



El control del humo en caso de incendio

JOSÉ MIGUEL LACOSTA BERNA
AlFireE (Institution of Fire Engineers).
Experto superior en seguridad.

SUMARIO

Es conocido que el comportamiento de los materiales en caso de incendio se basa en tres aspectos fundamentales:

- El comportamiento al fuego propiamente dicho, a la llama abierta o fuego latente.*
- Los humos que se producen al arder, viendo al humo como algo que oscurece el ambiente y dificulta la visión.*
- Los gases que también se desprenden al arder, buscando conocer las especies químicas desprendidas y sus efectos sobre las personas (toxicidad).*

Este trabajo se centra en los dos últimos aspectos, y, tratándolos de modo conjunto, se refiere en primer lugar a su generación, sigue con las técnicas de medida y finaliza viendo los medios disponibles para su control.

Los humos, como el fuego que los origina, son un peligro para la vida humana, pero conociéndolos se pueden estudiar y llegar, si no a evitar su presencia, al menos a anular sus efectos.

Palabras clave: Incendios, seguridad contra humos y calor, evaluación del humo, control del humo.

INTRODUCCIÓN

Es conocido que, en el desarrollo histórico de la legislación y de los ensayos sobre seguridad contra incendios, la atención se ha centrado en las precauciones con los incendios que afectan a las estructuras y que el humo no ha sido reconocido como un agente que amenaza a la vida. Sin embargo, cualquier análisis de las estadísticas de fuego habituales indican que la mayoría de los fallecimientos en un incendio son consecuencia de la producción y del movimiento del humo.

La producción de humo en un incendio es un mecanismo muy complejo y, aunque han sido desarrollados métodos para valorar la tendencia de los materiales a producir

humos cuando se queman, muy pocos hasta ahora han sido incorporados a la legislación de seguridad contra incendios. Se conoce, sin embargo, que muchos materiales producen gran cantidad de humo rápidamente y que lo realmente importante es la velocidad de producción de humo. Quizá lo necesario sea un método de ensayo cuyos resultados pudieran emplearse para ordenar a los materiales en base a su producción potencial de humo bajo diversos regímenes de quemado.

Este trabajo, cuyo título «oscurece» parcialmente el tema, ya que nos referimos a un sistema que involucra tanto a las propiedades físicas y químicas de los materiales como a los componentes y subsistemas de los edificios, quiere ser una breve introducción a un área compleja de la ingeniería de seguridad contra incendios (ver *MAPFRE Seguridad*, n.º 67) en la que se combinan la química, la física, la mecánica de fluidos y la termodinámica, aplicadas a la producción y al control del humo.

En caso de incendio en un edificio, el control del humo tiene por objeto garantizar la seguridad de la evacuación de las personas, facilitar la intervención de los servicios contra incendios y reducir los daños debidos a las altas temperaturas de los humos producidos por el incendio.

La producción de humo en un incendio es un mecanismo muy complejo y, aunque han sido desarrollados métodos para valorar la tendencia de los materiales a producir humo cuando se queman, muy pocos hasta ahora han sido incorporados a la legislación de seguridad contra incendios.

DEFINICIONES

Para una mejor comprensión del texto que sigue, así como para facilitar el empleo de un lenguaje común, se recoge una serie de definiciones relacionadas con el tema del humo, sacadas del Documento Interpretativo correspondiente al Requisito esencial n.º 2, «Seguridad en caso de incendio» (*DOCE*, 28-II-94).

Aberturas de ventilación para humos (exutorios)

Aberturas situadas en las fachadas o cubiertas de un edificio para permitir la salida del calor y el humo en caso de incendio y que pueden accionarse automáticamente o manualmente (ISO 8421-5).

Control del humo

Medidas para controlar la propagación o el movimiento del humo y los gases de combustión en el interior de un edificio durante un incendio (ISO 8421-5).

Cortinas de contención de humos, pantallas para cubiertas o techos

Separación vertical instalada en el interior de la cubierta o el techo para crear un obstáculo al movimiento lateral del humo y los gases de combustión (ISO 8421-5).

Emisión de humo

Producción de humo o gas por un material expuesto al fuego o a una fuente de ignición (BS 6336).

Humo

Suspensión visible de partículas sólidas y/o líquidas presentes en los gases liberados en la combustión o pirolisis (Guía ISO 52).

Presurización

Creación de una diferencia de presión, positiva o negativa, entre dos partes de un edificio a fin de impedir que el humo penetre en una escalera, un vestíbulo, una vía de escape o un local (ISO 8421-5).

Sistema de ventilación para la extracción del humo y del calor

Sistema incorporado a un edificio para mejorar la evacuación de los gases de combustión y del calor producidos en un incendio. El sistema puede basarse tanto en la extracción mecánica como en la convección natural.



El control del humo tiene por objeto garantizar la seguridad de la evacuación de las personas.

CARACTERÍSTICAS DEL HUMO

Producción

El humo es el conjunto de partículas sólidas y líquidas en suspensión en el aire, o en los productos volátiles, que resultan de una combustión o pirolisis. Vemos aquí sus dos partes diferenciadas; una nube de pequeñas partículas sólidas y líquidas que acompañan y se entremezclan con un gran volumen de gases calientes y vapores que ascienden procedentes de un foco de incendio. En concreto, el humo está formado por los productos intermedios generados durante el proceso de combustión que experimentan los materiales orgánicos. Fundamentalmente, el humo se genera durante los procesos de combustión incompleta, tales como:

1. Combustión con llamas, donde se produce una serie de reacciones complejas en las que la oxidación es demasiado lenta para impedir la formación de partículas de carbón (hollín).

2. Combustión sin llamas, donde pequeñas gotículas de sustancias alquitranadas en forma húmeda escapan, si las condiciones del aire lo permiten, para producir partículas de humo de 10^{-3} mm (una micra) de diámetro.

Las llamas amarillentas que se producen por encima de un fuego de sólidos o de líquidos se deben a la presencia de pequeñas partículas de hollín, que o bien se queman fuera, si las condiciones lo permiten, o aumentan de tamaño y escapan de las llamas en forma de humo.

