

Arturo Arnalich Castañeda
Colaborador: Juan Luis Ayuso Blas

INCENDIOS DE INTERIOR VENTILACIÓN DE INCENDIOS

PARTE 3

Manual de incendios

Coordinadores de la colección

Agustín de la Herrán Souto
José Carlos Martínez Collado
Alejandro Cabrera Ayllón



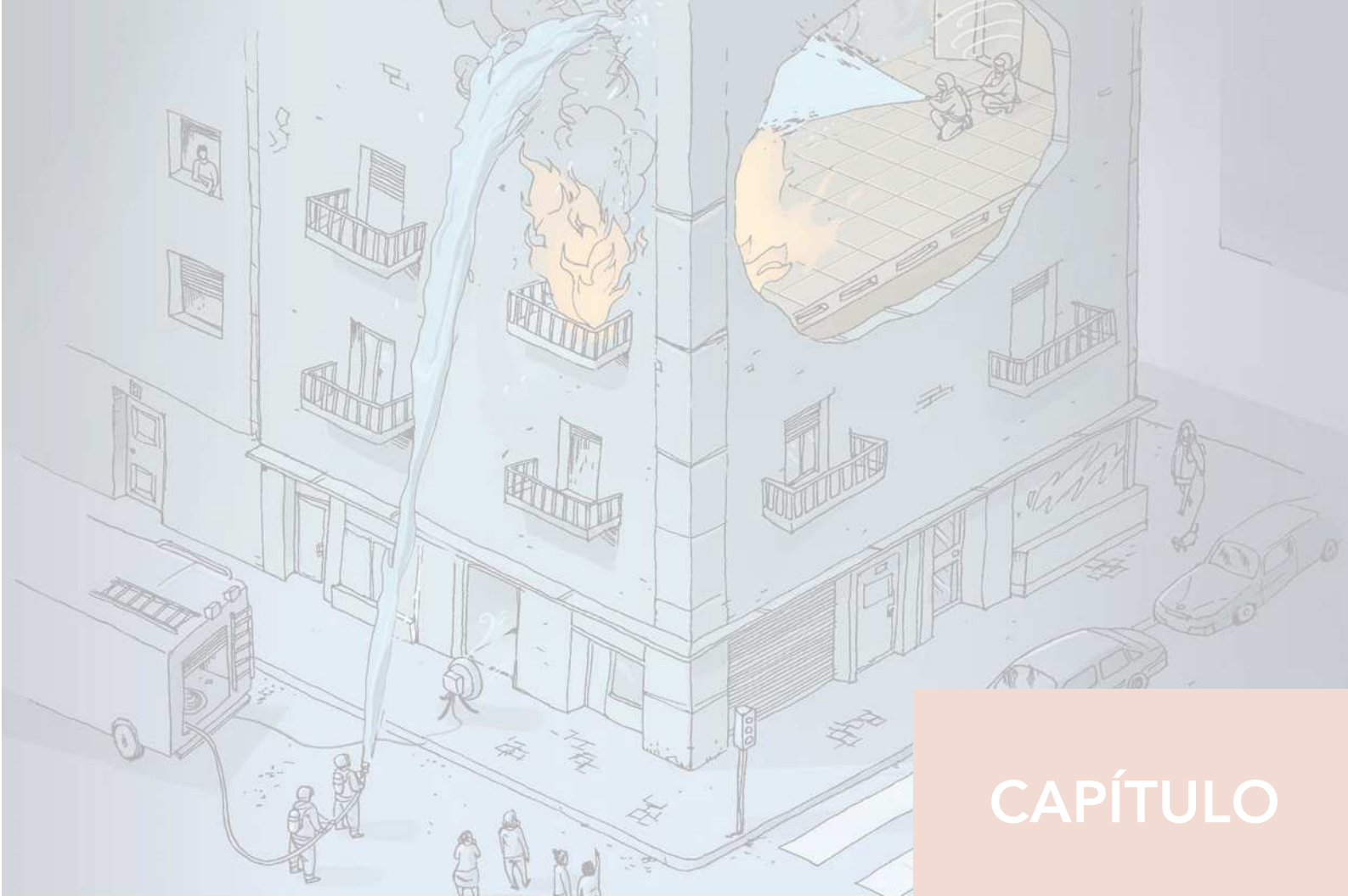
Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.

Edición r1 2015.10.05

manualesbb@ceisguadalajara.es
www.ceisguadalajara.es

Tratamiento
pedagógico, diseño y
producción

 Griker
Orgemer



CAPÍTULO

1

Caracterización

“Solo tengo una ambición en este mundo, y es la de ser bombero. Esto, a los ojos de muchos, pudiera parecer modesto, pero los que conocemos este trabajo, creemos que es la más noble tarea. Una antigua máxima dice que “Nada se puede destruir sino es con fuego”.

Nosotros luchamos para preservar la riqueza de nuestra sociedad, que es el producto del hombre, necesaria para la vida de ricos y pobres. Nosotros defendemos del fuego, el arte que ha embellecido nuestro mundo, el producto del talento del hombre que ha permitido el desarrollo de la humanidad. Pero sobre todo, nuestro más honroso encargo es el de salvar vidas: la tarea del mismo Dios.

Este pensamiento nos emociona y estimula para asumir el riesgo hasta el máximo sacrificio. Esto quizás no interese a la mayoría, pero es suficiente para complacer nuestra ambición y servir con entrega al bien general de nuestra sociedad”.



Imagen 1. Edward F. Croker. Jefe del servicio de bomberos de Nueva York (1899-1911)

De entre las múltiples funciones asignadas a los cuerpos de bomberos, la lucha contra incendios en el entorno urbano puede considerarse la necesidad que dio origen a esta profesión manteniendo a día de hoy plena vigencia. Además, se debe entender que una intervención de incendios de interior no solo entraña la extinción del incendio, también implica el conjunto de operaciones de búsqueda y rescate de víctimas.

El progreso acaecido en los últimos 150 años en las intervenciones de incendios de interior se ha logrado, en gran medida, a partir de la dinámica existente entre herramientas, técnicas y tácticas utilizadas. La aparición de nuevas herramientas ha dado como resultado la optimización de técnicas y planteamientos tácticos; así mismo, la adopción de novedosos planteamientos ha impulsado el nacimiento de herramientas que posibilitan, a su vez, el empleo de nuevas técnicas.

Este texto integra las técnicas tradicionales de extinción de incendios confinados de la Escuela Sueca, (que desembarcaron en los servicios de bomberos españoles a partir de finales de los años noventa), con técnicas de ventilación forzada (cuyo origen tuvo lugar en los EE.UU.) y se aplican en los servicios europeos desde los últimos años.



Imagen 2. Bomberos aplicando técnicas de enfriamiento y dilución de gases para reducir la inflamabilidad de los gases de incendio y progresar de manera segura

Si bien muchos de estos

Durante años, la teoría y comportamiento del fuego se estudió desde el ámbito de la docencia universitaria, con desarrollos teóricos y experimentos de laboratorio con una aplicación limitada a nuestro entorno real de trabajo. Si bien muchos de estos

estudios son plenamente vigentes en condiciones de laboratorio, su transferencia al incendio real (dominado por múltiples factores externos no controlables) y, en consecuencia, a las técnicas de bomberos, es limitada.

El esfuerzo por dotar de una base científica de carácter empírico a las tácticas y técnicas empleadas por bomberos

es uno de los avances recientes más destacables. Organismos como NIST¹ y *Underwriters Laboratories Fire Safety Research Institute* han realizado experimentos a escala real en los que se ha buscado evidenciar y evaluar las técnicas empleadas en la lucha contraincendios. Estas investigaciones han permitido establecer su efectividad real, desmontar muchas creencias sin base científica empleadas a lo largo de los años y generar recomendaciones tácticas.



Imagen 3. Bomberos aplicando técnicas de ventilación ofensiva para mejorar rápidamente las condiciones de visibilidad



Imagen 4. Captura del video que compara el desarrollo de incendios con combustible moderno y tradicionales

1. Siglas en inglés, National Institute of Standards and Technology).



Imagen 5. Detalle de la configuración del experimento de comparación de combustible moderno y tradicional

1. DESARROLLO DE INCENDIOS DE INTERIOR

Un incendio **de interior** es aquel fuego que se desarrolla fuera de control en un espacio físico limitado, de modo que no existe transferencia libre de calor ni intercambio libre de fluidos (ya sean gases de incendio o aire fresco) hacia el exterior.

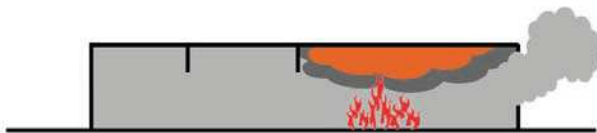


Imagen 6. El incendio de interior se desarrolla en un espacio cerrado que puede tener aperturas al exterior

En un incendio **confinado**, la transferencia de gases con el exterior es nula. Esto es, un incendio en el interior de una vivienda es, efectivamente, un incendio de interior, aun en el caso de que hubiera ventanas o puertas por los que el incendio hubiera roto por fachada; mientras que ante un incendio confinado, puertas y ventanas se encuentran cerradas e intactas, de modo que el intercambio gaseoso con el exterior es prácticamente despreciable.

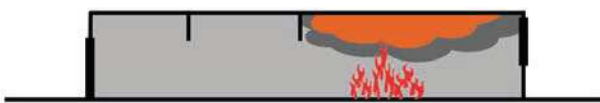


Imagen 7. El incendio confinado es un incendio de interior sin aperturas al exterior

1.1. DESARROLLO GENÉRICO DE UN INCENDIO DE INTERIOR

El estudio clásico en laboratorio del desarrollo de incendio de interior muestra tres fases bien diferenciadas: crecimiento, pleno desarrollo y decaimiento.



Imagen 8. Curva de evolución de la temperatura mostrando las fases de desarrollo de un incendio de interior

a) Fase de crecimiento

El incendio comienza su desarrollo en el foco de ignición. El calor se transmite por radiación a los combustibles que se encuentran alrededor. Una columna de convección se forma por encima del foco transmitiendo calor a los combustibles que están en la zona superior. En los primeros momentos, la potencia del incendio es muy limitada y su crecimiento es lento. Los combustibles en el entorno del foco requieren energía para comenzar los procesos de pirólisis que descomponen sus compuestos orgánicos y liberan gases combustibles al entorno. Este proceso se acelera a medida que el incendio cobra magnitud, por lo que lo característico de esta etapa es un aumento exponencial de la temperatura.

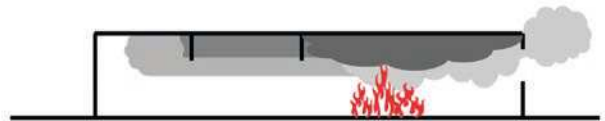


Imagen 9. Esquema de incendio en fase de crecimiento

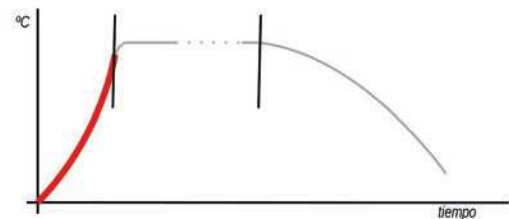


Imagen 10. Zona de la curva de temperatura correspondiente a la fase de crecimiento



Imagen 11. Incendio en fase de crecimiento

Los gases de incendio comienzan a acumularse en los estratos superiores. Al aumentar la temperatura, la densidad de los gases disminuye (ver fórmula y gráficos) y aparece un efecto de flotabilidad que ayuda a extenderlos por todo el recinto.

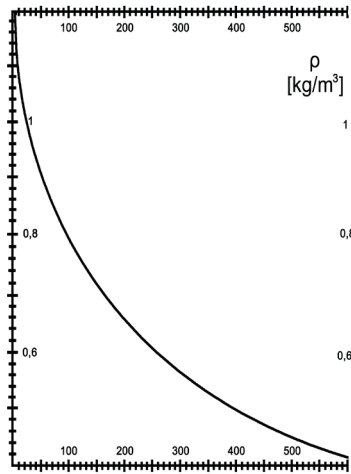


Imagen 12. Gráfica variación de la densidad del aire en relación con la temperatura

$$P \frac{V}{T_a} = \text{constante}; \rho = \frac{m}{V}; T_a = T + 273$$

$$\rho = 1,2 \cdot \frac{293}{273 + T}$$

Donde:

- ρ = densidad [kg/m³]
- P = presión [Pa]
- V = volumen [m³]
- T_a = temperatura absoluta [°K]
- T = temperatura [°C]

Se ha empleado como referencia aire a 20°C y densidad 1,2 kg/m³

El colchón de gases calientes emite una radiación cuya potencia se ajusta a la Ley de Stefan-Boltzmann que depende de la cuarta potencia de la temperatura. Así, durante las etapas iniciales de la fase de crecimiento, donde la temperatura es relativamente baja, este efecto tiene poca trascendencia. Sin embargo, a 500 °C la cantidad de energía radiada es 64 veces mayor que a temperatura ambiente.

$$P = k \cdot T_a^4$$

Donde:

- P = potencia emitida por unidad de superficie [W/m²]
- k agrupa los factores de emisividad y la constante de Stefan-Boltzman

A medida que la temperatura aumenta, la radiación lo hace de manera exponencial y comienza la pirólisis de combustibles alejados de la zona de llamas. El colchón de gases se enriquece en gases combustibles aunque su inflamabilidad dependerá de la temperatura y concentración de oxígeno.

Durante esta etapa, la temperatura va en constante aumento. El incendio dispone de oxígeno suficiente para desarrollarse por lo que su potencia queda limitada por la cantidad, disposición, continuidad y naturaleza del combustible.

También es característica de esta fase la formación de dos estratos dentro del recinto:

- Un **estrato superior**: formado por los gases de incendio que ascienden debido a su menor densidad. Registra presiones superiores a las exteriores.
- Un **estrato inferior**: capa más limpia de aire frío y denso, a presiones por debajo de las exteriores.

La división entre ambos coincide, aproximadamente, con el denominado **plano neutro**, límite horizontal donde las presiones son idénticas a las exteriores.

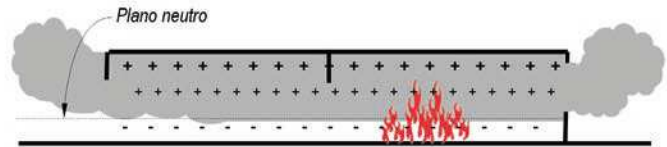


Imagen 13. Esquema de posición del plano neutro. Los signos (+) y (-) indican diferencias de presión positivas y negativas respectivamente sobre la presión exterior

El colchón de gases de incendio, formado por productos de la combustión y derivados de la pirólisis, puede alcanzar su punto de inflamabilidad durante esta etapa. Esta inflamación puede localizarse en zonas puntuales del colchón de gases, generándose los denominados *rollover*, o producirse de forma generalizada en todo el recinto, en cuyo caso se hablaría de *flashover*.



