapor generado será excesiva. Conseguir el nivel de técnica adecuado es una cuestión de familiarizarse con la lanza y de entrenamiento, en general las primeras veces estas maniobras no resultan sencillas, por lo que es necesario practicar con asiduidad.

Los bomberos pueden decidir utilizar la lanza con agua nebulizada en posición media con pulsaciones cortas o un cono más estrecho con agua pulverizada y pulsaciones largas.

Factores que determinan el caudal necesario de la lanza:

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

7.4 MÉTODO DE ATAQUE OFENSIVO

Este método de extinción es el resultado de la aplicación práctica de los conceptos teóricos establecidos anteriormente, y por tanto es en el que nos vamos a centrar, se puede aplicar en recintos donde tenemos gases de combustión originados por un incendio, aunque su implementación va más allá de la mera forma en que debemos proyectar el agua, existen una serie de reglas que se deben de respetar, y sobre todo un equipo que debe de actuar siguiendo estas reglas, si esto no es así podemos hacer desembocar en accidente lo que debe ser una intervención rápida y eficaz.

El mando a cargo de la unidad, debe hacer 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 en el desarrollo de incendio en que éste se encuentra.

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, debemos puntualizar que en toda intervención debe establecerse con anterioridad un procedimiento por el cual se establezca el número de hombres que van a intervenir, y las funciones que cada uno realizará. También es conveniente dar nombre a estos procedimientos con el fin de optimizar el tiempo de intervención y sobre todo la coordinación.

Así mismo debemos definir el tipo de instalación a utilizar para la aplicación de esta técnica, para lo cual se establecen los siguientes criterios:

El factor determinante para que la técnica sea efectiva es la forma de aplicación del agua, esta puede conseguirse de varias formas dependiendo del tipo de instalación que se utilice, básicamente podemos obtener dos tipos de instalación.

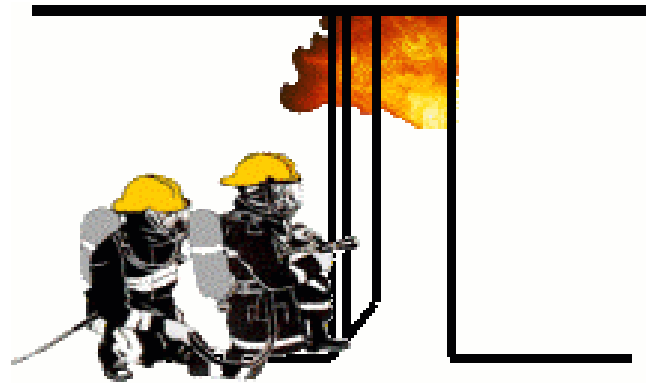
- Instalación con baja presión y mangueras de 45 mm de diámetro, con lo cual debemos establecer una presión en punta de lanza de 8 bar y regular el caudal de la lanza en la posición más próxima a los 300 l/min. con una abertura de cono adecuada al frente que se desea cubrir, que en todo caso no será el de abertura total.

- El segundo tipo de instalación que se puede efectuar, es con una línea de 25 mm de diámetro de alta presión con lanza adecuada para trabajar en estas condiciones, donde los requerimientos de bomba suelen estar entre los 25 y 30 bar de presión para que en la posición de 115 l/min., podamos obtener un caudal próximo a los 300 l/min., la abertura del cono será la misma que en el caso anterior.

De entre ambas posibilidades se aconseja la segunda dada su mayor manejabilidad. El agua se aplica con una serie de pulsaciones cortas y muy rápidas.

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

1. El binomio de bomberos que va a introducirse en el recinto, debe de observar la cantidad de humos, 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, dando así una idea aproximada en cuanto a la posibilidad de que el incendio evolucione hacia un backdraught al abrir la puerta y que los gases evolucionen desde el límite superior de inflamabilidad hacia el rango de inflamabilidad, o bien una explosión de gases de incendio 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 puerta y los gases que ya se encuentren en el exterior enfriándolos.