Cantidad

La cantidad de humo producida por las llamas de un material que arde depende de dos factores:

1. De la naturaleza química del combustible. Las investigaciones han concluido que:

a) materiales que contienen en su estructura moléculas o átomos de oxígeno producen menos humo que aquellos que no lo contienen, y

b) materiales que incorporan en su estructura anillos bencénicos tienden a generar mayores cantidades de humo que las estructuras más abiertas.

2. De las características del fuego. En este caso se ha indicado que la cantidad de humo depende de:

a) la temperatura de la combustión y de la zona de llamas, y

En caso de incendio en un edificio, el control del humo tiene por objeto garantizar la seguridad de la evacuación de las personas, facilitar la intervención de los servicios contra incendios y reducir los daños debido a las altas temperaturas de los humos producidos por el incendio.

b) el nivel de concentración de oxígeno disponible en la zona de la combustión, que a su vez está directamente unido a la tasa de ventilación del recinto donde se produce el fuego.

Estimación de la cantidad de humo producida

Por diferencia de temperaturas, los fenómenos de convección producen la entrada de aire limpio tanto en el interior de la zona de combustión como dentro de la columna ascendente de humos y gases, a la que, en textos en inglés, se denomina como *fire plume*. Debido a que las temperaturas en esa columna no son suficientemente altas como para hacer que el oxígeno del aire atrapado reaccione completamente con los volátiles, tales

reacciones son químicamente incompletas, y así, a través de este mecanismo, se producen el humo y las sustancias tóxicas. Es también este aire sin reaccionar, que ha sido atrapado por el humo, el que se considera que constituye el mayor componente de esa columna.

Se ha comprobado que el volumen total de aire que mueve un incendio es muy grande como un componente comparado con el volumen de gases combustibles producido, de manera que es posible igualar la velocidad de producción de humo con el ritmo de entrada de aire limpio al mismo. Así, la velocidad de producción de humo puede expresarse como:

$$m_{\text{smoke}} = 0,096 \cdot p \cdot \rho_o \cdot y^{3/2} \cdot g^{1/2} \left(\frac{T_o}{T_P} \right)^{1/2},$$

siendo:

T_o = Temperatura absoluta del aire ambiente, en °K.

T_P = Temperatura absoluta de los gases de la columna ascendente, en °K.

y = Distancia entre el suelo y el nivel inferior de la capa de humo, en m (fig. 1).

ρ_o = Densidad del aire a temperatura ambiente, en kg/m^3 .

g = Aceleración de la gravedad, en m/s^2 .

m_{smoke} = Tasa de producción de humo, en kg/s .

p = Perímetro del fuego, en m.

Si ponemos valores a algunos parámetros, tenemos que:

$$\rho_o = 1,22 \text{ kg/m}^3 \text{ a } 300 \text{ °K}$$

$$T = 1.200 \text{ °K}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

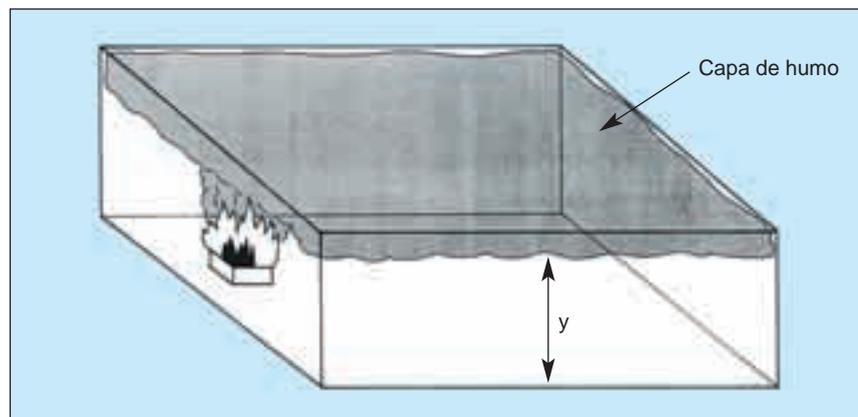
$$T_o = 300 \text{ °K}$$

así, la ecuación anterior puede escribirse de la forma:

$$m_{\text{smoke}} = 0,18 \cdot p \cdot y^{3/2}$$

en la que se ven los factores de los que depende la velocidad de producción de humo.

FIGURA 1. Altura de la capa de humo por encima del nivel del suelo.



Temperatura

La temperatura media de los gases que están en la capa de humo puede escribirse como

$$\theta_c = T_o + \frac{Q_p}{m_{smoke} \cdot C_p}$$

siendo:

Q_p = Flujo de calor por convección, en kW.

m_{smoke} = Tasa de producción de humo, en kg/s.

C_p = Calor específico del aire a temperatura ambiente, en kJ/kg.

Para evitar todo riesgo de *flash-over*, θ_c no debe ser mayor que 300 °C. Cuando la altura libre de humos es inferior a 3 m, esa temperatura queda limitada a 200 °C.

VISIBILIDAD Y DENSIDAD DEL HUMO

Principios de la medición de la densidad de humo

El humo, debido a su naturaleza particulada, reduce drásticamente la capacidad de una persona para ver cuando intenta escapar de una zona incendiada. Esta reducción en la visibilidad depende de la naturaleza del humo, así como del tipo y del nivel de iluminación de la vía de evacuación.

Hasta ahora no se ha encontrado la forma de predecir la capacidad del ojo humano para ver a través del humo, así como para determinar los efectos restrictivos de los gases irritantes sobre la visión. Algunas investigaciones limitadas sugieren que los irritantes llegan a reducir la visión entre un 50 y un 95 por 100.

La densidad del humo puede medirse en términos de reducción de la intensidad de un rayo de luz cuando pasa a través de una atmósfera cargada de humo (fig. 2).

Este tipo de medida objetiva puede expresarse bien como oscurecimiento de la luz o como densidad óptica.