Imagen 14. Flashover en una práctica de formación en un contenedor metálico



No todos los incendios de interior desembocan en un estado de *flashover*. Con frecuencia, la temperatura alcanzada no es suficiente o la concentración de oxígeno se ha reducido a lo largo de la fase de crecimiento, de modo que la mezcla resultante es demasiado rica en combustible frente a comburente. En otras ocasiones, simplemente la fracción de combustible (la proporción de combustible disponible) en el colchón de gases es insuficiente para alcanzar el límite inferior de inflamabilidad.

b) Fase de Pleno Desarrollo

El desarrollo del incendio llega al punto en el que la concentración de oxígeno en el interior comienza a descender como consecuencia de uno o varios de los siguientes factores:

- Combustión generalizada del colchón de gases de incendio con el consiguiente e importante consumo de oxígeno.

- Incendio confinado o con ventilación insuficiente, de modo que el consumo de oxígeno supera el aporte exterior.
- Demanda de oxígeno elevada. La combustión de los combustibles repartidos por el recinto a lo largo del tiempo genera igualmente un notable consumo de oxígeno. Dependerá de la tasa de combustión (masa de combustible que se consume por unidad de tiempo), del tiempo de desarrollo del incendio y de las dimensiones de la estancia.

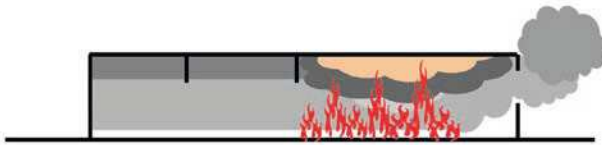


Imagen 15. Esquema de incendio en fase de pleno desarrollo

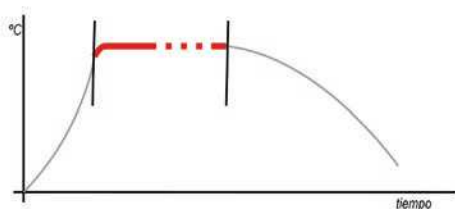


Imagen 16. Zona de la curva de temperatura correspondiente a la fase de pleno desarrollo



Es característico de esta etapa que la curva de temperaturas alcance su límite y se mantenga estable durante un tiempo. En este periodo, la potencia del incendio no viene determinada por el combustible (características, distribución, cantidad, continuidad, etc.) sino por la falta de oxígeno en el recinto.

La temperatura interior dependerá, por un lado, de la potencia del incendio (la cantidad de energía que genera por unidad de tiempo) y, por otro lado, de las pérdidas de calor del recinto.



Imagen 17. Incendio en su etapa de pleno desarrollo. En este caso el recinto se encuentra ventilado y se produce una diferenciación clara de los estratos de gases de incendio y aire fresco como puede verse en las ventanas a nivel de incendio a su izquierda

En incendios con cierto nivel de ventilación, la etapa de desarrollo puede alargarse en el tiempo, ya que la propia potencia del incendio contrarresta las pérdidas energéticas a través de paredes, techos y ventilación. Por su parte, los incendios en recintos con un alto grado de aislamiento energético consiguen mantener la temperatura y alargar la etapa de pleno desarrollo a pesar de encontrarse completamente confinados.

Conviene precisar la evolución diferenciada que tienen los **incendios ventilados** y los **incendios confinados**:

En **incendios ventilados**, a lo largo de la etapa de pleno desarrollo se mantienen definidos y diferenciados los estratos de gases de incendio y aire fresco a través del flujo que genera la propia ventilación del incendio. El aire fresco entrante caerá rápidamente a las zonas más bajas del recinto debido a su mayor densidad, mientras que los gases de incendio a mayor temperatura buscarán las zonas altas.

Sin embargo, en **incendios confinados**, el plano neutro cae prácticamente hasta el suelo. La ausencia de un flujo de ventilación impide la evacuación de gases de incendio e irremediablemente el estrato inferior desaparece.

Este factor tiene una influencia decisiva en las tácticas que se van a poder emplear. Mientras que en un incendio ventilado existe la posibilidad de tener cierto nivel de visibilidad para la progresión interior, en los incendios confinados plenamente desarrollados, la visibilidad es nula. Por tanto, en uno y otro caso las técnicas y tácticas serán diferentes.

c) Fase de decaimiento

Con el tiempo, el recinto pierde temperatura y el incendio decae, bien porque el combustible se consume, bien porque, ante la falta de ventilación, la potencia del incendio no es suficiente para compensar las pérdidas de calor hacia el entorno.

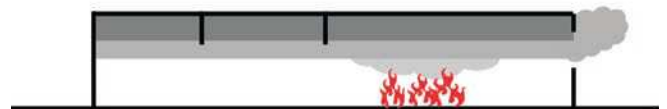


Imagen 18. Esquema de incendio en fase de decaimiento

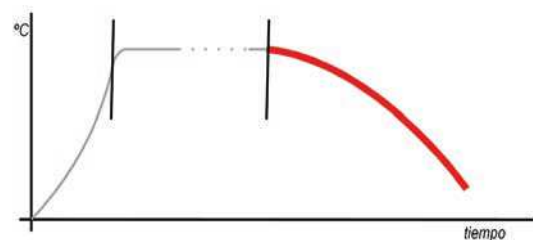


Imagen 19. Zona de la curva de temperatura correspondiente a la fase de decaimiento

1.2. INCENDIOS LIMITADOS POR EL COMBUSTIBLE (ILC)

Incendio limitado por el combustible es aquél en el que la emisión de calor y su crecimiento están limitados por características del combustible (cantidad y distribución), habiendo una proporción adecuada de aire para la combustión. (NFPA² 921, 2008. 3.3.79).



Imagen 20. Durante la fase de crecimiento, el incendio está limitado por el combustible



Se pueden encontrar incendios limitados por el combustible (ILC) en:

- Incendios de interior en su etapa de desarrollo inicial.
- Incendios de interior con amplia ventilación.
- Incendios de interior a los que se está aplicando ventilación por presión positiva, una vez se ha realizado el barrido inicial de gases.
- Incendios en recintos de gran volumen (naves industriales o hangares) donde el tamaño del incendio en relación al volumen del mismo es pequeño.
- Incendios de exterior.



Imagen 21. Evolución de un incendio. Las dos imágenes superiores corresponden a un Incendio Limitado por el Combustible (ILC). En la última imagen (2:45) se aprecia claramente un Incendio Limitado por la Ventilación (ILV)

La potencia de un ILC viene determinada por la cantidad de combustible que entra en combustión en la unidad de tiempo.

$$Q = m_c \cdot H_c$$

Donde:

Q = potencia del incendio [MW]

m_c = tasa de combustión [kg/s]

H_c = poder calorífico del combustible [MJ/kg]



Un bloque de poliestireno se consume a razón de 50g por segundo en un lugar abierto (ILC).

$$m_c = 0,05 \text{ kg/s}; H_{c \text{ poliestireno}} = 39,85 \text{ MJ/kg}$$

$$Q = m_c \cdot H_c = 0,05 \cdot 39,85 = 1,99 \text{ MW}$$

1.3. INCENDIOS LIMITADOS POR LA VENTILACIÓN (ILV)

Incendio limitado por la ventilación es aquél en el que su crecimiento y potencia queda limitado por la cantidad de oxígeno disponible.

Un ILV habiendo pasado o no por una etapa de *flashover*, ha consumido tal proporción de oxígeno, que el factor limitante para su crecimiento no será el combustible, sino la disponibilidad de oxígeno.

Se puede corresponder con un incendio de interior en su etapa de pleno desarrollo, incluso con aperturas de ventilación, ahora bien, su potencia viene determinada por el tamaño y la geometría de la apertura de ventilación al exterior.

Podemos aproximar el valor de esta potencia, para incendios de interior con una sola apertura por la que se canalizan los flujos de entrada de aire y salida de gases, utilizando la Ecuación de Kawagoe.

$$Q = k \cdot H_c \cdot A \cdot \sqrt{h}$$

Donde:

Q = potencia del incendio [MW]

k = constante (k=0,092 como referencia para el sistema de unidades propuesto)

H_c = poder calorífico del combustible [MJ/kg]

A = área de la apertura de ventilación [m²]

h = altura de la apertura de ventilación [m]



Potencia de un incendio alimentado a través de la apertura de una puerta de 2x0,8m.

$$k = 0,092; H_c = 20 \text{ MJ/kg}; A = 1,6 \text{ m}^2; h = 2 \text{ m}$$

$$Q = k \cdot H_c \cdot A \cdot \sqrt{h} = 0,092 \cdot 20 \cdot 1,6 \cdot 1,414 = 4,16 \text{ MW}$$

Podemos comparar esta potencia con la de un incendio con una apertura de paso de manguera (10 cm de anchura).

$$k = 0,092; H_c = 20 \text{ MJ/kg}; A = 0,2 \text{ m}^2; h = 2 \text{ m}$$

$$Q = k \cdot H_c \cdot A \cdot \sqrt{h} = 0,092 \cdot 20 \cdot 0,2 \cdot 1,414 = 0,52 \text{ MW}$$

Otra aproximación a la potencia de un ILV puede realizarse empleando la Regla de Thornton que establece la cantidad de energía procedente de la combustión de compuestos orgánicos según el consumo de oxígeno: 13,1 kJ/g de oxígeno.

$$Q = E_t \cdot \frac{\partial}{\partial t} m_{O_2} = E_t \cdot \frac{m_{O_2}}{t}$$

Donde:

Q = potencia del incendio [MW]

$E_t = 0,0131$ MJ/g, cantidad de energía liberada por gramo consumido de oxígeno $E_t = 13,1$ kJ/g

m_{O_2} = masa de oxígeno consumida [g]

t = tiempo empleado para consumir la cantidad de oxígeno m_{O_2} [s]



Calcular la potencia media de un incendio que consigue reducir la concentración de oxígeno de un 21% a un 5% en 5 minutos en un recinto de $80m^3$.

$E_t = 0,0131$ MJ/g. densidad del oxígeno a 1 Atm

$d_{O_2} = 1429$ g/ m^3 ; $t = 5' = 300s$ Cantidad de oxígeno

$m_{O_2} = 80 \cdot (0,21 - 0,05) \cdot 1429 = 18.291g$

$Q = m_{O_2} \cdot \frac{E_t}{t} = 18.291 \cdot \frac{0,0131}{300} = 0,799$ MW

1.4. DIFERENCIAS ENTRE ILC E ILV

En la siguiente gráfica se compara la evolución de varios parámetros de un incendio de interior. Habitualmente se hace referencia exclusivamente a la temperatura (T), pero otros factores condicionan de modo importante la intervención de bomberos. Obsérvese la diferencia que se produce en las condiciones interiores cuando el incendio pasa de un estado ILC a un estado ILV. El momento de tránsito resulta de vital importancia ya que múltiples parámetros del incendio se modifican y las condiciones interiores empeoran de forma significativa.

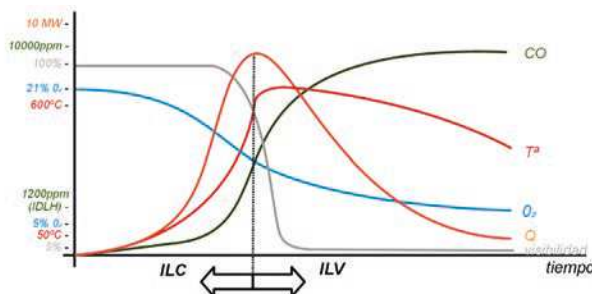


Imagen 22. Gráfica comparativa entre incendio ILC e incendio ILV

La potencia de incendio (Q) aparece expresada en MW e indica la cantidad de energía que produce el incendio en la unidad de tiempo. Se observa cómo la potencia del incendio aumenta de forma exponencial durante la etapa de crecimiento pero, cuando el incendio consume el oxígeno disponible, la combustión se ralentiza y, consecuentemente, la energía que genera.

En incendios confinados (sin ninguna apertura de ventilación) la potencia se aproximará a cero. Sin embargo, ni siquiera en incendios confinados existe una estanqueidad perfecta y el pequeño flujo de aire que se introduce por rendijas, huecos de ventilación y zonas mal selladas mantiene cierta potencia en el incendio.

En incendios con aperturas de ventilación, la potencia puede alcanzar valores considerables aún en la fase de ILV. Además, en estos casos, es más que probable la transición a través de un estado de *flashover* antes de alcanzar el estado de ILV.

En la transición de ILC a ILV, la concentración de oxígeno cae rápidamente. Este déficit de oxígeno genera gran cantidad de productos de combustión incompleta (carbonillas y gases no completamente oxidados). Esta situación genera altas concentraciones de gases tóxicos (obsérvese la curva CO para apreciar cómo las concentraciones de monóxido de carbono se disparan).

Además de la formación de partículas de carbonilla en suspensión responsables de la pérdida de visibilidad, los ambientes de ILV tienen otra particularidad. Los recintos quedan llenos de gases de incendio a altas temperaturas. En la mayoría de los casos, estos gases se encuentran fuera de su punto de inflamabilidad, no porque no exista temperatura, sino porque la mezcla es excesivamente rica en combustible frente a la proporción de comburente. Cuando estas atmósferas sufren un aumento de ventilación, se mezclan gases de incendio y aire progresivamente y el incendio aumenta su potencia significativamente hasta incluso derivar en un *flashover* inducido por la ventilación.



Imagen 23. Incendio en estado ILC



Imagen 24. Incendio en estado ILV



De cara a la intervención interior de bomberos, las condiciones de seguridad que ofrecen uno y otro tipo de incendio son radicalmente diferentes.

Tabla 1. Diferencias entre ILC e ILV

ILC	ILV
Entorno relativamente seguro para la progresión interior	Entorno especialmente peligroso con dificultades específicas
Buena visibilidad	Falta visibilidad. Operaciones interiores lentas y costosas
Colchón de aire fresco en zonas bajas	Atmósfera no respirable para víctimas o bomberos sin equipo de respiración
	Atmósfera combustible
	Temperaturas altas generalizadas
Concentración de gases tóxicos relativamente bajas (CO, HCN, etc.)	Concentración alta de gases tóxicos (CO, HCN, etc.)
Combustión completa	Colchón de gases inflamables con abundantes productos incompletos de combustión
Foco fácilmente localizable	Dificultad para localizar foco

1.5. FLASHOVER

Flashover es la fase transitoria en el desarrollo de un incendio de interior en el que las superficies expuestas a la radiación térmica alcanzan su temperatura de inflamación de una manera casi simultánea y el incendio se extiende rápidamente por todo el espacio disponible generalizando el incendio en el recinto. (NFPA 921, 2008. 3.3.78).