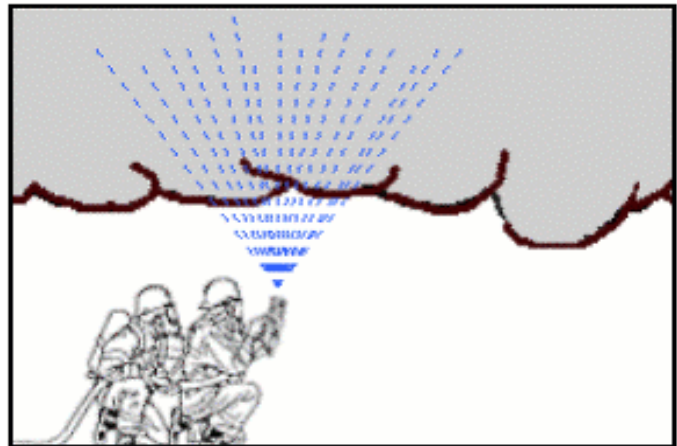
Cuando los dos acceden al interior del recinto, en el lugar por donde penetran debe permanecer otro miembro del equipo de ataque para asegurar que los gases que saldrán al exterior no se autoinflamen y observar su evolución con el fin de hacer salir al equipo del interior o reforzarlo en caso de ser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

Utilizar la protección de puertas y paredes, permaneciendo siempre agachados.

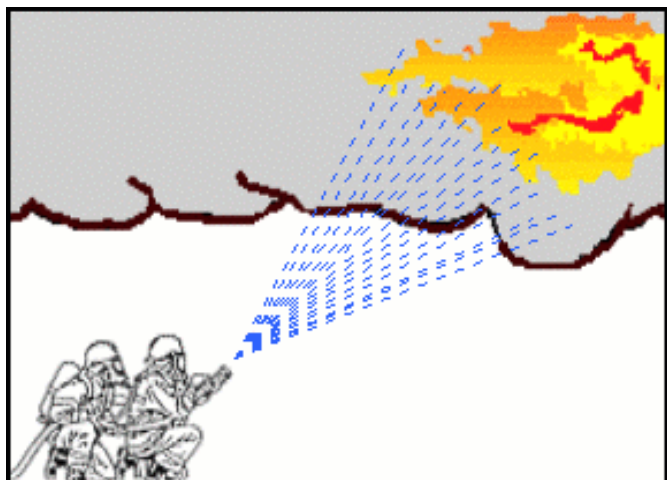
Recordar que las paredes son más resistentes que las puertas y darán una mayor protección antes de entrar, por tanto cuando sea posible utilizar las paredes como protección antes que las puertas.

2. Tras la penetración del binomio, debe cerrarse la puerta, 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"**.

Esta acción se efectúa sobre los gases que nos encontramos nada más entrar en el recinto, mediante pulsaciones cortas y muy 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.



3. 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, teniendo en cuenta que no debemos aplicar más cantidad de agua de la necesaria, ya que de lo contrario romperíamos el equilibrio entre los volúmenes