1. Oscurecimiento de luz (S) definido como:

$$S = 100 \left(\frac{I_o - I}{I_o} \right)$$

siendo:

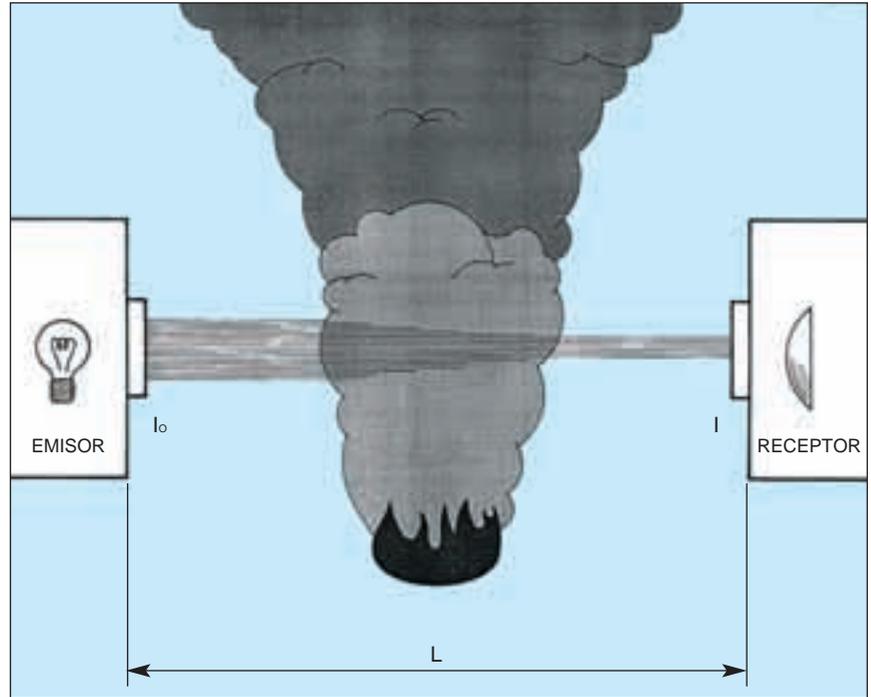
I_o = Intensidad de la luz incidente cuando no hay humo.

I = Intensidad medida a la misma distancia desde la fuente de luz cuando hay humo.

2. Densidad óptica de humos (D) definida como:

$$D = -10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_o} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{I_o}{I} \right), \text{ en dB}$$

FIGURA 2. Esquema de un ensayo de medición de la densidad de humo producida por materiales bajo acción térmica (radiación y/o llamas).



Cuando la luz penetra en un recinto lleno de humo, su intensidad se ve reducida por la absorción y reflexión producidas por las partículas de humo. El nivel de atenuación depende del tamaño de las partículas y de su forma, índice de refracción, longitud de onda y ángulo de incidencia de la luz. Debido a que es un sistema complejo, no puede describirse matemáticamente, pero puede simplificarse empleando la Ley de Beer-Lambert, que se refiere a la disminución de la intensidad de la luz, o de una radiación electromagnética similar, al atravesar una disolución, y que se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$I = I_o \cdot e^{-\sigma \cdot L}$$

siendo:

I = Intensidad de la luz recibida.

I_o = Intensidad de la luz emitida, la intensidad inicial (100).

σ = Coeficiente de atenuación (producto del coeficiente de absorción por la concentración de las partículas).

L = Longitud del camino óptico atravesado por la luz.

Para aerosoles monodispersados (sólo un gas dispersado en el seno de otro gas), se ha encontrado que el coeficiente de atenuación (σ) es proporcional al producto del tamaño de las partículas por el número de las mismas, lo que puede expresarse como:

$$\sigma = k \cdot \pi \cdot r^2 \cdot n = k \cdot c$$

siendo:

k = Factor de proporcionalidad.

r = Radio de las partículas de humo.

n = Número de partículas por unidad de volumen.

$c = \pi \cdot r^2 \cdot n$ es la concentración de partículas de humo.

De modo que la fórmula inicial puede volverse a escribir como:

$$I = I_o \cdot e^{-k \cdot c \cdot L}$$

$$\frac{I}{I_o} = e^{-k \cdot c \cdot L}$$

$$\frac{I_o}{I} = e^{k \cdot c \cdot L}$$

$$\ln \left(\frac{I_o}{I} \right) = k \cdot c \cdot L$$

$$\frac{1}{2,302} \cdot \ln \left(\frac{I_o}{I} \right) = \log_{10} \left(\frac{I_o}{I} \right) = \frac{k \cdot c \cdot L}{2,302}$$

$$\frac{10 \cdot k \cdot c \cdot L}{2,302} = 10 \log_{10} \left(\frac{I_o}{I} \right) = D,$$

siendo D la densidad óptica, por lo que

$$\frac{D}{L} = \frac{10 \cdot k}{2,302} c$$

Esta fórmula relaciona el valor D/L , que se expresa como densidad óptica por metro (dB/m), con la concentración de humo, y de este modo con la visibilidad, característica que también

se ha comprobado mediante trabajos experimentales.

Por ejemplo, para señales iluminadas frontalmente:

$$\text{Visibilidad (m)} = \frac{10}{D/L}$$

y para señales iluminadas por detrás:

$$\text{Visibilidad (m)} = \frac{25}{D/L}$$

En la figura 3 pueden verse expresados gráficamente los resultados experimentales para el caso de iluminación frontal.

Así se observa que la visibilidad aumentará si D/L disminuye, lo que puede pasar si la concentración del humo (c) se reduce. Una disminución en la concentración de humo puede conseguirse diluyendo el humo con aire fresco, de lo que se hablará más adelante en las técnicas de control del humo.

para calcular el oscurecimiento mayor para cada modo de exposición de las probetas, sólo con radiación o con radiación y con llamas piloto.

El valor obtenido se expresa como densidad óptica específica (D_s) mediante la siguiente fórmula:

$$D_s = D \frac{V}{L \cdot A}$$

siendo:

V = Volumen de la cámara, en m^3 .
 A = Superficie expuesta de la muestra, en m^2 .
 L = Longitud del camino óptico, en m.

En particular, para la cámara ISO 5669: Parte 2, el valor $\frac{V}{L \cdot A}$ es de 132.

En la tabla 1 pueden observarse valores de D_s para diversos materiales.

Productos tóxicos de la combustión

Las muertes en los incendios suelen ser producidas por el humo, que, al igual que muchas de las sustancias tóxicas producidas por el fuego, son el resultado de combustiones completas e incompletas.