El desarrollo de un incendio no siempre transcurre por una fase de *flashover*. Para que concurra, deben darse las siguientes circunstancias:

- **Carga de combustible** suficiente como para generar un colchón de gases cuya radiación permita que las superficies expuestas alcancen su temperatura de inflamación.

- **Proporción de oxígeno** adecuada de modo que la mezcla de gases se encuentre en su ventana de inflamabilidad (temperatura y relación combustible/comburente). Esto se consigue cuando existe una apertura de ventilación suficiente o cuando el recinto incendiado está en el interior de una estructura lo suficientemente amplia como para garantizar el aporte de oxígeno necesario.



Podemos esperar que el incendio produzca un *flashover* en corto espacio de tiempo cuando se presentan distintos indicadores que, en ningún caso, deben interpretarse como señal inequívoca de que se vaya a producir este fenómeno:

- Incendio próximo a concluir su fase de crecimiento.
 - Colchón de gases de incendio denso y muy oscuro.
 - Altas temperaturas en el recinto. Las superficies expuestas a la radiación muestran claros signos de estar piroquizando.
 - Existe un aporte de oxígeno, por lo que el incendio se encuentra ventilado.
 - A pesar de la ventilación, el plano neutro desciende hasta casi el nivel de suelo.
 - Lenguas de gases inflamados (*rollover*) en el colchón de gases de incendio.
- Durante la fase de *flashover* se produce un pico puntual en la potencia del incendio, una ligera sobrepresión y un elevado nivel de radiación térmica que intensifica el riesgo para los bomberos que se encuentren en el interior. Por tanto, las operaciones de progresión interior y control de la ventilación deberán ir encaminadas a evitar que se produzca un *flashover* con efectivos en el interior. Para ello caben distintos enfoques que, en muchos casos, pueden emplearse de forma simultánea o consecutiva.



Imagen 25. Inflamación generalizada en una cámara de entrenamiento a base de GLP

- Limitar o reducir el aporte de aire al incendio.
- Reducir la temperatura del colchón de gases de incendio de forma que se reduzca su inflamabilidad.
- Diluir el colchón de gases con vapor de agua para situarlo fuera de rango de inflamabilidad.
- Realizar un barrido de los gases de incendio para expulsarlos fuera del recinto mediante ventilación forzada. Este barrido deberá hacerse sin provocar excesivas turbulencias que mezclen los gases de incendio con el aire aportado.

1.6. INCENDIOS INFRAVENTILADOS

Un incendio infraventilado es un incendio de interior que alcanza el estado de incendio limitado por la ventilación sin transcurrir por una etapa de *flashover*.

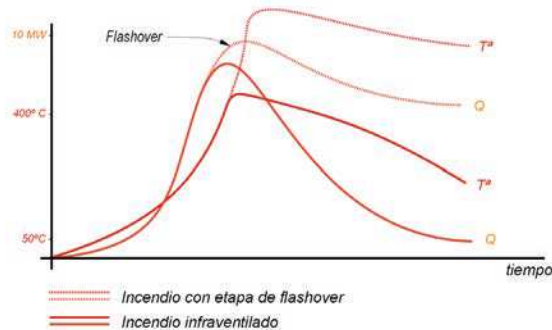


Imagen 26. Evolución comparada de la temperatura (T) y potencia (Q) en un incendio infraventilado frente a un incendio que transcorre por una etapa de *flashover*

Los incendios infraventilados son típicos de recintos confinados o con una ventilación muy limitada en la que el aporte de oxígeno es reducido y el incendio consume durante la etapa de desarrollo el oxígeno disponible en el recinto.

En la mayoría de los casos, el confinamiento es el motivo que desencadena el incendio infraventilado.



Imagen 27. Bomberos en el momento de acceso a un incendio infraventilado. Al abrirse la puerta encontramos el plano neutro casi a nivel del suelo impidiendo la visibilidad

En ausencia de un flujo de aire continuo, el plano neutro descenderá hasta el nivel del suelo con lo que desaparece la clásica estratificación propia de los incendios con cierta ventilación. Desde el punto de vista operativo, esto tiene gran trascendencia, ya que la visibilidad interior es prácticamente nula y desaparece el colchón de aire fresco que pudiera favorecer la supervivencia de víctimas.

Denominamos *fracción de combustible* a la proporción de combustible disponible en el colchón de gases.

Antes del *flashover*, el colchón de gases contiene productos de combustión completa (fruto del desarrollo del incendio limitado por el combustible), gases procedentes de la pirolización y una fracción de productos de combustión incompleta que tienden a aumentar a medida que se reduce la concentración de oxígeno. La fracción de combustible (proporción de combustible disponible en el colchón de gases) estará compuesta por los gases procedentes de la pirolización y los productos de la combustión incompleta.

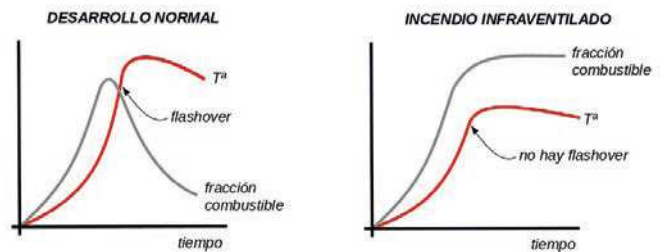


Imagen 28. Comparación de la fracción de combustible y temperatura en un incendio de desarrollo normal y en un incendio infraventilado

En el momento que en el incendio se produce un *flashover*, esta fracción de combustible se consume rápidamente. Sin embargo, en un incendio infraventilado, la alta fracción de combustible confiere un elevado potencial de crecimiento frente a la ventilación.



En el entorno actual de incendio, con edificaciones de alto grado de aislamiento térmico y combustibles sintéticos que requieren una cantidad alta de oxígeno para su combustión, los incendios infraventilados son comunes y constituyen el escenario más frecuente a la llegada a siniestro.

1.7. FLASHOVER INDUCIDO POR LA VENTILACIÓN

El *flashover* inducido por la ventilación es un *flashover* producto de la ventilación realizada en un incendio infraventilado.

En incendios infraventilados (incendios limitados por la ventilación que no han sufrido una etapa de *flashover*). Ante la apertura de cualquier hueco de ventilación, el incendio recobrará potencia, ya que accede al oxígeno necesario para situar en rango de inflamabilidad la gran cantidad de combustible disponible. Esto permite que la temperatura suba hasta volver a ofrecer condiciones para que se produzca un *flashover* en el recinto.

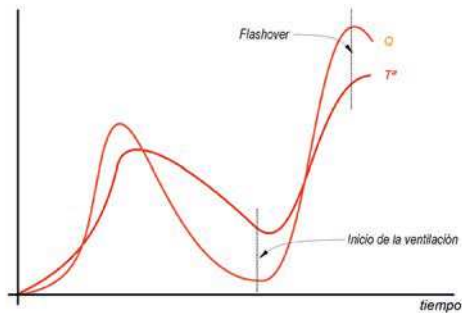


Imagen 29. Evolución de la temperatura y potencia de incendio (Q)

Siendo los incendios infraventilados uno de los escenarios mas frecuentes, a la llegada del servicio de bomberos y el inicio de la progresión interior se debe prestar especial atención al control de la ventilación. Una ventilación inadecuada puede generar un *flashover* inducido por la ventilación cuando los efectivos ya están en el interior del recinto.

Los experimentos de Underwriters Laboratories, en viviendas de tamaño real con mobiliario moderno han permitido arrojar un rango de dos minutos aproximadamente desde la apertura de ventilación hasta que se produce el *flashover* inducido por la ventilación.



Imagen 30. Incendio en Dalkey Road (Dublín). En la imagen superior se aprecia un incendio infraventilado. A pesar de que la puerta está abierta, el flujo de aire es insuficiente y el incendio no llega a transcurrir por una etapa de *flashover*. La imagen central reproduce el momento en el que los cristales del escaparate se rompen. Abajo la imagen 1 minuto después en plena etapa de *flashover* inducido por la ventilación

Además de los indicadores clásicos de *flashover*, es característica la formación creciente de flujos de entrada de aire y salida de gases desde el momento en que se practica la apertura. El flujo inicial, prácticamente laminar, evoluciona en flujos de salida de mayor velocidad y turbulencia a medida que el incendio recupera la potencia y se acerca al *flashover* inducido por la ventilación.



Una ventilación inadecuada puede generar un *flashover* inducido por la ventilación. Por tanto, en incendios infraventilados los enfoques de intervención serán similares a los empleados en situaciones de *flashover*; al inicio de la progresión se debe prestar especial atención al control de la ventilación.

1.8. BACKDRAFT

El backdraft es una deflagración como consecuencia de un aporte de aire repentino a un incendio en un espacio confinado en el que existen productos incompletos de combustión por de la falta de oxígeno. (NFPA 921, 2008. 3.3.14)

Al igual que en el *flashover* inducido por la ventilación, en un *backdraft* también se parte de un escenario de incendio infraventilado, (ILV) que, al no haber pasado por un estado de *flashover*, contiene una fracción de combustible alta en su colchón de gases. La diferencia estriba en que, en el *flashover* inducido por la ventilación el aumento de potencia del incendio se produce paulatinamente mientras que en un *backdraft* el aumento de potencia es repentino y consecuencia de una deflagración.



Imagen 31. Secuencia de imágenes en un simulador de *backdraft*

En el momento en que se produce una apertura en el recinto del incendio, una lámina de aire fresco se introduce en el interior y se extiende por las zonas más bajas. A este flujo se le denomina corriente de gravedad. Por encima de ella se encuentra un flujo de gases calientes que se encamina hacia la salida de gases. La fricción de ambos flujos produce turbulencias y zonas de mezcla. En los primeros instantes, las zonas de mezcla solo afectan la zona cercana a la salida de gases, paulatinamente se desplazan hacia el fondo del recinto hasta alcanzar una fuente de ignición que inicia la deflagración de la mezcla.

Para que se produzca un *backdraft* es necesaria una fracción de combustible realmente alta en el interior del recinto (>15% según autores). Un abundante volumen de productos de pirólisis (fruto de la presencia de combustibles ricos y altas temperaturas durante un tiempo prolongado), junto a los productos incompletos de combustión en el recinto, constituyen el combustible del *backdraft*.

Erróneamente se asocia el fenómeno del *backdraft* a la concentración de monóxido de carbono en el recinto. Al seguir este planteamiento, se creía que reducir la temperatura por debajo de la temperatura de ignición del monóxido de carbono (609°C) permitía evitar el fenómeno. Estudios posteriores han demostrado que las concentraciones de CO en los incendios difícilmente sobrepasan el 5%, cuando el límite inferior de inflamabilidad del CO se sitúa en el 12%.



El desencadenamiento de un *backdraft* puede ir precedido de distintos indicadores, sin que ninguno de ellos pueda tomarse como señal inequívoca de que vaya realmente a producirse.

- Incendio infraventilado en recinto confinado.
- Pulsaciones en el interior del recinto. Las presiones en el interior pasan de ser negativas a positivas en corto espacio de tiempo. El incendio parece “respirar y exhalar”.
- Colchón de gases de incendio denso que en el exterior tiene tonos anaranjados y amarillentos.

Durante un *backdraft* se produce un aumento brusco de la potencia del incendio que lleva asociada una onda de presión susceptible de ocasionar daños materiales de importancia y, en la mayoría de los casos, resultados trágicos al personal en el interior, por lo que debe ser una **situación a evitar a toda costa**. Para ello caben distintos enfoques operativos:

- **Apertura de un hueco de ventilación en cubierta.** Este tipo de aperturas no permite que se introduzca una corriente de gravedad por lo que no existe una mezcla efectiva de gases de incendio y aire. Si bien esta puede ser una opción operativa en los tipos constructivos a base de entramados ligeros de madera, no resulta viable en las construcciones habituales compuestas de forjados.
- **Limitar o reducir el aporte de aire** al incendio y esperar a que el incendio decaiga por sí mismo. A medida que la temperatura cae en el interior del recinto, la inflamabilidad del colchón de gases (y el riesgo potencial de *backdraft*) se reducen.

- **Reducir la temperatura del interior** mediante ataque indirecto con agua desde la puerta de acceso o aperturas practicables que puedan cerrarse.
- Cuando el *backdraft* sea **inminente**, solo cabe asegurar que se produzca preservando que el personal se encuentre en el exterior **en situación defensiva**.

1.9. EXPLOSIÓN DE HUMO

La explosión de humo es una deflagración como consecuencia de la presencia de una fuente de ignición en una mezcla de gases de incendio y aire dentro de su rango de inflamabilidad.

Durante el incendio, los gases de incendio se desplazan a espacios ocultos sin fuentes de ignición, donde se mezclan con el aire existente. Estas mezclas pueden ser enormemente variables en cuanto a proporción combustible/comburente y temperatura.

Cuando la mezcla alcanza su punto de inflamabilidad (temperatura superior a la de ignición y concentración de combustible dentro del rango de inflamabilidad), la **presencia de una fuente de ignición** basta para que se produzca su deflagración y se desate una onda expansiva que puede generar importantes daños materiales. En la mayoría de los casos, se producirá al accionar circuitos eléctricos o por contacto con recintos o elementos incandescentes.

En comparación con el *backdraft*, el desencadenante de la deflagración no es el acceso a la ventilación, sino la presencia de una fuente de ignición en una mezcla previa situada en rango de inflamabilidad.



Distintos indicadores pueden anticipar el desencadenamiento de una explosión de gases. Sin que ninguno de ellos pueda tomarse como señal inequívoca de que vaya a producirse:

- Humo caliente, no excesivamente denso, en espacio confinado fuera de la zona de incendio.
- Mezcla homogénea de gases de incendio y aire.

La intervención deberá ir encaminada a:

- Evitar cualquier tipo de fuente de ignición.
- Reducir la temperatura de la mezcla mediante ataque indirecto desde alguna apertura.
- Ventilar y expulsar la mezcla de gases del interior del recinto.