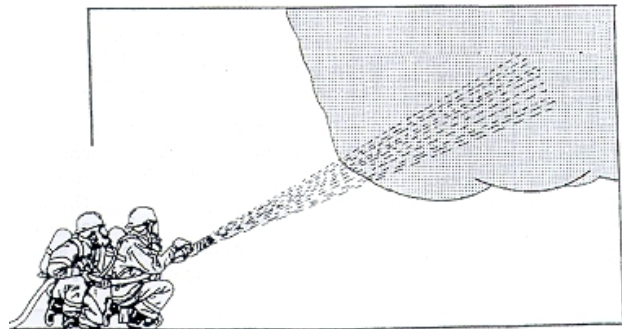


de gases generados provocando un fuerte incremento de la cantidad de vapor de

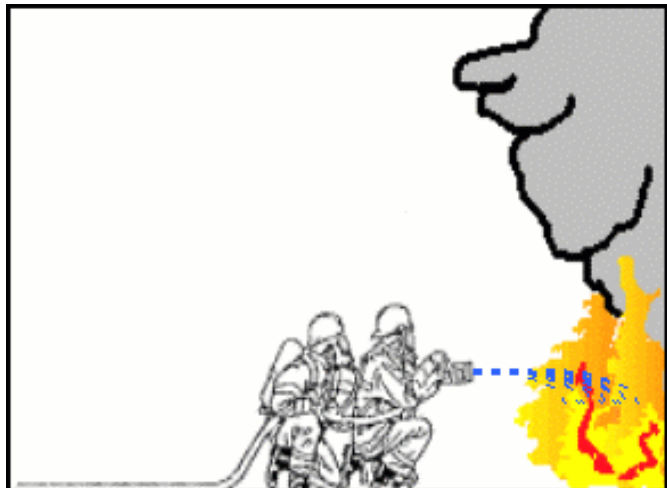
agua el cual a una temperatura superior a los 100° C ocuparía la mayor parte del volumen del recinto provocándonos quemaduras mucho más graves que las que el propio incendio nos generaría por efecto del calor radiante y anulando así mismo el efecto deseado de enfriamiento y aumento de visibilidad como consecuencia de la contracción de los gases de combustión.

4. Si persistimos en el ataque a los gases de combustión, finalmente conseguiremos cortar el avance de propagación del incendio de tal forma que solo quedará activo el foco primario del incendio y el efecto de destilación de los materiales próximos a él en estado de pirolisis como consecuencia de la inercia térmica que todavía sigue acompañando al proceso.

En este punto se procede a "*pintar paredes*", lo cual 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.



5. 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 el mínimo necesario para conseguir enfriar y cortar de forma definitiva el proceso de incendio.



8 CONSIDERACIONES FINALES

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 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 gran 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.

Si el método de enfriamiento de gases se aplica correctamente entonces los gases de incendio se diluirán y enfriarán lo suficiente para mantenerlos alejados de su rango de inflamabilidad.

Utilizando la técnica de pintar para "PINTAR" las superficies calientes con agua enfriará las superficies e impedirá la producción de más gases de incendio inflamables generados por la pirolisis.

8.1 Procedimientos 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.

- 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 que 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 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, cerrando la puerta tan pronto como sea posible después de haber entrado.
- 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 observar 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 controlar 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 esta manera se obtiene el máximo efecto de enfriamiento de los

gases de incendio utilizando la menor cantidad de agua, aunque evitando en la medida de lo posible una “acción de barrido”.

- 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.
- Este procedimiento debe repetirse permitiendo de esta manera el avance de los bomberos hacía 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.
- Manteniendo el “equilibrio térmico” de esta manera, y 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.

Algunos bomberos Europeos, especialmente los Suecos, prefieren cerrar parcialmente la puerta del compartimento detrás de ellos cuando entran (ellos denominan esta operación “anti-ventilación”). El motivo de tal acción es el de mantener el “control del aire”, haciendo disminuir la cantidad de aire 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 puede aumentarse o disminuirse en cualquier etapa de las operaciones de extinción para inducir condiciones tales como:

1. La altura de la interfase de la capa de humo;
2. La cantidad de calor radiante procedente del techo;
3. La intensidad del fuego;
4. La dirección de la pluma de incendio a nivel del techo;
5. La temperatura en el interior del compartimento.

8.2 Control de Temperatura

Los bomberos deben llevar a cabo un control de la temperatura a continuación de su entrada en el compartimento.

Se dirige una pulsación corta directamente sobre la cabeza de los bomberos en la zona de presión positiva, mirando y escuchando cualquier signo del agua volviendo a caer sobre ellos, esto indicará si el área inmediatamente sobre ellos está lo suficientemente fría para seguir avanzando hacia el interior del compartimento.

8.3 Desplazamiento Entre Compartimentos

Cuando los bomberos entran en un edificio, deben asegurar que el fuego del compartimento hacia el que se están desplazando no encenderá los gases de incendio que llenan el compartimento desde el que ellos se están desplazando (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.

8.4 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 verificaran la parte superior y la trasera.