Hay dos razones fundamentales para la muerte por sofocación:

- El humo de los incendios contiene sustancias asfixiantes que, dependiendo del tipo y de la concentración, pueden conducir a la muerte en un plazo de tiempo muy breve.
- El humo de los incendios contiene sustancias denominadas como «irritantes». Inhalar esas sustancias puede producir quemaduras en los pulmones y en el tracto respiratorio.

El efecto combinado de ambas causas es generalmente la razón del envenenamiento y de los daños internos que afectan a las víctimas de los incendios. En la tabla 2 se observan diversos valores límites para algunas de las sustancias producidas en los incendios.

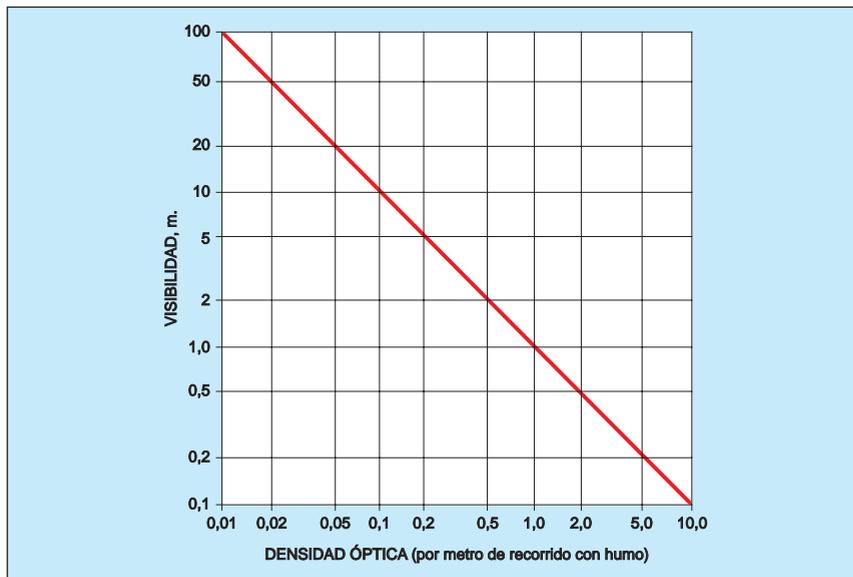
La sustancia tóxica más importante en cualquier situación de incendio en la que estén presentes materiales orgánicos es el monóxido de carbono (CO), cuya producción se ha mostrado que depende del combustible y del nivel de ventilación. Rabash y Stark han mostrado que la producción de CO en incendios de recintos a pequeña escala se relaciona muy bien con el factor de ventilación del recinto

$$\frac{A_w \cdot h_w^{1/2}}{A_i}$$

y con la carga térmica.

Además de CO, los materiales que contienen nitrógeno en su estructura química pueden producir HCN y/o óxidos de nitrógeno

FIGURA 3. Relación entre la densidad óptica y la visibilidad.



Emisión de humo y visibilidad

El conocimiento de la facilidad que tiene un material para producir humo es importante y puede medirse, experimentalmente en condiciones controladas, en una cámara de densidad de humos, en la que el humo se recoge en un volumen determinado y se miden las observaciones resultantes.

Uno de los métodos más conocidos es el de la cámara ISO 5659: Parte 2, en el que se realiza la medida de la cantidad de luz transmitida a través del humo como una fracción (o porcentaje) de la luz inicial transmitida por el sistema óptico. El mínimo porcentaje de luz transmitida se emplea

TABLA 1. Relación de valores de densidad de humo producidos por diversos materiales.

Material	Espesor (mm)	Densidad óptica específica	
		Sin llama	Con llama
Pino de Oregón	6,5	380	156
	13	438	110
PVC rígido sin cargar	3,25	270	525
	6,5	470	535
Polycarbonato	6,5	48	324
Poliestireno	6,5	395	780
Roble	13	372	118
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	3	420	720
Abedul	13	419	70
Polimetilmetacrilato	6,5	195	90

(NO_x: NO + NO₂).

Con materiales como las poliámidas y los poliuretanos puede esperarse que se produzcan tales sustancias durante su combustión. Esto ha sido demostrado tanto experimentalmente en ensayos de laboratorio como durante fuegos experimentales a gran escala.

El HCN tiene una potencia tóxica muy superior a la del CO. Sin embargo, debido a que la producción de HCN es generalmente muy baja incluso para fuegos en los que están presentes grandes cantidades de sustancias nitrogenadas, el CO que se desprende supone un riesgo mayor.

Se sabe que algunos materiales producen grandes cantidades de humo y de gases tóxicos. De aquí se deduce la necesidad de que estos materiales no sean empleados en situaciones en las que se necesiten largas vías de escape o tiempos de evacuación importantes, o donde los ocupantes tengan una disminución en sus capacidades respiratorias.

CONTROL DEL HUMO

En general, la decisión de emplear algún método de control del humo estará en respuesta a una amenaza percibida por la presencia de humo en caso de incendio. El método de control del humo empleado, si hay alguno, estará determinado principalmente por la ocupación del edificio.

Esa ocupación, en el contexto de este trabajo, tiene dos componentes: cantidad de personas y función del edificio, que determinarán, básicamente, las prioridades que influirán en la decisión acerca de si se emplea o no un método de control de humo y de cuál emplear. Como puede verse en la tabla 3, ambos componentes están presentes en todas las categorías generales que se indican, pero asumirán quizá diferentes niveles de prioridad para cada uno.

Así, en edificios de pública concurrencia e institucionales, la seguridad de la vida de los ocupantes será la consideración dominante, mientras que en los edificios tipo industrial, en los que proporcionalmente puede haber poca gente, el factor dominante puede ser evitar el daño a los contenidos y limitar el daño por el fuego al edificio.

Los sistemas para control del humo pueden clasificarse como sistemas *naturales* o *mecánicos*. Los sistemas naturales de control del humo confían en los factores ambientales para mover el humo hacia el exterior de los espacios ocupados, mientras que los

TABLA 2. Concentraciones y dosis de exposición máximas tolerables para sustancias producidas en la combustión y diferentes tiempos de exposición.