2. INFLUENCIA DEL COMBUSTIBLE

El combustible determina en gran medida el desarrollo y comportamiento de los incendios. En incendios limitados por el combustible, las características del combustible, así como su distribución y continuidad, juegan un papel fundamental en la potencia, desarrollo, opacidad de los gases de incendio, composición de los productos de combustión y respues-

ta a la ventilación. Por su parte, en incendios limitados por la ventilación, satisfaciendo, eso sí, una carga mínima que permita alcanzar dicho estado, ni la distribución ni continuidad influirán en el incendio.

2.1. PODER CALORÍFICO

La energía química contenida en un combustible depende de su composición, de su estructura molecular y de la diferencia energética entre los estados anterior y posterior a la combustión. Así, el poder calorífico de un combustible puede determinarse a partir de los niveles de energía del combustible, sus productos de combustión y la energía de activación requerida para iniciar el proceso de combustión.

$$H_c = E_{q_{\text{inicio}}} - E_{q_{\text{final}}} - E_{q_{\text{activación}}}$$

Donde:

H_c = poder calorífico [kJ/kg]

$E_{q_{\text{inicio}}}$ = energía química del combustible [kJ/kg]

$E_{q_{\text{final}}}$ = energía química de los productos de la combustión [kJ/kg]

$E_{q_{\text{activación}}}$ = energía requerida para iniciar el proceso de combustión [kJ/kg]

Tabla 2. Características de las reacciones

MATERIAL	H_c [kJ/kg]
Madera	16
Poliuretano	23
Carbón	29
Neumáticos	32
Gasolina	45

En la tabla se pueden observar los valores para calor específico en sustancias comunes.

2.2. CARGA DE COMBUSTIBLE

La carga de combustible (C_c) es una medida de la cantidad de energía de los combustibles por unidad de superficie.

$$C_c = H_c \cdot m_u$$

Donde:

C_c = carga de combustible [kJ/m²].

H_c = poder calorífico [kJ/kg].

m_u = masa de combustible por unidad de superficie [kg/m²].

La carga de combustible en un incendio interior influye decisivamente en su duración. Los incendios con poca carga de combustible ni siquiera alcanzarán el estado de ILV, pues la cantidad de oxígeno en el interior del recinto, o accesible a través de la ventilación, es suficiente para consumir la totalidad del combustible. Ejemplo claro de esto sería el de una

papelera incendiada en una habitación que no se propaga a otros combustibles. Cargas de combustible de 200MJ/m² han demostrado ser suficientes para alcanzar estados de ILV.

La duración del estado de pleno desarrollo en un incendio de interior con cierto nivel de ventilación (de otra manera no existiría posibilidad de consumir combustible más allá del oxígeno disponible en el recinto) dependerá de la carga de combustible y de otros factores.

2.3. OTROS FACTORES LIGADOS AL COMBUSTIBLE

- Tasa de pirólisis (t_p) mide la masa de combustible que piroliza por unidad de tiempo y superficie. Es una medida de la volatilidad de los compuestos inflamables que contiene el combustible en estado sólido.
- Tasa de combustión (m_c) es la velocidad a la que el combustible se consume [kg/s].

Estos factores no solo están ligados a las características del combustible, sino también a la distribución del mismo y a las características del recinto en el que se desarrolla el incendio.

a) Influencia del combustible sobre la potencia del incendio

Las expresiones comúnmente utilizadas para determinar la potencia de un incendio incluyen el poder calorífico del combustible, de manera que se puede concluir que la potencia de incendio es directamente proporcional al poder calorífico del combustible tanto en limitados por la ventilación como en limitados por combustible.

Expresión de la potencia de incendio:

$$Q = m_c \cdot H_c \quad \text{para incendios ILC}$$

$$Q = k \cdot H_c \cdot A \cdot \sqrt{h} \quad \text{para incendios ILV}$$

En ILC, la tasa de combustión (m_c), que depende en parte de las características del combustible, juega un papel importante.

b) Influencia sobre la velocidad de desarrollo

La influencia del combustible sobre la velocidad de desarrollo del incendio depende, entre otros, de varios factores íntimamente ligados a las características del combustible:

- La facilidad para emitir productos combustibles en fase gaseosa (**tasa de pirólisis**). En combustibles en fase líquida se trata de una medida de su volatilidad.
- La velocidad con que estos se consumen en una combustión (**tasa de combustión**). Ésta está vinculada a la cantidad de energía que se requiere para comenzar la combustión. Así, combustibles que requieren una energía de activación grande, dan lugar a incendios de desarrollo lento.

Tabla 3. Velocidad de desarrollo de un incendio

VELOCIDAD DE DESARROLLO DEL INCENDIO	TASA DE PIRÓLISIS	TASA DE COMBUSTIÓN
Muy rápido	Alta	Alta
Rápido	Media	Alta
Rápido	Alta	Media
Media	Media	Media
Lento	Baja	Baja

Cuantificar la influencia de ambos parámetros en una expresión matemática es bastante complejo. En la mayoría de los modelos se opta por introducir el denominado “**factor de crecimiento**” como un parámetro experimental (para cada tipo de combustible y entorno de incendio) que determina el tiempo necesario para que el incendio consiga una potencia de 1MW.

2.4. COMBUSTIBLES TRADICIONALES VS. COMBUSTIBLES MODERNOS

En los últimos años, la incorporación masiva de materiales sintéticos en la fabricación de mobiliario y enseres domésticos ha tenido una importante repercusión en el desarrollo de los incendios de interior. Los plásticos y materiales sintéticos presentan un poder calorífico muy superior al de los combustibles tradicionales con curvas de desarrollo más rápidas.



Imagen 32. Comparación de los combustibles modernos ricos en materiales sintéticos y derivados del petróleo con los combustibles tradicionales (madera maciza, fibras textiles vegetales)

A esto habría que añadir el mayor número de elementos de mobiliario presentes en los hogares actuales, las distribuciones en planta abierta, una mayor superficie y un mayor grado de aislamiento térmico que se traducen en dinámicas de incendio más violentas.

El estudio realizado por Underwriters Laboratories en el que se analizó el impacto de la ventilación en viviendas actuales frente a las tradicionales arrojó importantes datos sobre cómo los incendios han evolucionado a tenor de los cambios señalados en el entorno.

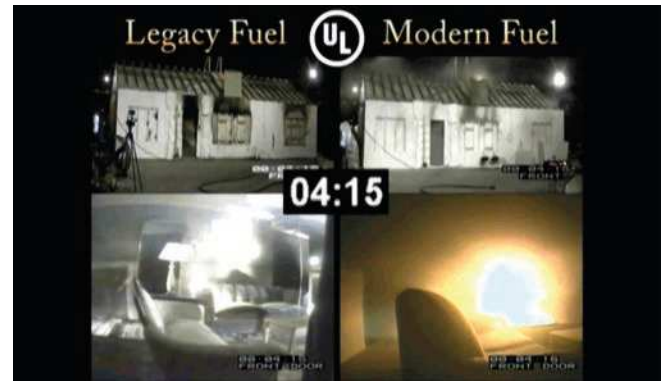


Imagen 33. Captura de la escena del montaje de video comparando el experimento antes referido

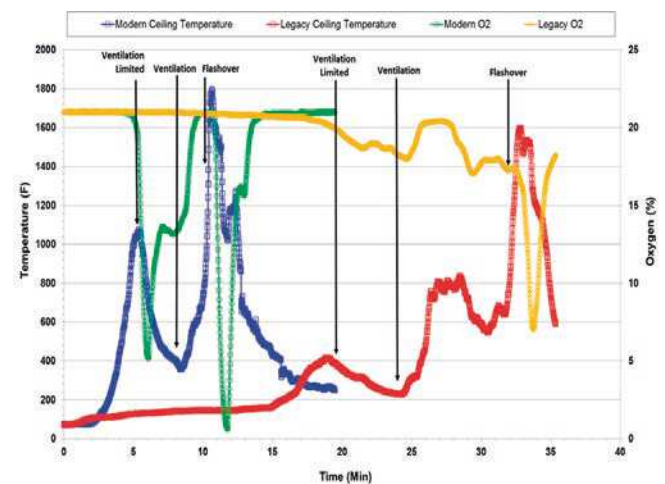


Imagen 34. Evolución de la temperatura y las concentración de oxígeno en el experimento de Underwriters Laboratories comparando la evolución de un incendio con combustible moderno y otro con tradicional en una misma vivienda reproducida a escala real

En este estudio se evaluó el desarrollo del incendio y la influencia de las aperturas de ventilación en viviendas unifamiliares, contruidas a escala real y completamente instrumentalizadas, para realizar una toma de datos científica del proceso. La misma configuración de incendio se experimentó primero con mobiliario tradicional y, a continuación, se repetía con mobiliario moderno asegurando que en ambos casos se trataba de un incendio de contenido y que la estructura, a base de planchas de yeso y papel ignífugo, permanecía intacta.

Las conclusiones del estudio son trasladables a la mayoría de países desarrollados pues el uso de plásticos y materiales sintéticos, el aumento de la carga de fuego y la popularización de las estructuras en planta abierta se han globalizado.

Con las gráficas y datos experimentales de Underwriters Laboratories podemos analizar el comportamiento de los incendios actuales y concluir que:

- El estado de **ILV se alcanza con mayor rapidez**: el uso de materiales sintéticos implica combustibles con una mayor facilidad para pirolizar y una demanda de energía de activación menor.

- Los incendios **confinados evolucionan** en incendios **infraventilados**: las cargas de combustibles actuales requieren un volumen de aire mayor que el contenido aire existente en el toda la vivienda para poder alcanzar el *flashover*.
- Las **temperaturas** alcanzadas son significativamente **mayores**.
- La **potencia** del incendio es **mayor**: mayores cargas de combustible se consumen en un menor tiempo.
- Las **concentraciones** de **oxígeno** son **menores**: el hecho de que las temperaturas sean mayores permite un mayor consumo de oxígeno ya que a altas temperaturas los procesos de oxidación son posibles aún en presencia de concentraciones muy bajas de oxígeno.
- La **reacción** a la **ventilación** resulta muy **rápida**: Los gases de incendio retenidos en el interior de la estructura con mobiliario moderno contienen mayor cantidad de productos incompletos de la combustión que en los entornos tradicionales ya que ha habido mayor consumo de oxígeno. Pero también contienen mayor cantidad de productos de pirólisis ya que las temperaturas son mayores y los combustibles modernos pirolizan con mayor facilidad.

- **Incendios de contenido**: el incendio se limita estrictamente a los combustibles que hay en el interior. El continente no aporta combustible al incendio. Son característicos de sistemas constructivos con obra de fábrica y forjados de hormigón.
- **Incendios de estructura**: el incendio alcanza a los contenidos y a la propia estructura. El continente es parte del combustible del incendio. Esto es característico de incendios en casas tradicionales o en cubiertas y forjados de madera.



Imagen 36. Incendio de continente y contenido en estructura tradicional cubierta de madera



Este análisis del comportamiento de los incendios tradicionales frente a los actuales permite establecer una serie de consideraciones sobre el escenario más probable a la llegada al incendio:

- Incendio infraventilado.
- Ausencia de visibilidad: plano neutro casi a ras de suelo.
- Evolución brusca frente a la apertura de huecos de ventilación.

3. INFLUENCIA DEL RECINTO

3.1. INCENDIOS DE CONTENIDO VS. INCENDIOS DE ESTRUCTURA

Con relación al recinto, el primer factor a tener en cuenta en el desarrollo de un incendio es el **alcance** dentro del recinto:



Imagen 35. Incendio de contenido. Estructura de obra de fábrica y forjados de hormigón

3.2. SUPERFICIE Y ALTURA DEL RECINTO

En la mayoría de los entornos urbanos, la carga de combustible dependerá de la superficie y del perímetro del recinto. Es en el suelo y en las paredes del recinto donde se encuentra la gran mayoría de los combustibles. Proporcionalmente, los recintos pequeños tienen mayor longitud de perímetro en relación a su superficie.



Ejemplo

Recinto de 4.4m; área = 16m², perímetro = 16m; Relación perímetro/área = 1:1

Recinto de 2.2m; área = 4m², perímetro = 8m; Relación perímetro/área = 2:1

Sin embargo, en la mayoría de los códigos de protección contra incendios la carga de combustible queda referida en exclusiva a la superficie del recinto y expresada en [kJ/m²].

La carga de combustible condiciona la duración y desarrollo del incendio y también condicionará la potencia en caso de ILC. Sin embargo, en los ILV, este análisis es más complejo: la potencia del incendio depende de la apertura de ventilación, y para una mismo tamaño de hueco de ventilación un recinto grande presenta mayores pérdidas de calor por el entorno, menor temperatura y, por tanto, menor potencia.

La siguiente modelización ilustra este efecto para un caso concreto.

Tabla 4. Potencia estimada de incendio para distintos recintos

Tamaño recinto	Potencia
Pequeño 10 m ²	4,4MW (440kW/m ²)
Medio 16 m ²	5,3MW (331kW/m ²)
Grande 25 m ²	6,1MW (224kW/m ²)

Por su parte, la altura de la estructura juega un doble papel:

- Una mayor altura implica un mayor volumen de oxígeno disponible para una misma cantidad de combustible (recuérdese que dependía de la superficie y del perímetro). La regla de Thornton permite relacionar la energía que se puede extraer de un combustible con la cantidad de oxígeno disponible.
- A mayor altura, más pérdidas de calor por el entorno, mayor volumen de gases para calentar y menor radiación a los combustibles por parte del colchón de gases (se encuentran más alejados).



Dado que ambos efectos se contrarrestan, se puede decir que existe una determinada altura en que la potencia de incendio será máxima y que disminuirá a medida que la altura de techo aumente o disminuya.

Es posible afirmar que, a menor altura, el desarrollo del incendio será más rápido y el estado de ILV se alcanzará con mayor facilidad ya que la distancia entre el colchón de gases y el combustible se reduce, aumenta la radiación y el volumen de oxígeno es menor.

3.3. GEOMETRÍA INTERNA: CONFINAMIENTO Y COMPARTIMENTACIÓN INTERIOR

El nivel de confinamiento y compartimentación interior juega un importante papel en el desarrollo del incendio y en las tácticas a emplear para la extinción y el rescate.

Entendemos como **nivel de confinamiento** el grado de ventilación que existe entre el recinto de incendio, el exterior y el resto de estancias del edificio. El volumen de ventilación determinará la potencia del incendio y la posibilidad de que se alcance el *flashover*. Un recinto en el que las puertas estén cerradas al resto de la estructura, implica que el incendio no tendrá acceso al oxígeno presente en el resto de la estructura y que los gases de incendio no se extenderán a otras estancias para propagarlo.