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

8.5 Consideraciones en Incidentes

1. Observar el edificio teniendo en cuenta tamaño, tipo de construcción y posibles contenidos.
2. Buscar posibles signos y síntomas de Flashover o Backdraught.
3. Controlar los ajustes de la instalación.
4. Considerar diámetros de mangas más grandes si se considera necesario.
5. Disponer una manga de 45 mm cargada manteniéndola como línea de seguridad
6. Utilizar correctamente el procedimiento de entrada tal como se describió anteriormente.
7. Nada más entrar en el compartimento efectuar el control de temperatura.
8. Asegurar la posición utilizando el enfriamiento de los gases, avanzar cuando se haya asegurado, utilizando las técnicas de enfriamiento de gases apropiadas.
9. Observar los gases del incendio a nivel del techo, enfrente, por encima y por detrás en todo momento.
10. Asegurar una comunicación constante con todos los miembros del equipo.
11. Proceder al avance a través del compartimento aplicando los principios descritos en los puntos 8 a 10.
12. Pintar con agua la base del incendio utilizando el método directo. 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.
13. Cuando se rescaten víctimas, el método de enfriamiento de gases se utiliza para mantener el plano neutro tan alto como sea posible, por consiguiente incrementando sus cambios para sobrevivir a los gases de incendio y a las quemaduras por vapor.
14. 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 compartimento. Deben asegurarse de que un compartimento es seguro antes de entrar en el compartimento siguiente, aplicando los principios descritos en los puntos 2 a 10.

Finalmente, debemos decir que el método descrito para el control de flashover, 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 de que la técnica es simple y con unas cuantas pulsaciones tenemos un incendio bajo control, y a este punto solo es posible acceder mediante técnicas de formación adecuadas en este sentido, las cuales nos llevarán en un futuro a una verdadera profesionalización de los cuerpos de extinción.

ANEXO TÉCNICO

Este documento está especialmente destinado a documentar someramente aquellos aspectos técnicos descritos en el presente manual

Desarrollo de Incendios

El desarrollo de incendios desde el punto de vista del análisis de su evolución depende de dos factores esenciales:

- Tipo de material
- Cantidad de oxígeno que puede ser aportada

Para calcular los parámetros que rigen la evolución de un incendio debemos introducir una serie de conceptos que se definen como sigue:

Efecto Térmico

Se define el efecto térmico como el efecto de la potencia calorífica que un determinado material provoca en un recinto cuando entra en combustión, cualitativamente se pretende determinar la potencia que un material es capaz de desarrollar por efecto de la combustión:

$$\frac{\text{Energía Desarrollada}}{\text{Tiempo}} = \frac{\text{Julios}}{\text{Segundo}} = \text{Wattios}$$

Para definir de forma cuantitativa este efecto son necesarias dos expresiones:

$$q_c = \chi m \Delta H_c$$

Donde:

q_c = Potencia de la combustión (Cantidad de lo que se puede quemar por unidad de tiempo) en W ó Mw.

χ = Rendimiento de la combustión (su valor oscila entre 0,6 – 0,7).

m = **Perdida de masa** en Kg/s, o lo que es lo mismo la masa de gases de pirolisis que se desprenden de la superficie del combustible y que consecuentemente participa en la combustión. Este factor define la Intensidad de la Combustión.

ΔH_c = Cantidad de energía desprendida al consumirse un kg. de material en Mj/Kg.

La segunda expresión viene dada por la siguiente ecuación:

$$q_c = \chi A_f m \Delta H_c$$

Donde:

A_f = Área del combustible en m^2 .

\dot{m} = Pérdida de masa por unidad de tiempo y superficie $kg/m^2.s$.

Definidas las ecuaciones que nos permiten determinar el efecto térmico de una combustión, podemos pasar al análisis de las expresiones que determinan el comportamiento del incendio en base a los dos grandes parámetros que lo delimitan, como son la cantidad de oxígeno disponible y la cantidad de gases de incendio desprendidos.