Sustancia	Exposición durante 5 minutos		Exposición durante 30 minutos	
	Dosis de exposición (concentrac. × tiempo) (% mínimo)	Pico de concentrac. (%)	Dosis de exposición (concentrac. × tiempo) (% mínimo)	Pico de concentrac. (%)
Asfixiantes				
CO	1,5	1	1,5	1
CO ₂	25	6	150	6
Bajo nivel de oxígeno	45 (reducción)	9 (reducción)	360 (reducción)	9 (reducción)
HCN	0,05	0,01	0,225	0,01
Irritantes				
HCl	—	0,02	—	0,02
HBr	—	0,02	—	0,02
HF	—	0,012	—	0,012
SO ₂	—	0,003	—	0,003
NO ₂	—	0,003	—	0,003
Acroleína	—	0,0002	—	0,0002

TABLA 3. Selección del método de control del humo en función del tipo de ocupación.

Componente	Tipo de edificio	Ejemplo
Personas	Pública concurrencia Institucional	Centro de deportes, de actividades culturales Centro de Salud
Función del edificio	Comercial Industrial	Oficina Fábrica

sistemas mecánicos utilizarán la energía desarrollada por sistemas mecánicos para mover el humo a través de caminos predeterminados.

Se pueden considerar tres métodos generales de control del humo, que se detallan a continuación:

Dilución

La relación entre la densidad óptica (D), la longitud del camino de transmisión de luz (L) y la concentración del humo (C) viene establecida por la siguiente fórmula:

$$D = L \cdot C \cdot B$$

donde B es una constante que depende de la naturaleza del humo.

De la fórmula se deduce que la concentración de humo influye directamente sobre la densidad óptica, que, a su vez, y como ya hemos visto, también afecta de modo significativo a la visibilidad. Por consiguiente, la dilución, cuya consecuencia es la reducción de la concentración del humo, se puede considerar como un

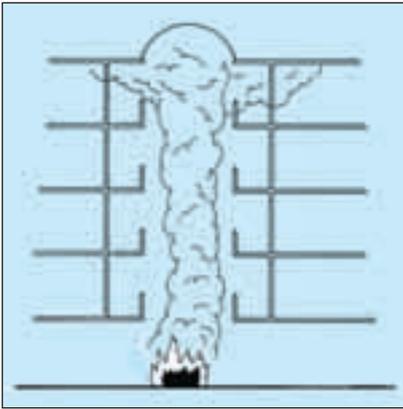
medio efectivo de controlarlo, ya que reduce considerablemente, cuando no elimina, el efecto del humo producido en un incendio.

La utilización de la dilución como un medio de control del humo puede provenir de un modo natural a partir de la geometría de los espacios del edificio considerado. Si el volumen disponible es suficientemente grande, el humo puede acumularse en los niveles más altos y transcurrir un tiempo considerable antes de que se produzca cualquier amenaza directa procedente del humo.

Pensemos en un atrio abierto (fig. 4). Aquí, el concepto de dilución podría emplearse, siempre que el volumen del atrio fuera suficiente; el humo podría ser dirigido hacia su interior, llenándolo mientras que el resto del edificio es evacuado.

Esta opción no tiene en cuenta el impacto psicológico de un humo negro denso y visible para las personas en las plantas superiores del edificio fluyendo hacia el atrio, que rápidamente se llena de humo. Por esta última razón sería una opción inacepta-

FIGURA 4. Espacio abierto en un atrio que puede ser empleado para controlar el humo.



ble, a menos que los pisos superiores pudieran ser, efectivamente, protegidos por medio de aberturas de ventilación de apertura automática.

De modo complementario a la actuación de esos exutorios podría considerarse la evacuación de las personas de los pisos superiores al ritmo en que va descendiendo la capa de humo, al hacerse cada vez mayor. La velocidad (R) a la que la base de la capa de humo desciende puede valorarse de modo sencillo mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V}{A}, \text{ en m/s,}$$

siendo:

V = Volumen del humo que está siendo producido, en m^3/s .

A = Superficie del atrio, en m^2 .

De este modo es posible estimar el tiempo disponible hasta que la capa de humo alcance cada piso y el tiempo hasta que el humo llene completamente el atrio.

Los corredores, pasillos, paseos y zonas peatonales son lugares donde también puede emplearse la dilución.

Conviene señalar que, si bien la dilución es válida como concepto, prácticamente tiene un número limitado de aplicaciones como forma efectiva de control del humo.

Extracción

Tipos

La extracción del humo puede hacerse por ventilación natural, extracción mecánica o por combinación de ambos. La fiabilidad de los sistemas de ventilación natural se ha cuestionado porque tales sistemas pueden

no funcionar, o, al menos, no tan eficazmente, cuando se necesiten.

El vestíbulo ventilado (fig. 5) es también un método de control de humo que se emplea para prevenir o retardar el paso del humo al hueco de la escalera. Se dispone una abertura en la parte más alta, de modo que la presión generada por el humo en el vestíbulo no sea mayor que la ambiente.

Al estudiar cuáles eran las fuerzas disponibles para mover el humo alrededor de los edificios, la del viento resultó ser la más importante para los sistemas naturales de control. Ahora bien, si se exige que un sistema de control del humo tenga que estar disponible y efectivo en cualquier momento, entonces cualquier grado de confianza en la capacidad del viento, que es impredecible e incontrolable, para mover el humo lejos del incendio y hacia el exterior es cuestionable.

Sin embargo, a pesar de esa naturaleza impredecible e incontrolable de las condiciones climatológicas, sí es posible calcular la superficie de las aberturas necesarias para descargar un incendio de tamaño conocido en el que se emplee la ventilación natural.

Medidas para la extracción del humo

Las medidas a tomar en el diseño y construcción de sistemas de extracción del humo en edificios incluyen

el desarrollo de nuevas tecnologías para uso específico, o la aplicación de las existentes a la solución de diferentes problemas.

Algunas veces es necesario incorporar, en el diseño de edificios, mecanismos de alivio de explosiones, incluyendo aberturas automáticas o diseñando zonas internas de construcción con cubiertas o paramentos débiles que en caso de una explosión romperán y permitirán salir a la explosión, reduciendo el daño de este modo.