La **compartimentación interior**, o grado de división interno del edificio, también afectará al desarrollo del incendio. Este comenzará donde se encuentre el foco dentro del recinto y se propagará a otras estancias a través de puertas abiertas o consumidas en el incendio. Así, en el mismo edificio, hay recintos en los que el incendio se encuentra en pleno desarrollo mientras que en otros estará aún en fase de desarrollo.

3.4. NIVEL DE AISLAMIENTO, INERCIA TÉRMICA

En el desarrollo del incendio, la temperatura interior del recinto es un equilibrio entre la potencia del incendio y el calor que se pierde a través del entorno. Un alto nivel de aislamiento térmico impedirá que el calor se pierda con facilidad e influirá en el desarrollo del incendio provocando:

- Mayores temperaturas.
- Mayor velocidad de desarrollo y, consecuentemente, mayor potencia de incendio.
- Menores concentraciones de oxígeno (el incendio consume mayor cantidad de oxígeno al haberse alcanzado mayores temperaturas).

Por su parte, la capacidad de acumulación de calor por parte del entorno (inercia térmica), influye alargando las fases del incendio. Durante la fase de crecimiento, la inercia térmica implica que el entorno absorbe gran cantidad de energía, lo que prolonga este proceso. Durante la fase de pleno desarrollo y decaimiento, será el entorno el que transmita calor al recinto.

4. RIESGOS DEL TRABAJO EN INCENDIOS DE INTERIOR

Desde un punto de vista genérico, pueden estudiarse los riesgos intrínsecos de la intervención en incendios de interior sin entrar en la valoración concreta de riesgos y medidas de seguridad propias de un estudio de seguridad e higiene laboral.



imagen 37. Intervención de bomberos en incendios de interior

4.1. INFLAMABILIDAD Y FENÓMENOS DE RÁPIDO DESARROLLO

En determinadas circunstancias y a lo largo del desarrollo de incendio, los gases de incendio pueden alcanzar su punto de inflamabilidad generando los fenómenos de rápido desarrollo explicados (*flashover*, *backdraft* o explosión de humo). Incluso sin llegar a ello, la ignición de gases provocará un aumento en la potencia del incendio que dificultará las condiciones para los intervinientes en el interior.

Durante los últimos años se popularizaron máximas del tipo “El humo es combustible”, derivadas del popular “*Smoke is fuel*” de los servicios anglosajones. Este tipo de afirmaciones daban a entender que los gases de incendio serían inflamables en cualquier circunstancia. En otros casos, se ha asociado la inflamabilidad del humo del incendio a la presencia de monóxido de carbono hasta el punto de igualar su punto de inflamabilidad al del monóxido, extremo que como ya se abordó anteriormente resulta erróneo.



La extrema complejidad de la inflamabilidad de los gases de incendio hace imposible equipararla a unas cifras pre-determinadas. En ella influyen multitud de factores:

- Composición de los gases de incendio.
- Fracción de combustible.
- Temperatura.
- Concentración de oxígeno.

En los gases de incendio no solo se encuentran gases de combustión, sino también partículas en suspensión y productos de la pirólisis en diferentes concentraciones (dependiendo del combustible del incendio y el desarrollo del mismo).

La fracción de combustible varía según la cantidad inicial de combustible, pero también con el tipo de desarrollo que el incendio haya sufrido. En incendios infraventilados, al no haber pasado por un estado de *flashover* en el que se haya consumido el combustible, encontramos fracciones de combustible mayores.

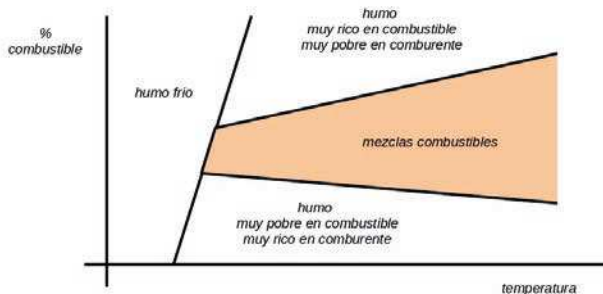


Imagen 38. Gráfica de variación del rango de inflamabilidad de un combustible con relación a la temperatura

4.2. CALOR

El calor representa un peligro físico para las personas. Si la energía calorífica total que incide sobre el cuerpo humano supera la capacidad de defensa del mismo, provoca desde lesiones leves hasta la muerte. Las consecuencias de la exposición al aire caliente se ven amplificadas si la atmósfera del fuego contiene **humedad**, ya que **mejora la eficiencia de transmisión de calor** y el cuerpo pierde facultades para liberarse de la carga calorífica.

La transmisión de calor se puede realizar a través de distintas formas:

- El foco del incendio irradia energía sobre las superficies expuestas.
- El colchón de gases de incendio (que se encuentra a altas temperaturas y extendido por todo el recinto) irradia calor.

- Por contacto entre el equipo de protección personal y los gases de incendio (conducción).
- Por convección en las zonas de flujos de gases de incendio calientes.

Cuando un exceso de calor alcanza los pulmones puede producir una drástica caída de la presión sanguínea junto con el colapso de vasos sanguíneos que conduzcan a un fallo circulatorio. Asimismo, el calor intenso puede originar la acumulación de fluido en los pulmones.

Los ensayos realizados por el National Research Council de Canadá (NRCC) revelaron que 140°C es la máxima temperatura del aire respirado que permite sobrevivir. Una temperatura de esta magnitud solo puede tolerarse durante un breve periodo de tiempo y, en ningún caso, con presencia de humedad. Por tanto, los bomberos **no penetrarán** en ningún tipo de atmósfera hostil **sin portar vestuario y máscaras protectoras**.

Las **variaciones térmicas** dentro del recinto de incendio son importantes debido a una fuerte estratificación térmica. Las zonas superiores pueden fácilmente superar los 600°C, mientras que es posible que el colchón de gases inferior se encuentre en el entorno de los 100°C y otros recintos fuera de la zona de incendio estarán sometidos a temperaturas aún menores.

Con relación a la radiación valores de 10kW/m² se sitúan en el umbral de trabajo para bomberos completamente equipados y calores puntuales de 20kW/m² implican en la mayoría de los casos daños a los equipos de protección personal y daños personales.

Los equipos de protección individual ofrecen protección frente a la temperatura aislando al bombero de las temperaturas externas, pero también absorben parte de ese calor del entorno. Esta **protección térmica** no es, por tanto, ilimitada en el tiempo y, a medida que la operación se desarrolla, el traje de intervención **se satura** hasta que la sensación térmica se transmite al usuario.

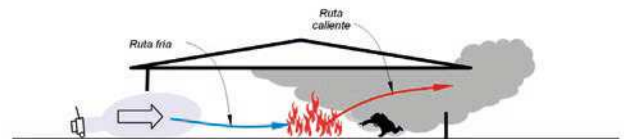


Imagen 39. Identificar el flujo de gases y delimitar al ruta fría y la ruta caliente de gases es vital para la seguridad de víctimas e intervinientes

Durante un incendio existe un volumen de gases en movimiento que abarca la alimentación de aire al incendio y los gases de incendio producidos. Es el denominado flujo de gases en el cual podremos identificar claramente un flujo de gases frío desde la entrada de ventilación hasta el foco del incendio y un flujo de gases caliente formado por los gases de incendio en busca de la salida. Este movimiento de gases se produce por el diferencial de presión existente.

Las áreas de flujo frío (**ruta fría**) son zonas donde el personal queda protegido de la exposición térmica mientras que el flujo de gases caliente (**ruta caliente**) conforma un columna

con importantes efectos de convección sobre las superficies expuestas en su camino.



Identificar el flujo de gases, la ruta fría y la ruta caliente de gases es vital para la seguridad de víctimas e intervinientes.

4.3. TOXICIDAD

El personal que realiza operaciones internas en incendios de interior está expuesto a una combinación de agentes irritantes y tóxicos que no puede ser identificada previamente con exactitud. De hecho, la combinación puede tener una respuesta sinérgica, ya que el efecto combinado de dos o más sustancias es más tóxico o más irritante de lo que sería la suma de las respuestas si cada uno fuera inhalado por separado.

Los gases tóxicos inhalados tienen distintos efectos nocivos en el cuerpo humano. Algunos afectan directamente el tejido pulmonar y deterioran su función. Otros pasan hacia la corriente sanguínea impidiendo las funciones vitales.



Imagen 40. Bombero a punto de entrar en un ambiente completamente inundado de humo

Las respuestas fisiológicas frente a los agentes tóxicos dependen en gran medida del efecto dosis donde, no solo es importante la concentración, sino también el tiempo de exposición. Si bien se han podido realizar estudios que determinan las dosis de toxicidad de distintos gases de forma individual, es imposible evaluar el efecto sinérgico que la combinación de ellos produce.



La cantidad y naturaleza de los gases tóxicos presentes en los gases de incendio depende de múltiples factores entre los que cabe destacar:

- Naturaleza de combustible.
- Desarrollo del incendio.
- Temperatura.
- Concentración de oxígeno.

4.4. VISIBILIDAD

La visibilidad dentro del recinto de incendio se reduce a medida que crece la concentración de partículas en suspensión. El paso de un régimen de ILC a ILV conlleva la aparición de productos incompletos de la combustión, entre ellos, partículas en suspensión. Esta pérdida de visibilidad puede ser especialmente drástica cuando la transición ocurre en un corto espacio de tiempo.

La visibilidad es un parámetro dependiente de la estratificación térmica del incendio y la localización del plano neutro.



Los riesgos derivados de la falta de visibilidad para el personal que realiza labores interiores están relacionados con la ralentización de las operaciones.

La pérdida de la capacidad de visión, el principal sentido en estas situaciones, obliga a que los intervinientes deban “palpar” el camino. La desorientación y la dificultad para localizar el foco, aún estando en las proximidades, constituyen riesgos añadidos.

4.5. RANGO DE SUPERVIVENCIA DE VÍCTIMAS

Las condiciones de supervivencia para las víctimas en un incendio de interior son especialmente complejas. Influyen dos tipos de parámetros cuya efecto dosis determinará el rango de supervivencia:

- Parámetros **respiratorios**: vinculados a la presencia de agentes tóxicos y a su acción sinérgica cuando se encuentran en combinación, así como a la ausencia de oxígeno y la presencia de partículas en suspensión.
- Parámetros **térmicos**: efectos del calor sobre el organismo que incluyen quemaduras y bloqueo de la función respiratoria en ambientes a alta temperatura.

Los estudios Underwriters Laboratories determinaron un rango de supervivencia de 6-12 minutos desde el inicio del incendio para víctimas en una estancia con puerta abierta. La variación en tiempo dependía de la ubicación de la víctima con respecto al recinto de incendio. Salvo en un experimento, los parámetros respiratorios resultaron más críticos que los térmicos. Teniendo en cuenta que el régimen de ILV se alcanzaba a los cinco minutos, se puede concluir que el rango de supervivencia de una víctima en un incendio infraventilado con mobiliario moderno se extiende poco más allá de esta situación.

5. INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE AGUA SOBRE INCENDIOS

Con carácter general, la aplicación de agua en el interior de un recinto incendiado modifica la dinámica del incendio a través de dos efectos: **enfriamiento** y **dilución**. El calentamiento del agua aplicada y el cambio de fase líquido-gas generan una absorción de energía con el consiguiente enfriamiento de la masa de gases de incendio, del combustible y de la estructura. Por su parte, la incorporación de vapor de

agua al recinto constituye una dilución de las concentraciones de comburente y combustible.



Imagen 41. Gotas de agua evaporándose sobre superficie caliente

El lugar donde se realiza la aplicación de agua también constituye un factor importante.

- **Sobre combustibles:** el agua aplicada sobre las superficies de los combustibles causa su enfriamiento y el cese de los procesos de pirólisis que incorporan gases inflamables al recinto. La cantidad apropiada de agua permitirá detener la pirólisis sin generar un exceso de vapor en el interior o escorrentía.
- **En el colchón de gases de incendio:** se produce un doble efecto (enfriamiento y dilución) del combustible y comburente que aleja la masa de gases de incendio de su punto de inflamación. La correcta aplicación de agua (caudal, tamaño y geometría del cono), permitirá que la contracción del colchón de gases sea superior a la expansión del vapor de agua, manteniendo el equilibrio térmico y la estratificación dentro del interior del recinto.
- **Superficies del recinto:** por un lado, el enfriamiento de las paredes del contorno ayuda a que la temperatura inferior se reduzca. Por otro, el vapor generado diluye los gases de incendio y contribuye a desplazarlos fuera de su punto de inflamabilidad.

5.1. EFECTO DE ENFRIAMIENTO



El efecto de enfriamiento o absorción del agua como agente extintor se produce en tres fases consecutivas a medida que se absorbe calor.

- Calentamiento del agua.
- Cambio de fase líquido-gas. Evaporación del agua líquida y formación de vapor de agua.
- Calentamiento del vapor de agua.

La cantidad de energía necesaria para que la unidad de masa eleve su temperatura un grado Celsius se conoce como calor específico (C_e). Para el agua, este valor varía ligeramente entre los 0°C y los 100°C, y adoptando como referencia su valor a 18°C.

$$C_{eH_2O} = 4,183 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

El agua no hierve inmediatamente tras alcanzar su temperatura de ebullición (100°C al nivel del mar). Una vez



Calcular la cantidad de energía absorbida al elevar la temperatura de 1L de agua de 18°C a 100°C.

$$V_{H_2O} = 1\text{L}; m_{H_2O} = 1\text{kg}; C_{eH_2O} = 4,183 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C};$$

$$E_{ab} = m_{H_2O} \cdot C_{eH_2O} \cdot \Delta T = 1 \cdot 4,183 \cdot (100 - 18) = 343 \text{ kJ}$$

Se denomina calor latente de evaporación (C_v) a la cantidad de energía necesaria para que un líquido cambie a estado gaseoso sin que haya aumento de temperatura. En el caso del agua, este valor es significativamente superior a la cantidad de energía necesaria para aumentar de 0°C a 100°C la misma cantidad de agua.

$$C_{vH_2O} = 2.257 \text{ kJ/kg}$$

alcanzado su punto de ebullición, el agua debe absorber una cantidad adicional de energía para convertirse en vapor de agua ($C_{vH_2O} = 2.257 \text{ kJ/kg}$). Esta propiedad es sin duda la que hace única al agua como agente extintor.