En la primera fase del desarrollo de un incendio el efecto térmico que se produce está controlado por el combustible, ya que es el factor que se encuentra en "minoría" en el proceso, y el que por tanto va a marcar la cantidad de reacción química que se va a producir, pudiéndose considerar la cantidad de oxígeno como infinita, en esta fase el valor del efecto térmico es el ya visto por la expresión:

$$\dot{q}_c = \chi \dot{m} \Delta H_c$$

Si el incendio continúa, el efecto térmico que se va generando empieza a ser función del oxígeno que quede presente en el recinto, ya que este se va consumiendo y tan solo dispondremos del que penetre a través de las aberturas, en este momento el efecto térmico depende de la cantidad de oxígeno que puede entrar en el recinto incendiado y se calcula mediante la expresión:

$$\dot{q}_{c \text{ máx}} = 1500 A \sqrt{h}$$

Donde:

$A\sqrt{h}$ = Índice de ventilación.

$A = \sum A_i$ = Sumatorio de las áreas de la abertura en m^2 .

$h = \frac{\sum h_i A_i}{\sum A_i}$ = Altura promedio de las aberturas en m.

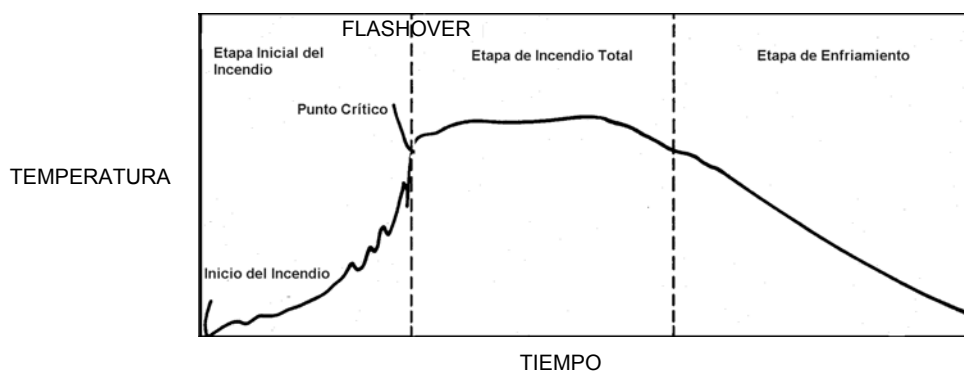
Esta es una expresión empírica mediante la cual observamos que a mayor índice de abertura, mayor será el efecto térmico ya que la cantidad de oxígeno que penetra en el recinto es mayor.

Debe entenderse, no obstante, que esta expresión está diseñada para un 100% de rendimiento en la combustión, lo cual no se da nunca en la realidad.

Para saber cual va a ser realmente el desarrollo que va a seguir un incendio se calculan las curvas correspondientes a ambas expresiones y la de menor valor (puede ser cualquiera de las dos, dependiendo de los casos) es la que nos indica la evolución del incendio.

Cálculo de la fase de Incendio Generalizado

Si recordamos la curva de desarrollo de incendios vemos que existe un momento marcado por el punto crítico donde pasamos a la fase de incendio desarrollado o de flashover, es posible calcular, en función del material y las condiciones estructurales del



recinto, cual es la potencia o efecto térmico necesario para que este se produzca, así como el rango de temperaturas necesarias para ello.

Las expresiones que nos permiten llegar a estos cálculos son las siguientes:

Para que se produzca el Flashover, es necesario disponer de una cantidad mínima de energía, esta se puede calcular mediante la expresión:

$$\dot{Q} = 7,8A_{TOT} + 378A\sqrt{h}$$

Donde :

\dot{Q} = Efecto mínimo en Kw. para que se produzca el Flashover.

$A\sqrt{h}$ = Índice de ventilación.

A_{TOT} = Área total del recinto.

La cantidad de aire máxima que puede entrar en el recinto viene dada por la expresión:

$$\dot{m}_{INmáx} = 0,5A\sqrt{h}$$

Se puede considerar que un combustible sólido precisa de 6 Kg. de aire por cada Kg. de combustible en su combustión, así pues tendremos que el valor de la pérdida de masa o caudal masa será:

$$\dot{m}_b = \frac{0,5A\sqrt{h}}{6} = 0,09A\sqrt{h}$$

Mediante el cálculo de \dot{m}_b , podemos conocer si el material que existe en el recinto va a ser suficiente para generar la potencia calorífica requerida para que se produzca el flashover, mientras \dot{m}_{IN} , nos permite saber si entrará el aire suficiente.