El empleo de exutorios (fig. 6) tiene básicamente tres efectos:

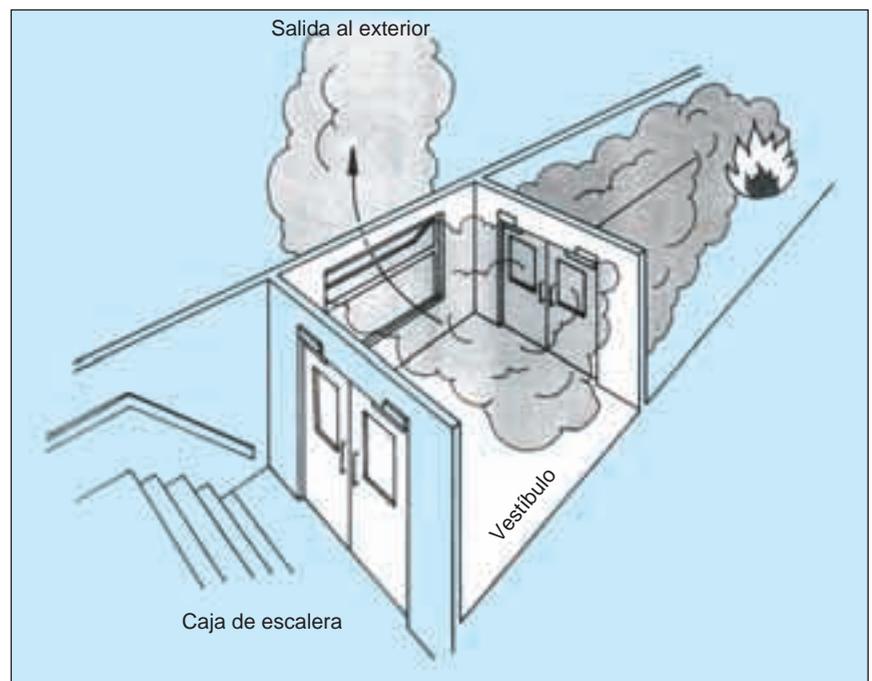
- Se evita el transporte del humo, facilitando así medios de evacuación y la lucha contra el fuego.

- Se reduce considerablemente el calentamiento por convección de otros materiales, de modo que disminuye la propagación del fuego y por lo tanto también los daños producidos por el fuego.

- La retroalimentación por radiación procedente de la capa de humo caliente se reduce, si no se elimina, disminuyendo por lo tanto la tasa de combustión; es decir, el fuego arde como si fuera exterior, no se alcanzan las temperaturas máximas en el interior del recinto y se produce un incendio con menor severidad.

En la figura 7 el edificio ha sido subdividido en cuatro sectores por medio de muros que resistirán la acción del fuego. En cambio, el techo ha sido diseñado para descongestio-

FIGURA 5. Empleo de un vestíbulo de independencia para proteger una escalera.



nar el incendio; es decir, el techo se quemará en las etapas tempranas del fuego y proporcionará inmediatamente una salida. Así, un fuego originado en el compartimento A es confinado en el mismo y una abertura, consecuencia del fallo parcial del techo, produce un daño por incendio considerado previamente aceptable.

Contención

Los métodos para contener el humo pueden variar desde la colocación de una simple barrera física hasta la inclusión de un sistema mecánico que impida el paso del humo al interior de los espacios protegidos.

La figura 8 muestra cortinas colocadas en el techo y empleadas como barreras para crear zonas de humo; es decir, espacios bajo la cubierta separados de otros elementos arquitectónicos por los medios adecuados y concebidos especialmente para confinar el humo y retrasar, o incluso evitar, su propagación a otras zonas. Esto último puede, por ejemplo, combinarse con lo expuesto antes para evacuación de humo, e incluir los adecuados ventiladores de extracción.

FIGURA 6. Empleo de dispositivos electromecánicos para la apertura de exutorios en un atrio. (Cortesía de D + H Mechatronics.)



FIGURA 7. El fallo del techo en una etapa inicial del fuego permite que el incendio quede confinado en el sector A.

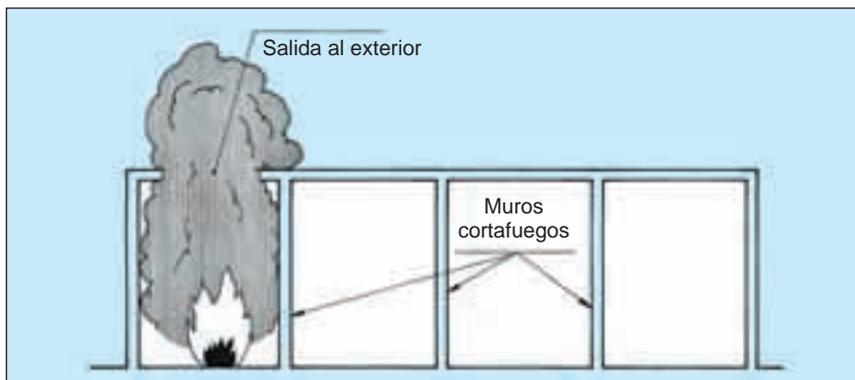
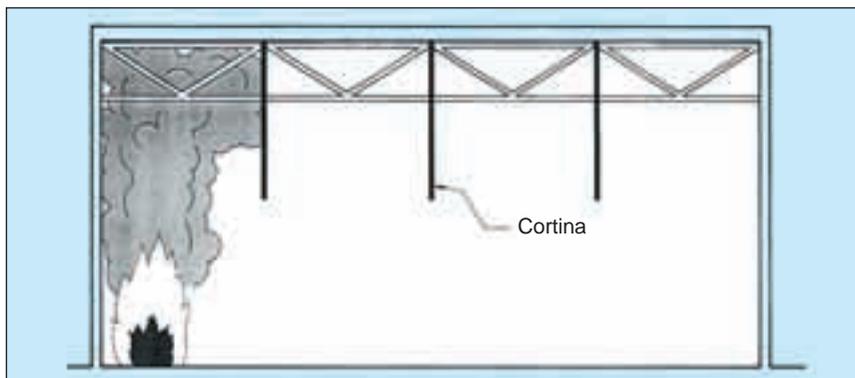


FIGURA 8. Utilización de cortinas de contención de humos en una nave industrial.