Calcular la cantidad de energía absorbida al elevar la temperatura de 1L de agua de 18°C a 100°C.

$$V_{H_2O} = 1\text{L}; m_{H_2O} = 1\text{kg}; C_{vH_2O} = 2.257 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{ab} = m_{H_2O} \cdot C_{vH_2O} = 1 \cdot 2.257 = 2.257 \text{ kJ}$$

Una vez en fase gaseosa, el aumento de temperatura en la masa de vapor de agua supone la absorción de energía del entorno. El calor específico del vapor de agua difiere ligeramente del valor en fase líquida.

$$C_{eH_2Og} = 4,090 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$



Calcular la cantidad de energía absorbida al elevar la temperatura de 1kg de vapor de agua de 100°C a 300°C.

$$m_{H_2O} = 1\text{kg}; C_{eH_2Og} = 4,090 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$E_{ab} = m_{H_2O} \cdot C_{eH_2Og} \cdot \Delta T = 1 \cdot 4,090 \cdot (300 - 100) = 818 \text{ kJ}$$

El efecto final de enfriamiento dependerá del lugar de aplicación:

- En **superficies** por encima de los 100°C, la cantidad de energía absorbida será igual a la energía necesaria para calentar el agua hasta su punto de ebullición, más la energía empleada en su evaporación. Una vez en forma de vapor de agua, este pasará al recinto y el efecto enfriamiento sobre las superficies será despreciable.

La cantidad de energía absorbida en una superficie por la aplicación de un litro de agua a 18°C es como máximo:

$$E_{ab} = 343 + 2.257 = 2.600 \text{ kJ} = 2,6 \text{ MJ}$$

- En el **colchón de gases**, la cantidad de energía absorbida será igual a la suma de los efectos de calentamiento hasta el punto de ebullición, evaporación y calentamiento del vapor de agua hasta la temperatura de equilibrio.

La cantidad de energía absorbida en un volumen de gases por la aplicación de un litro de agua a 18°C hasta alcanzar una temperatura de equilibrio de 300°C es como máximo:

$$E_{ab} = 343 + 2.257 + 818 = 3.418 \text{ kJ} = 3,4 \text{ MJ}$$

El gráfico indica la potencia de incendio absorbida según el caudal:

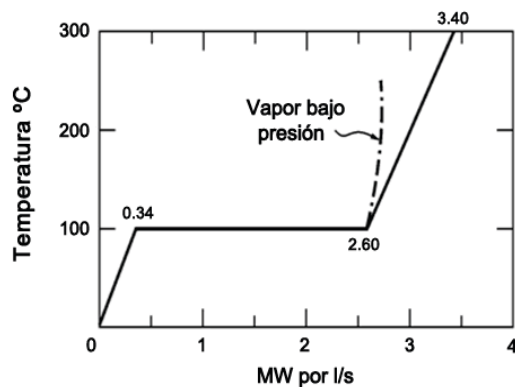


Imagen 42. Curva indicando la potencia de incendio absorbida en base al caudal

5.2. EFECTO DE DILUCIÓN

La aplicación de agua al recinto del incendio, siempre que genere vapor de agua, influye en la dinámica del incendio por el efecto de dilución del volumen de gases de combustible y comburente. En efecto, a la mezcla existente, se incorpora un tercer fluido que la desplaza alejándola del rango de inflamabilidad.

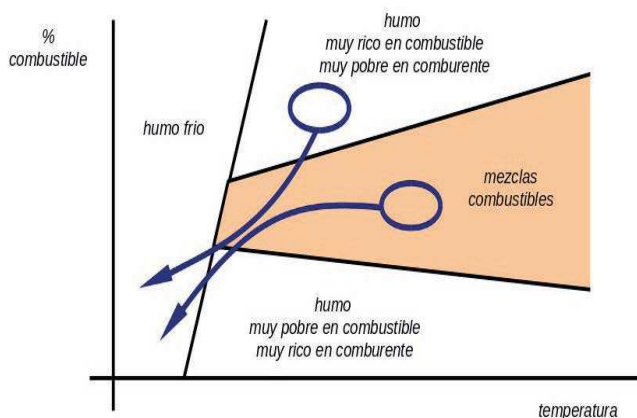


Imagen 43. Efecto de enfriamiento y dilución mediante aplicación de agua

El volumen de vapor de agua que se genera a una temperatura de 100°C es, aproximadamente, 1.600 veces mayor que el volumen original en fase líquida. A medida que la temperatura aumenta, esta expansión es aún mayor.

Tabla 5. Expansión de un 1L de agua

TEMPERATURA [°C]	volumen de vapor [l]
100	1.600
200	2.060
300	2.520
400	2.980
500	3.440
600	3.900

La aplicación de vapor de agua permitirá desplazar el oxígeno disponible.



Calcular el volumen de vapor de agua generado tras realizar cuatro pulsaciones de tres segundos con un caudal de 475LPM para conseguir una evaporación del 70% del agua aplicada, en la que la temperatura de equilibrio al final de las pulsaciones es de 200°C.

$$475 \text{ LPM} \cdot \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 7,92 \text{ LPS}$$

$$m_{H_2O} = 4 \cdot 3 \cdot 7,92 \cdot 0,7 = 66,53 \text{ kg}$$

$$V_{H_2O \text{ g}} = V_{H_2O \text{ l}} \cdot 2.060 = 66,53 \cdot 2.060 = 137.047 \text{ L} = 137 \text{ m}^3 \text{ de vapor de agua.}$$

5.3. EFECTIVIDAD EN LA APLICACIÓN DE AGUA

Es fundamental determinar la efectividad de la aplicación de agua dentro de un recinto de incendio. El agua que no llega a evaporarse, como máximo, podrá absorber la energía correspondiente al aumento de temperatura hasta su temperatura final, mientras que el agua que consiga convertirse en vapor y llegar a la temperatura de equilibrio con el recinto tendrá una absorción de energía por lo menos siete veces mayor.



Comparar la energía absorbida por el agua que logra el punto de ebullición sin llegar a evaporarse partiendo desde los 18°C y conseguir que esa misma agua alcance la fase gaseosa.

$$m_{H_2O} = 1 \text{ kg}; C_{v \text{ H}_2O} = 2257 \text{ kJ/kg}; C_{e \text{ H}_2O} = 4,183 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C};$$

$$m_{H_2O} = 4 \cdot 3 \cdot 7,92 \cdot 0,7 = 66,53 \text{ kg}$$

Agua se convierte en fase líquida

$$\rightarrow E_{ab} = m_{H_2O} \cdot C_{e \text{ H}_2O} \cdot \Delta T = 1 \cdot 4,183 \cdot (100 - 18) = 343 \text{ kJ}$$

Agua se convierte en vapor de agua

$$\rightarrow E_{ab} = m_{H_2O} \cdot C_{e \text{ H}_2O} \cdot \Delta T + m_{H_2O} \cdot C_{v \text{ H}_2O} = 343 \text{ kJ} + 2257 \text{ kJ} = 2.600 \text{ kJ}$$

$$\frac{2.600 \text{ kJ}}{343 \text{ kJ}} = 7,58$$

La absorción de energía es 7,58 veces mayor si se consigue la evaporación de agua.



Imagen 44. Secuencia comparativa del tamaño de gota por una lanza de bomberos. La mayor evaporación se va a conseguir con una gota fina propia de un cono de niebla. Chorro sólido o conos de gota gruesa tienen menor eficiencia

Minimizar la **escorrentía** permitirá realizar un uso más eficiente y eficaz del recurso agua dentro de un incendio. Los factores que influyen en que se produzca escorrentía son:

- Tamaño de gota muy grueso: una gota de agua absorbe calor a través de su superficie exterior. En una gota gruesa, la relación entre la superficie exterior y la cantidad de agua que contiene es menor que una gota fina. Esta última será capaz de absorber la energía que necesita para calentarse y evaporarse antes de impactar con el entorno.
- Distancia excesivamente reducida desde el punto de aplicación al entorno: el tiempo que tardan las gotas desde que salen del surtidor hasta que impactan con un elemento no es lo suficientemente largo como para que reciban la energía necesaria para evaporarse.
- Impacto con el entorno u objetos: cuando una gota de agua impacta con el entorno, esta reduce significativamente la temperatura de la superficie por la que se extiende. Si la temperatura de la superficie es superior a 100°C y existe suficiente transferencia de calor, la gota se evaporará. En caso contrario, se laminará o permanecerá sobre dicha superficie. Una vez que una superficie reciba las primeras gotas de agua, su refrigeración será muy rápida “al menos en su capa más externa”, y se reducirá la temperatura por debajo de 100°C, lo que evitará la evaporación de las gotas que incidieran posteriormente esa misma superficie.



Imagen 45. Gotas sobre combustible en entorno incendio

El factor escorrentía constituye uno de los factores fundamentales en la falta de efectividad de la aplicación de agua al incendio. De cara a obtener un mayor grado de eficiencia, **las técnicas de extinción que buscan la dilución de los gases** requieren la mayor transformación posible en vapor de agua pudiendo hacer uso de la evaporación de agua contra las superficies. En estos casos la efectividad en la aplicación de agua se puede medir en el porcentaje de agua que se evapora dentro del colchón de aire o por contacto con la superficie.

Sin embargo, **las técnicas basadas en el enfriamiento del colchón de gases** necesitan que la evaporación del agua se produzca mientras estas están en el aire, antes de que hagan contacto con superficie alguna. El objetivo es que la gota de agua refrigere el colchón de gases y no las superficies de modo que éste se contraiga generando el vapor de agua mínimo para que el equilibrio térmico se mantenga. En estos casos la efectividad en la aplicación de agua se puede medir en el porcentaje de agua que se evapora dentro del colchón de aire. La escorrentía y el agua que alcance superficies no será agua efectiva o incluso perjudicial. Distintos autores fijan el porcentaje de efectividad en el enfriamiento del colchón de gases con lanzas combinadas entre el 50% y el 70%, dependiendo del entorno de aplicación, del nivel de entrenamiento del personal y de otros condicionantes.

5.4. TAMAÑO DE LA GOTA

La distribución de temperatura en el recinto de incendio no es homogénea, menos aún si existe ventilación o si se ha iniciado la aplicación de agua para el enfriamiento de los gases de incendio. El bombero en punta de lanza deberá aplicar la cantidad de agua adecuada en las zonas más calientes. Para ello podrá trabajar con el selector de caudal, el ángulo de cono y el ángulo de aplicación con respecto al suelo.

Un factor fundamental en estos casos es el **tamaño de gota**:

- Para un tamaño de gota **reducido**, se dispone de un mayor tiempo en suspensión y una mejor absorción de energía debido a que la relación entre la superficie externa y la masa de agua es grande. No obstante, su alcance es menor, ya que las gotas tienen poca inercia, rozan con el medio y pronto alcanzan una velocidad horizontal nula.
- Las gotas de tamaño **grande** por el contrario, consiguen un alcance mayor (llegan a zonas más distantes); aunque tienden a caer al suelo más rápidamente y el intercambio de calor no es tan efectivo.



Para los entornos habituales de lucha contra incendios, diversos autores estiman el tamaño de gota óptimo entre 0,3mm y 0,7mm, ya que de esta forma se logra el equilibrio ideal entre alcance y capacidad de absorción de energía.

Un tamaño de gota excesivamente pequeño produce la evaporación en las inmediaciones del bombero y lo expone al vapor de agua. Un chorro sólido, por su parte, penetra evaporándose mínimamente hasta impactar con el entorno.

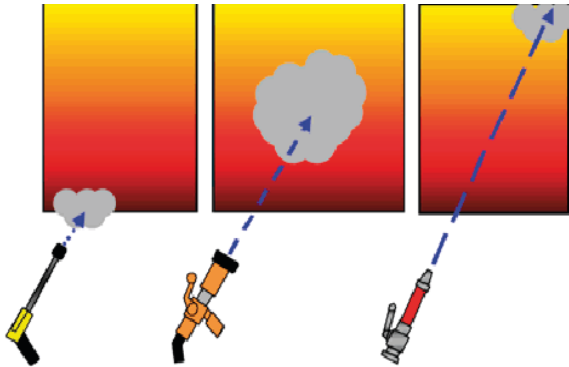


Imagen 46. Efecto del tamaño de gota en la penetración dentro de los gases de incendio. Un tamaño de gota excesivamente pequeño produce la evaporación en las inmediaciones del bombero, exponiéndolo al vapor de agua. Un chorro sólido por su parte penetra evaporándose mínimamente hasta impactar con el entorno

6. INFLUENCIA DE LA VENTILACIÓN

El control de la ventilación en un incendio resulta vital durante las operaciones de rescate y extinción. Un apropiado control de la ventilación permitirá:

- Aumentar la visibilidad.
- Reducir la temperatura en determinadas zonas.
- Controlar la potencia del incendio.
- Conducir el flujo de gases según la opción táctica más recomendable en cada momento.

Esta operación se realizará no solo controlando el volumen del flujo de entrada y salida, sino también la dirección y el camino que realizan estos flujos dentro de la propia estructura.

En esencia, la apertura de una salida de gases al exterior permitirá establecer un flujo de gases desde zonas de mayor presión (por encima del plano neutro) en el interior del recinto hacia el exterior que se encuentra a menor presión. La evacuación de gases de incendio lleva pareja la liberación de gases tóxicos a alta temperatura y combustibles con las ventajas que ello reporta.

Por otra parte, se establecerá un flujo desde el exterior hacia las zonas de menor presión en el interior (por debajo del plano neutro). Este aire fresco introduce una atmósfera limpia que permite recuperar la visibilidad, (en incendios ILV también supondrá un aumento de la potencia del incendio).



La aplicación coordinada de agua y técnicas de ventilación permitirá sacar provecho de las ventajas que aporta la ventilación, minimizando los efectos de crecimiento del incendio producidos por el aporte de oxígeno.



Imagen 47. Incendio en el que se puede identificar claramente el flujo de gases. La puerta del edificio funciona como entrada de aire y los ventanales abiertos como salida

6.1. PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA MASA

El Principio de Conservación de la Masa establece que la masa total de un sistema aislado no sufre cambios. La masa no se crea ni se destruye, pero cambia en su disposición.

Aplicado al recinto de incendio, se puede determinar que la masa de gases que abandona el recinto será igual a la masa de gases que entra en el mismo, más la cantidad de combustible que pasa a estado gaseoso.