El efecto será pues:

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_b \Delta H_c$$

Mediante el cálculo de \dot{Q}_b sabremos si podemos alcanzar el valor calculado para \dot{Q}

Conocido el valor de \dot{Q}_b podemos entonces calcular la temperatura crítica en el cojín de gases para que se produzca el flashover, mediante la siguiente expresión:

$$T_g = 6,85 \left(\frac{\dot{Q}_b^2}{A\sqrt{h}A_{TOT}h_k} \right)^{\frac{1}{3}} + T_0$$

Donde:

T_g = Temperatura que deseamos conocer en °C.

\dot{Q}_b = Efecto térmico necesario en Kw.

$A\sqrt{h}$ = Índice de ventilación en $m^{5/2}$.

A_{TOT} = Área total del recinto en m^2 .

T_0 = Temperatura inicial en °C.

$h_k = \sqrt{\frac{K\rho C_p}{t}}$ = Índice de transmisión de calor del cojín de gases a la estructura en Kw/m^2 °C.

Donde a su vez:

K = Índice de transmisión de calor de la estructura en W/m °K.

ρ = Densidad del material de construcción en Kg/m^3 .

C_p = Capacitividad del material (Cantidad de energía que se puede acumular).

t = Tiempo en seg.

El valor de la potencia del efecto térmico de radiación se desglosa del valor total del efecto mediante un balance de energía.

Los valores promedios así obtenidos son los indicados de 12 a 20 Kw/m² y de 500 a 650° C.

Criterios de Inflamabilidad

La forma de establecer los límites de inflamabilidad para los diferentes gases inflamables existentes, se verifica mediante una serie de ensayos normalizados, de forma que a través de esta serie de ensayos se calculan los valores para cada combustible que establecen tanto sus límites de inflamabilidad, como su temperatura de ignición y autoignición.

Sin embargo en el caso de un incendio, estos factores se ven alterados por las condiciones del entorno que rigen en el recinto incendiado, de forma que estos parámetros se ven notablemente alterados. Es altamente importante el efecto de la temperatura en los gases de incendio, ya que el aumento de esta amplía el valor del rango de inflamabilidad. Se calcula que un aumento de unos 100 ° C en la temperatura, puede provocar un aumento en el límite superior de inflamabilidad del orden del 8% y un descenso del límite inferior de otro tanto. Podemos utilizar las ecuaciones de Burgess-Wheeler para el cálculo de límites de inflamabilidad de vapores de hidrocarburos a temperaturas distantes de la temperatura ambiente:

$$L.I.I.(t) = L.I.I.(25^\circ C) [1 - 0,75 (t-25) / (-\Delta H_{comb})]$$

$$L.S.I.(t) = L.S.I.(25^\circ C) [1 + 0,75 (t-25) / (-\Delta H_{comb})]$$

Donde t es la temperatura en grados centígrados y $-\Delta H_{comb}$ el calor standard de combustión (inferior en este caso), en Kcal/mol.

En cuanto a la medida en que la concentración de oxígeno modifica los límites de inflamabilidad, diremos que en el L.I.I. apenas existe variación debido a que a las concentraciones en dicho límite el oxígeno está en exceso, sin embargo el límite superior suele aumentar considerablemente al aumentar la concentración de oxígeno. Por ejemplo para el propano el L.S.I. pasa de ser el 9,5% a ser del 55% de ser calculado en oxígeno en lugar de en aire, mientras que el L.I.I. varía del 2,1% al 2,3%.

Por otra parte, es especialmente difícil el cálculo matemático con precisión de los límites de inflamabilidad para mezclas de gases, como es el caso de los gases de incendio, de hecho, se encuentran pocas formulas que permitan dichos cálculos. Sin embargo puede calcularse el valor del L.I.I. mediante la ecuación de Le Chatelier:

$$L.I.I._{mezcla} = \frac{1}{\sum (Y_{i,comb} / L.I.I._i)}$$

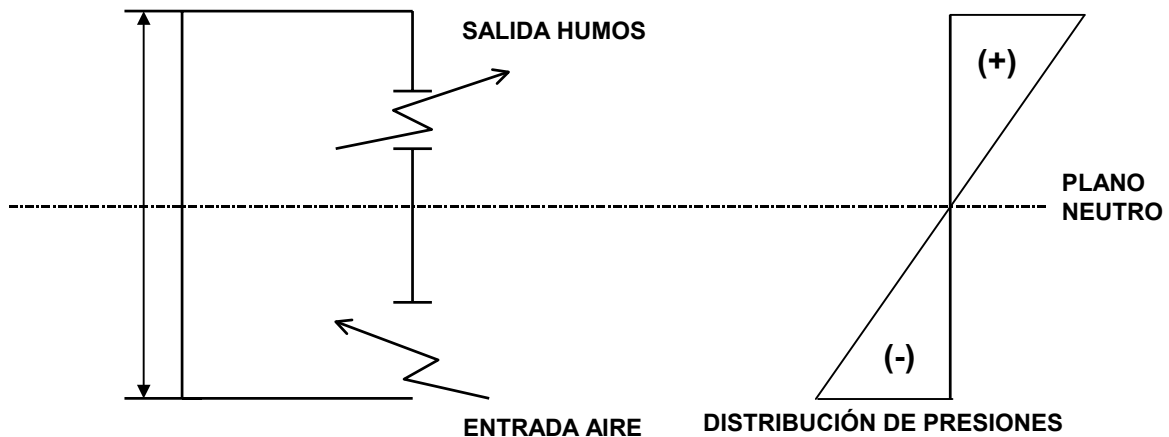
Donde $Y_{i,comb}$ es la fracción molar de cada uno de los componentes inflamables que componen la mezcla y L.I.I. su límite inferior de inflamabilidad, expresado también como fracción molar. Si analizamos pues esta expresión, vemos que una mezcla puede estar dentro de los límites de inflamabilidad, aunque cada uno de los componentes de forma individual lo esté por debajo. No obstante se debe matizar que esta es una expresión empírica con numerosas excepciones y por consiguiente se debe ser muy crítico a la hora de aplicarla.

Efecto del Incendio

Mediante esta expresión se quiere dar a entender, el efecto mecánico que produce el aumento de presión que provoca la ignición de la masa de gases combustibles cuando entran en ignición.

Plano Neutro

Cuando un incendio se desarrolla en un recinto cerrado, se establecen unos gradientes de presión en el interior del mismo que básicamente establecen dos zonas claramente diferenciadas: una de presión positiva situada en la parte superior del recinto y otra de presión negativa situada en la parte inferior, la interfase entre ambas zonas se denomina plano neutro tal y como se muestra en la figura.



Las distintas etapas por las que atraviesa el incendio, hacen que las zonas de presión cambien su tamaño y por consiguiente provocan un desplazamiento del plano neutro.

En la medida en que el incendio se desarrolla el plano de presión positiva aumenta, haciendo disminuir el volumen del plano de presión negativa pudiendo desplazar la resultante del plano neutro por debajo del nivel del suelo en incendios con escasa alimentación de oxígeno.

BIBLIOGRAFÍA

- BRANKUNNSKAP, krister Giselsson and Mats Rosander. Ed. Giro-brand ab, Märsta Sweden. Mayo 1993.
- BRANDFÖRLOPP, Julia Ondrus, Department of fire safety engineering. Institute of technology. University of Lund (Sweden). Enero 1990.
- LEES, F.P.: Loss Prevention in the Process Industries. Butterworth-Heinemann. Londres (1980).
- FLASHOVER & NOZZLE TECHNIQUES – Paul Grimwood. Inglaterra. 2000.
- ESSENTIALS OF FIRE FIGHTING, IFSTA, cuarta edición. Oklahoma State University. Abril 1999.
- ÖVERTÄNDNING, BACKDRAFT OCH BRANGASEXPLOSION SETT UR RÄDDNINGSTJÄNSTENS PERSPEKTIV. Lars-Göran Bengtsson. Räddningsverket, Karlstad. 1999.
- FIRE BEHAVIOR INSTRUCTORS AID MEMIORE, Swedish Rescue Service Agency and Devon Fire & Rescue Service. Septiembre 2001.