El humo, debido a su naturaleza particulada, reduce drásticamente la capacidad de una persona para ver cuando intenta escapar de una zona incendiada. Esta reducción en la visibilidad depende de la naturaleza del humo, así como del tipo y del nivel de iluminación de la vía de evacuación.



Fundamentalmente, el humo se genera durante los procesos de combustión incompleta.

A estos tres métodos podemos añadir otro más:

Presurización

El objetivo de una instalación de presurización para controlar el humo es proteger determinadas vías de evacuación y otras zonas contra la filtración de humo, manteniendo el aire contenido en ellas a presiones superiores a las existentes en las partes adyacentes del edificio. Estas zonas libres de humo permiten que:

- Los ocupantes puedan escapar a un lugar seguro.
- Los bomberos y los equipos de rescate puedan moverse por el edificio en condiciones de seguridad.

Aplicaciones

La presurización, como un método de control del humo, puede aplicarse en varias situaciones:

- Sólo cajas de escaleras.

- Cajas de escaleras y vías horizontales.
- Vestíbulos y/o pasillos.

Composición

Una instalación de presurización consta de: ventiladores (incluso los de seguridad) para inyectar aire en la zona presurizada; conductos de aire para crear una vía de transmisión del aire; aberturas de ventilación para suministrar un escape de aire; una fuente eléctrica de emergencia; sensores automáticos (detectores de humo, etc.) o interruptores manuales para iniciar la actuación del sistema en caso de emergencia; compuertas contra el fuego y el humo en los ramales de la red de conductos que atraviesen los elementos que delimitan el recinto protegido; rejillas y difusores.

Análisis del edificio

Es esencial conocer las características del edificio, analizando, por separado, las diferentes entradas y salidas de aire del mismo, relacionando las partes presurizadas y sin presurizar del edificio para el diseño de un sistema efectivo. La presurización, como una forma de control de humo, no puede ser aplicada fácilmente a los edificios existentes; es un método que puede influir fundamentalmente en la disposición de los espacios de circulación y, en consecuencia, debería considerarse en las etapas iniciales del proceso de diseño.

En especial debe tenerse en cuenta:

a) Suministro de aire al espacio protegido

El primer componente de un sistema de presurización es precisamente el equipo encargado del suministro de aire, movido mecánicamente. La toma del aire limpio debe estar lo más cerca posible del equipo. La impulsión se hará empleando, si es necesario, un sistema de distribución por conductos hasta los lugares adecuados en el interior de los espacios protegidos. Se tomarán todo tipo de precauciones para garantizar que no haya ningún lugar por donde el humo pueda llegar al interior del sistema.

b) Pérdidas de aire desde el espacio protegido

Es prácticamente inevitable que, debido a la función del espacio que

hay que presurizar y a las técnicas de construcción, se produzcan pérdidas de aire desde el espacio presurizado hacia los espacios contiguos. Estas fugas se producirán alrededor de las puertas, ventanas, etc., y es esencial conocerlas si se debe mantener una presión diferencial entre el espacio protegido y los espacios contiguos, porque el volumen de aire que se pierda será el que determinará el nivel de presión que se consiga.

c) *Pérdidas de aire desde el edificio*

Es esencial que el flujo del aire que sale del espacio protegido hacia los espacios contiguos pueda filtrarse hacia afuera, hacia el exterior del edificio, lo que se puede conseguir por medio de salidas por las ventanas, puertas, etc., en los muros exteriores del edificio o por aberturas especialmente instaladas, que se abrirán cuando el sistema de presurización esté en funcionamiento. Si estas aberturas, posteriores, no están disponibles no se conseguirá la necesaria presión diferencial entre el espacio presurizado y el resto del edificio; el edificio completo será presurizado y el objetivo de contención del humo no se conseguirá.

Procedimiento de diseño

Los pasos básicos a seguir para diseñar un sistema de presurización son:

1. Definir el volumen.
2. Definir las diferencias de presión requeridas.
Hay que tener en cuenta:
 - Localización del fuego.
 - Volumen del sector o de la compartimentación.
 - Tiempo de evacuación.
 - Tamaño del fuego.
3. Estimar las características de pérdidas de aire de la construcción.
4. Modificar las diferencias de presión.
5. Calcular las variaciones de presión debidas a las influencias externas, por ejemplo, viento y temperatura.
6. Modificar las diferencias de presión, es decir, añadir las presiones creadas por el viento, lateralmente, y la presión del efecto chimenea, verticalmente.
7. Calcular las presiones inducidas por el sistema de impulsión de aire.
8. Establecer un modelo de presiones combinadas.

9. Empleo combinado del sistema de impulsión de aire.
10. Diseño del sistema.
11. Diseño de las plantas.
12. Distribución del sistema de detección.
13. Dimensionamiento de los ventiladores y de los conductos.
14. Seleccionar los controles y preparar los detalles.

SISTEMAS DE VENTILACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DEL HUMO Y DEL CALOR

En caso de incendio, la función de las instalaciones para la extracción del humo y del calor (EHC) es la de sacar el humo y el calor del interior de un edificio mediante ventilación natural, mecánica o por medio de una combinación de ambas (siempre y cuando no se utilicen para eliminar humos de una misma zona), de funcionamiento manual o automático, junto con el empleo de cortinas de contención del humo para limitar su propagación lateral y crear una zona libre de humos debajo de una capa de humo flotante (fig. 9).

La instalación contribuye a los siguientes objetivos:

- Mantener las vías de evacuación y de acceso libres de humo.
- Facilitar las operaciones de lucha contra el fuego mediante la creación de una capa libre de humos.