Imagen 48. Principio de Conservación de la Masa aplicado a la ventilación de incendios

$$m_{\text{saliente}} = m_{\text{entrante}} + m_{\text{gas}}$$

Donde:

m_{saliente} = masa de gases que sale por todas las aperturas de ventilación [kg]

m_{entrante} = masa de gases que entra por todas las aperturas de ventilación [kg]

m_{gas} = masa combustible en el interior que se convierte en gas [kg]

En general, a lo largo de las distintas fases de incendio, el valor de la masa de combustible que se gasifica (m_{gas}) no excede del 10%, por lo que es frecuente emplear la aproximación de igualar la masa de gases que sale a la que entra dentro del incendio. Si bien esto es cierto para la cantidad de masa, no lo es para el volumen de los gases. Los gases de incendio a altas temperaturas disminuyen su densidad generando un volumen de gases mayor que los de entrada, fríos y densos.

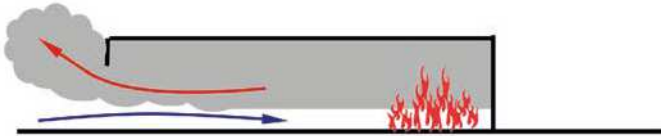


Imagen 49. El flujo de salida, a mayor temperatura, se dilata y requiere una mayor superficie para salir que el de entrada, frío y denso, para entrar

Es frecuente ver incendios con una sola apertura al exterior donde se genera un flujo de entrada y otro de salida en la misma apertura (flujo bidireccional) en los que, aparentemente, la salida de gases es mucho más notoria que la entrada, por lo que se establece un plano neutro muy bajo. Efectivamente, el volumen de los gases que salen es mayor que el de entrada, pero la cantidad de masa que entra y sale es casi idéntica.

6.2. ECUACIÓN DE BERNOULLI

Como se ha visto en la segunda parte de este manual, en el apartado de Hidráulica, la ecuación de Bernoulli es una formulación del principio de conservación de la energía en conducciones de fluidos ideales (no turbulentos e incompresibles) y supone una aproximación más que razonable al movimiento del flujo de gases de un incendio.

Establece que entre dos puntos de un fluido en movimiento se cumple:

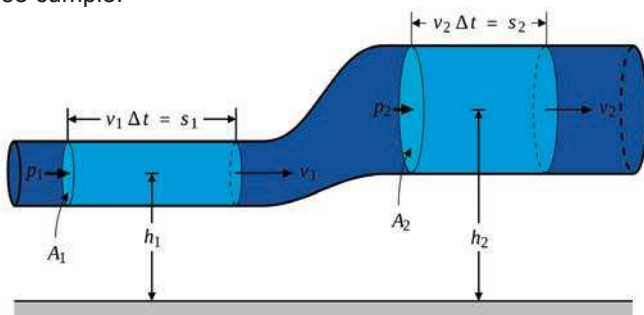


Imagen 50. Esquema de una conducción para la aplicación de la Ecuación de Bernoulli

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

Donde:

P = presión estática [Pa] [N/m²]

ρ = densidad del fluido [kg/m³].

g = aceleración de la gravedad g = 9,81 m/s²

h = altura sobre un plano de referencia [m]

v = velocidad del fluido [m/s]

La aplicación de esta ecuación para el estudio de la ventilación y el movimiento de fluidos de un incendio permite entender cómo es la diferencia de presiones que genera un movimiento de fluidos.

Entre los puntos 1 y 2:

$$P_1 + \rho_1 gh_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = P_2 + \rho_2 gh_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2}$$

Si los puntos 1 y 2 están a la misma altura y el fluido tiene la misma densidad:

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Entre los puntos 1 y 2 la suma de los términos de presión estática (P) y presión dinámica ($\rho v^2/2$) permanece constante, por lo que cualquier diferencia de presión existente ($\Delta P = P_2 - P_1$) implicará una diferencia de velocidades ($\Delta v = v_2 - v_1$) y, por tanto, el movimiento del flujo.



Ejemplo Calcular el caudal de gases que salen por una ventana de 1,1m² cuando se coloca un ventilador de presión positiva en la puerta del edificio y se logra alcanzar una sobrepresión de 25Pa en su interior. No se consideran los efectos del incendio para el cálculo.

Si no existe "efecto incendio", la presión de 25Pa en el interior del recinto se distribuye uniformemente y no existirá gradiente de presiones debido a diferencias de temperatura. Se trata de un movimiento de flujo frío.

Tomando el punto 1 en una sección del recinto lo suficientemente amplia como para que la velocidad sea prácticamente nula ($v_1=0$) y un punto 2 en la sección de la ventana donde la velocidad será máxima y la presión estática equivalente a la del exterior.

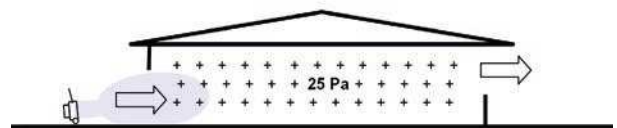


Imagen 51. Presión de 25 Pa en interior de un recinto

$$P_1 = 25 \text{ Pa}; v_1 = 0 \text{ m/s}; P_2 = 0 \text{ Pa}; \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$25 + 0 = 0 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot 25 / 1,2} = 6,45 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot v = 1,1 \cdot 6,45 = 7,1 \text{ m}^3/\text{s} = 25.562 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.3. CAUSAS DE LA MOVILIDAD DE GASES DE INCENDIO: FLOTABILIDAD Y DIFERENCIAS DE PRESIÓN

Los gases de incendio, el aire fresco y el vapor de agua que las operaciones de extinción generan en el interior de un recinto constituyen fluidos cuya dinámica atiende básicamente a dos causas:

- Efecto de flotabilidad.
- Diferencias de presión entre el interior y el exterior de un recinto.

El **efecto flotabilidad** de un fluido está vinculado directamente con la densidad del mismo. Una masa de un fluido menos denso que el que lo rodea, recibe en su cara inferior una presión mayor por parte del medio circundante que la que recibe en su cara superior, razón por la que tiende a flotar.

Las **diferencias de densidad** se pueden deber a dos motivos:

- Diferente composición química, como el caso de los dirigibles llenos de Helio ($0,18\text{kg/m}^3$) que flotan en una atmósfera mucho más densa formada por el aire ($1,2\text{kg/m}^3$).
- Diferente temperatura y, por tanto densidad, como sería el caso de los globos aerostáticos de aire caliente.



Dentro de un incendio, el efecto flotabilidad se debe, a la diferencia de temperatura, ya que el componente principal del aire, el nitrógeno, se mantiene en los gases de incendio en una proporción muy similar.

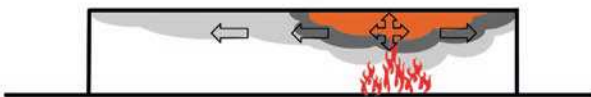


Imagen 52. Efecto de flotabilidad de los gases de incendio



Calcular el efecto de flotabilidad de los gases de incendio a 500°C asumiendo que a temperatura ambiente tendrían la misma densidad que el aire ($1,2\text{kg/m}^3$).

$$\rho_{\text{aire } 20^\circ\text{C}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow$ Ley de los Gases Ideales

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \text{Relación entre volumen y temperatura a presión constante}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho_2 = \frac{m}{V_2} = m \cdot V_1 \cdot \frac{T_1}{T_2} = \rho_1 \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

$$\rho_{500^\circ\text{C}} = \frac{273 + 20}{273 + 500} \cdot \rho_{20^\circ\text{C}} = 0,46 \text{ kg/m}^3$$

Efecto flotabilidad $1 \text{ m}^3 = (\rho_{500^\circ\text{C}} - \rho_{20^\circ\text{C}}) \cdot g = (1,2 - 0,46) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 7,25 \text{ N}$
 \rightarrow Un metro cúbico de gases de incendio a 500°C tiene una flotabilidad de $7,25 \text{ N}$ ($\sim 0,74 \text{ kgf}$).

Dentro de un recinto de incendio se producen diferencias de presión entre las distintas estancias del edificio y también con el exterior como consecuencia de las diferencias de temperatura de los gases de incendio. La salida de gases hacia el exterior también implica cambios en la presión interior. El empleo de ventiladores de presión positiva o extractores de gases supondrá la creación de un diferencial de presión. Los fluidos se desplazarán de zonas de mayor presión a zonas de menor presión siguiendo el camino más corto (de máximo gradiente).

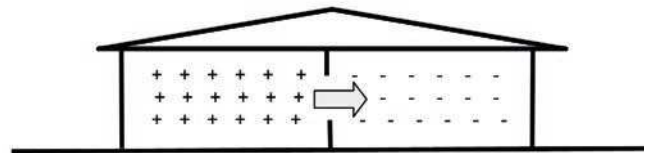


Imagen 53. Flujo de zonas de mayor presión a zonas de menor presión

El flujo de gases tenderá a igualar la diferencia de presión presiones creada por:

- Las diferencias en densidad debido a la temperatura de los gases.
- Agentes externos (viento o ventiladores de presión positiva) que incidan sobre aperturas del recinto al exterior.

Sin embargo, en el recinto de un incendio, este movimiento de los fluidos hacia zonas de menor presión se ve condicionado también por el efecto de flotabilidad de los gases. Si el movimiento de los gases simplemente obedeciese a los diferenciales de presión, las capas superiores del colchón de gases (a mayor presión) se intentarían desplazar a las zonas más bajas por debajo del plano neutro (presiones menores). Esto, en la realidad, no ocurre por el efecto de flotación de los gases de incendio a mucha temperatura y, por tanto, baja densidad.

6.4. IDENTIFICACIÓN DE FLUJOS DE GASES

En todo incendio no confinado (donde existen aperturas de ventilación al exterior), se produce un movimiento de gases que abarca la alimentación de aire al incendio y los gases de incendio producidos. Este volumen es el denominado flujo de gases. En él se podrá identificar claramente una ruta de gases fría desde la entrada de ventilación hasta el foco del incendio y una ruta de gases caliente formado por los gases de incendio en busca de la salida.

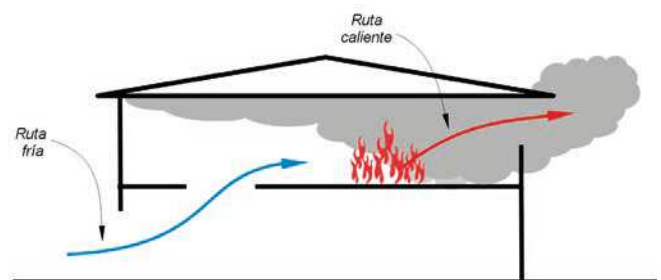


Imagen 54. Flujo de gases unidireccional generado por el incendio

Tabla 6. Flujo de gases

Ruta fría	Ruta caliente
- Buena visibilidad.	- Baja visibilidad.
- Baja temperatura.	- Alta temperatura.
- Alta concentración de oxígeno (aumento de potencia en ILV).	- Alta concentración de gases tóxicos.
- Buenas condiciones de supervivencia.	- Gases potencialmente inflamables.
	- Condiciones de supervivencia críticas.

La masa de aire en movimiento (kg/s), en cualquiera de las secciones del denominado flujo de gases, es semejante en virtud del Principio de Conservación de la Masa expuesto anteriormente. Sin embargo, el volumen (m³/s) variará y será mayor en el flujo de gases calientes donde la misma masa de gases a alta temperatura ocupa mayor volumen.



Por su parte, en los incendios confinados no existe el denominado flujo de gases. La ausencia de aperturas al exterior impide la alimentación del incendio con aire fresco y la expulsión de gases de incendio. Sí bien si existe un movimiento de fluidos en el interior alimentado por la columna de convección que origina el foco del incendio.

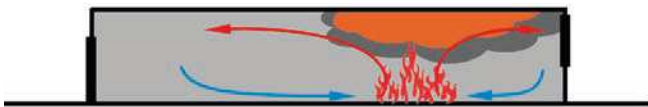


Imagen 55. Movimiento de fluidos dentro de un incendio confinado

6.5. FLUJOS UNIDIRECCIONALES

Cuando se produce una apertura de ventilación situada claramente por encima o por debajo del plano neutro, se conforma un flujo unidireccional en dicha apertura: de entrada, si se sitúa por debajo del plano neutro (zona de presiones negativas), y de salida, si se sitúa por encima del plano neutro (zona de presiones positivas).

Para que se produzca un flujo unidireccional es necesaria la existencia de, al menos, dos aperturas; una de entrada y otra de salida bien diferenciadas.

Los flujos unidireccionales son típicos en incendios ventilados de forma natural en los que la alimentación y salida de gases se realiza a distintos niveles, mediando una diferencia de altura que contribuye a favorecer la diferencia de presión.

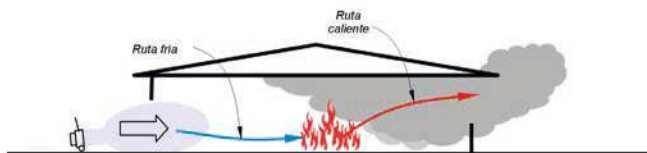


Imagen 56. Flujo unidireccional en un incendio establecido gracias a un ventilador VPP



Las técnicas de ventilación en presión positiva (VPP) consiguen generar flujos unidireccionales utilizando entradas y salidas por las que, de forma natural, no se establecerían flujos unidireccionales. De hecho, la VPP constituye una de las maneras más efectivas de asegurar un flujo de gases unidireccional que facilite las operaciones interiores.

6.6. FLUJOS BIDIRECCIONALES

Los flujos bidireccionales se forman en aperturas de ventilación cuya altura abarca zonas que se sitúan por encima y por debajo del plano neutro. De esta forma, en el área situada por encima del plano neutro se generará un flujo de salida de gases mientras que, por debajo del mismo, el flujo será de alimentación.

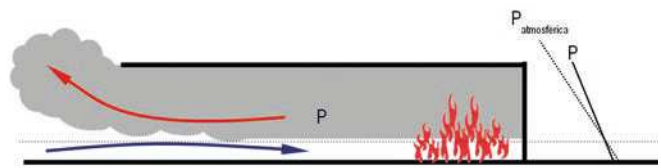


Imagen 57. Flujo bidireccional junto a una representación de la variación de los valores absolutos de presión atmosférica (línea de puntos) y presión interior (línea continua) con respecto a la altura



Imagen 58. Flujo bidireccional en incendio

6.7. PATRONES DE VENTILACIÓN

Si se analiza cómo se genera el flujo de gases en un incendio, se encontrarán diversos patrones de ventilación:

a) Antiventilación

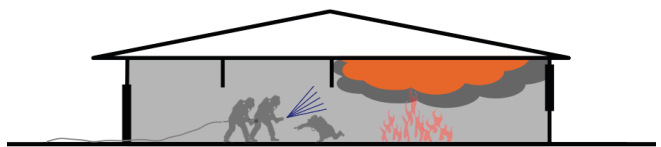


Imagen 59. Incendio en antiventilación

El incendio está confinado. Por tanto, no existe una ventilación efectiva y el flujo de gases es inexistente. Esto no quiere decir que dentro del recinto de incendio no exista movimiento de gases. Lo habrá generado la convección originada en el foco del incendio.