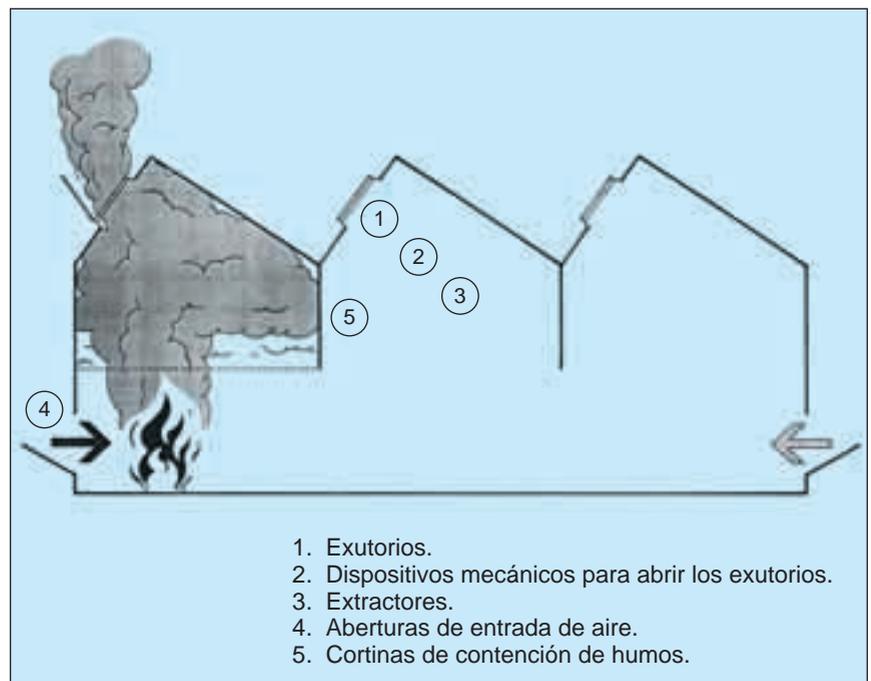
- Retrasar o impedir el *flash-over*, evitando el pleno desarrollo del incendio.
- Reducir los daños causados por el humo y el calor.
- Disminuir las tensiones a las que se ven sometidos los elementos estructurales en caso de incendio.

Una instalación de ventilación natural de humo y calor consiste en aberturas para la salida de humos (exutorios), aberturas de entrada de aire y, cuando sea necesario, cortinas de humo, detectores de humo o de calor conectados a una unidad central de activación de los exutorios, dispositivos mecánicos para abrir los exutorios (funcionamiento manual), así como el suministro de energía necesario para su funcionamiento. La instalación estará construida de modo que el funcionamiento manual pueda anular al automático.

Una instalación de ventilación mecánica de humo y calor consiste en exutorios automáticos, extractores, cortinas de humo, entradas naturales de aire situadas en niveles inferiores, y puede incluir conductos, compuertas contra incendios, un sistema de detección de incendios para la activación de los exutorios de humo, circuitos eléctricos protegidos contra el fuego y suministro eléctrico de emergencia.

Como puede observarse estas instalaciones emplean tanto la extracción como la contención, y en circuns-

FIGURA 9. Componentes de una instalación de ventilación para la extracción del humo y del calor.



1. Exutorios.
2. Dispositivos mecánicos para abrir los exutorios.
3. Extractores.
4. Aberturas de entrada de aire.
5. Cortinas de contención de humos.



La cantidad de humo producida por las llamas de un material que arde depende de la naturaleza química del combustible y de las características del fuego.

tancias especiales recurren también a la presurización de las zonas exteriores a las que contienen el humo.

CONCLUSIONES

En los últimos años ha aumentado considerablemente el conocimiento del movimiento del humo en los edificios. Junto con el conocimiento ha caminado un paso atrás, pero con un desarrollo paralelo, el tema de la normalización en esa materia. Países como Reino Unido o Bélgica, por citar sólo algunos de nuestro entorno, ya disponen de ellas.

También hay normas sobre la emisión de humo por parte de los materiales; desde luego, nada parecido a una norma «única» o universal, pero, incluso en países donde existen, muchas veces no son de aplicación general ni corresponden siempre a exigencias reglamentarias.

Las normas EN que se nos vienen encima en materia de reacción al fuego de los productos de la construcción no contemplan, con carácter general, la limitación de la cantidad de humo o de gases emitidos. Si acaso,

puede esperarse que algunos países más concienciados las introduzcan, pero el resultado puede ser que un tema tan necesario como éste se convierta en una barrera técnica.

Como consecuencia de la mejora en el «conocimiento» del humo y de la difusión de la informática, han aparecido en los últimos años programas de modelización del movimiento del humo como ayuda para el diseño. Sin embargo, es importante que el usuario de estas herramientas de diseño conozca y comprenda los fundamentos del control del humo.

BIBLIOGRAFÍA

- SHIELDS, T. J., y SILCOCK, G. W. H. (1987): *Buildings and Fire*. Longman Scientific & Technical.
- RASHBASH, D. J., y STARK, G. M. W. (1996): *The generation of carbon monoxide by fires in compartments*. Fire Research Note 614.
- Norma BS DD 240: Part 1. *Fire Safety Engineering in buildings*.
- Norma BS 5588: Part 4. *Code of practice for smoke control in protected escape routes using pressurization*.
- Norma ISO 5659-1.2. *Plastics - Smoke generation - Part 1: Guidance on optical-density testing*.
- BLAY, D.; TUHAULT, J. L., y JOUBERT, P. (1986): *Modelling Smoke movement in corridors. New Technology to reduce Fire Losses & Costs Conference*. Luxembourg. Elsevier Applied Science Publishers Ltd.
- RAMÍREZ, A.; FERNÁNDEZ DE CASTRO, A., y ROMÁN, J. J. (1981): *La incidencia de las condiciones de aireación y ventilación sobre el riesgo de incendio*. Ponencia en la 3.ª Conferencia Nacional de Medicina, Higiene y Seguridad en el Trabajo. Zaragoza.
- LACOSTA, J. M. (abril 1992): «Valoración del humo producido en la combustión de materiales plásticos. Características y ensayos». *Revista de Plásticos Modernos*, 430.
- HILADO, CARLOS J. (1982): *Flammability Handbook for Plastics*. Technomic.
- Documentación de proveedores de equipos e instalaciones EHC: D + H*. Mechatronic, Protisa-Gill Airvac International.
- «Comunicación de la Comisión Europea relativa a los Documentos Interpretativos de la Directiva 89/106/CEE del Consejo». DOCE 28-II-94.
- MARCHANT, E. M. (septiembre 1982): *Smoke production and Control in Buildings*. Symposium en la Universidad del Ulster.