Cuando estos incendios alcanzan su régimen de ILV, la concentración de oxígeno cae sin que haya posibilidad de aporte de oxígeno adicional. La potencia del incendio se reduce aproximándose a cero.

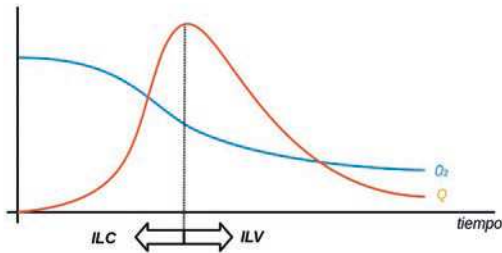


Imagen 60. Evolución de la concentración de oxígeno y la potencia de incendio a lo largo del desarrollo de un incendio. Claramente puede apreciarse como la caída de la potencia del incendio está vinculada al déficit de oxígeno



Los incendios ya desarrollados con un patrón de antiventilación presentan un plano neutro muy bajo, una visibilidad casi nula y unas condiciones de supervivencia para las víctimas desfavorables.

b) Ventilación natural

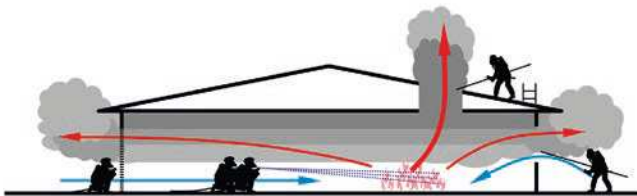


Imagen 61. Ventilación natural en cubierta

En un incendio no confinado hay aperturas por las que se establecerán flujos unidireccionales de entrada o salida o aperturas por las que se establecerán flujos bidireccionales. En estos casos, el motor del flujo de gases lo constituye el diferencial de presiones existente entre el interior del recinto y el exterior.

La potencia del incendio, una vez alcanzado el régimen de ILV, dependerá del tamaño y geometría de las aperturas existentes; algo que, en última instancia, determinará el volumen de oxígeno que alimenta el incendio. Si la ventilación y la carga de combustible son suficientes, los incendios con este patrón de ventilación pueden alcanzar el *flashover*.



Los incendios con ventilación natural pueden presentar una estratificación clara con una zona de visibilidad en la parte baja mantenida por el flujo de alimentación de aire fresco. Mantener este equilibrio térmico dentro del recinto durante la intervención favorecerá la visibilidad durante las operaciones interiores.

c) Incendios dominados por el viento

La influencia del viento en un incendio con aperturas al exterior tiene gran relevancia. La fachada en **barlovento** está sometida en toda su superficie a una presión mientras que la fachada a **sotavento** experimenta una depresión. Estas variaciones de presión pueden gobernar el flujo de gases de un incendio. A velocidades de viento de tan solo 6m/s (21 km/h) la diferencia de presión entre fachadas opuestas de un edificio en el sentido de la dirección del viento genera presiones en el entorno de los 25-30Pa superiores, en muchos casos, a las que se consiguen en un incendio durante la mayor parte de su desarrollo.



Imagen 62. Incendio dominado por el viento

El viento genera incendios sobrealimentados, esto es, incendios con un aporte adicional de aire a través de ventanas expuestas al viento y salida de gases en distinta fachada. Este flujo de gases caliente favorece la propagación a lo largo del flujo de gases caliente.

En caso de existir acumulación previa de gases de incendio (rotura sobrevenida de una ventana), el régimen turbulento del aire que penetra por la ventana favorece la mezcla de aire y gases de incendio que, después, se inflaman en una combustión casi completa a lo largo del flujo de gases. Esto genera un salto de potencia en el incendio y un flujo de gases extremadamente calientes que propaga el incendio.

Los incendios dominados por el viento generan flujos de gases menos intuitivos que los producidos en incendios con ventilación natural, además de aumentos de potencia muy significativos. Son característicos de los incendios dominados por el viento, los flujos unidireccionales a lo largo de la dirección del viento y humos claros de combustión casi completa como consecuencia de la abundancia de oxígeno (efecto antorcha).



En incendios dominados por el viento, es absolutamente desaconsejable el acceso interior a lo largo del flujo de gases calientes.

d) Incendios bajo ventilación por presión positiva (VPP)

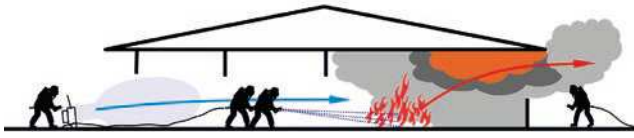


Imagen 63. Incendio bajo la influencia de la VPP

El empleo de ventiladores de presión positiva (como una opción táctica para la extinción) genera una masa de aire en movimiento que penetra, presuriza el interior del recinto y establece un flujo de gases unidireccional a través del recinto del incendio.

Una aplicación correcta de esta táctica permitirá recobrar la visibilidad, reducir la temperatura, aumentar la supervivencia de víctimas en el interior y expulsar con rapidez los gases de incendio acumulados ricos en productos combustibles. Sin embargo, el aporte de aire fresco generará un aumento en la potencia del incendio “algunos autores lo cifran hasta en un 60% según experimentos reales” que dependerá de la efectividad con la que se realice el barrido de gases y el nivel de turbulencias.



Dado que los ILV sometidos a ventilación de presión positiva a través del recinto del incendio pueden experimentar un importante aumento en su potencia, la ventilación debe coordinarse con las labores de extinción mediante aplicación de agua.

Como en el caso de los dominados por el viento, estos incendios pueden considerarse sobrealimentados y el acceso debe realizarse en la dirección del flujo de gases (aire fresco a la espalda siempre). Se distinguen en que el flujo de gases se establece por el mando de intervención basándose en una opción táctica con objeto de permitir un rápido avance interior para la aplicación de agua sobre el incendio.

El empleo de la VPP a través del foco del incendio favorece la extinción de dos maneras:

- **Efecto barrido:** se produce como consecuencia de la distinta densidad entre el aire introducido y los gases de incendio que, sin apenas mezclarse, genera un empuje o efecto pistón por el que se produce el barrido de los gases de incendio con aire limpio. Esto contribuye a la expulsión de combustible y a recuperar la visibilidad.
- **Enfriamiento y dilución:** en zonas de mezcla donde existe turbulencia, el aire fresco contribuye a diluir y enfriar la masa de gases de incendio. La inflamabilidad de los gases de incendio es particularmente sensible a esta bajada de temperatura y dilución que se genera.

A pesar de haber zonas en las que el efecto de barrido o los efectos conjuntos de enfriamiento y dilución aseguren que los gases estén fuera de su punto de inflamabilidad, otras zonas, sin embargo, encontrándose en rango y temperatura de inflamabilidad pueden entrar en combustión y aumentar así la potencia del incendio.



El empleo de la ventilación como elemento táctico debe quedar siempre coordinado con las labores de extinción mediante la aplicación de agua.

7. INFLUENCIA DE LA PRESURIZACIÓN DE RECINTOS

7.1. PRESIONES EN EL RECINTO DE INCENDIO

El efecto flotabilidad explica las diferencias de presión dentro de un recinto de incendio, consecuencia de las diferencias de presión hidrostática (término pgh en la ecuación de Bernoulli).

Para un punto dentro del recinto del incendio, la columna de gases calientes por encima del mismo es más ligera que la columna de gases fríos de un punto externo y genera una diferencia de presión.

Los siguientes gráficos explican la variación de la presión dentro de un incendio interior con apertura al exterior a lo largo de las distintas fases de desarrollo. En donde:

P_i = presión en el interior.

P_o = presión atmosférica.

H_r = altura a la capa de gases de incendio.

Y_N = altura del plano neutro

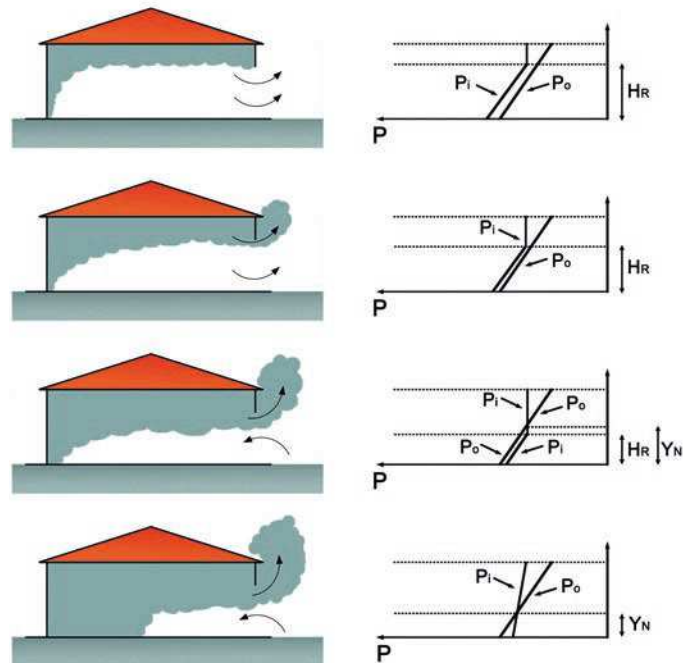


Imagen 64. Variación de la presión dentro de un incendio interior con apertura al exterior a lo largo de las distintas fases de desarrollo

La presión atmosférica P_o varía con la altura. Así, la presión aumenta a medida que la columna de aire situada encima de un punto es de mayor altura. Para la presión en el interior del recinto (P_i) ocurre lo mismo. Sin embargo, la columna encima de un punto de incendio pesa menos porque los gases están dilatados por efecto de la temperatura.

Hablar de presiones absolutas (P_i y P_o) tiene poco sentido pues el flujo de fluidos estará definido por la diferencia de presiones ($\Delta P = P_i - P_o$). En adelante, se hablará siempre de diferenciales de presión.



Calcular la diferencia de presión generada por un incendio ventilado a 1,5m por encima del plano neutro entendiéndose que la temperatura media del colchón de gases es de 500°C.

Sea el punto 1 en el interior del recinto a 2,5m de altura sobre el plano neutro y el punto 2 situado a la misma altura en el exterior ($h_1 = h_2 = 2,5$). Se pueden tomar secciones del recinto lo suficientemente anchas como para poder despreciar la velocidad de los gases ($v_1 = v_2 = 0$).

$\rho_1 = 0,46 \text{ kg/m}^3$ (densidad de gases de incendio aproximada a la densidad aire a 500°C)
 $\rho_2 = 1,2 \text{ kg/m}^3$ (densidad del aire a 20°C)
 $h_1 = h_2 = 2,5$; $v_1 = v_2 = 0$

$$P_1 + \rho_1 g h_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = P_2 + \rho_2 g h_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2}$$

$$P_1 + \rho_1 g h_1 = P_2 + \rho_2 g h_2$$

$$P_1 + 0,46 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = P_2 + 1,2 \cdot 9,81 \cdot 2,5$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 1,2 \cdot 9,81 \cdot 2,5 - 0,46 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = 18,14 \text{ Pa}$$

Dentro de un incendio, existe un gradiente de temperaturas que, a su vez, genera otro de presiones. En un recinto de vivienda habitual, para un incendio ventilado en su fase de pleno desarrollo, los valores típicos de diferencial de presión ($P_i - P_o$) varían desde los -15Pa en la zona inferior hasta +30Pa. Nótese que la gráfica representa valores para los diferenciales de presión y no de presión absoluta como en la figura anterior, por ello la línea vertical no representa la presión atmosférica, sino un diferencial cero entre el exterior y el interior.

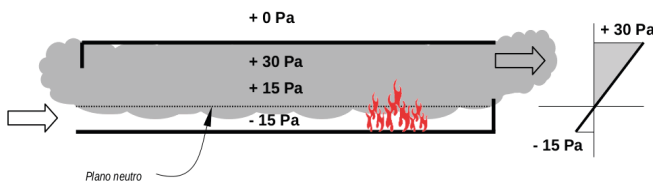


Imagen 65. Distribución de diferenciales de presión con la altura en un incendio de interior ventilado

Sin embargo lo común será encontrar incendios confinados que evolucionan en la mayoría de los casos en incendios infraventilados donde el valor de la presión varía a lo largo del tiempo en base al desarrollo del mismo.

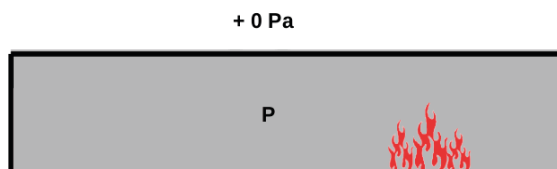


Imagen 66. Presión en incendio confinado

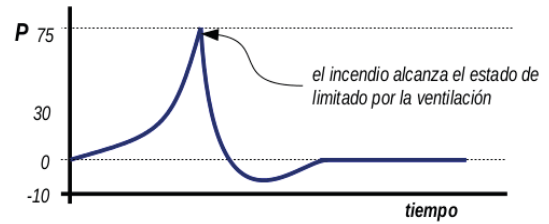


Imagen 67. Un incendio confinado puede experimentar presiones negativas en su interior. Como consecuencia desaparecen signos externos de la presencia de humo



Un incendio confinado puede experimentar presiones negativas en su interior y no presentar humo como signo externo. En este sentido, es necesario tener presente que la ausencia de humo a la llegada a un siniestro no equivale a la ausencia de incendio, sino quizás a un incendio listo para reaccionar frente a la ventilación.

Mientras el diferencial de presión sea positivo, durante el reconocimiento exterior, pueden aparecer penachos de humo saliendo al exterior por pequeñas rendijas y aperturas. Sin embargo, una vez alcanzado el estado de ILV, la presión cae hasta ser negativa para después igualarse, con lo que desaparecerán signos externos de humo.

Los recintos sometidos a los efectos del viento o de ventiladores de presión positiva sufren un aumento de presión en la totalidad del volumen. El principio de Pascal establece que la presión ejercida en un punto sobre un fluido se transmite con igual magnitud en todo su volumen.

En un recinto habitual, sin incendio, los valores de diferencial de presión típicos generados por un ventilador de presión positiva de 18"-21" varían entre los 15Pa y 30Pa dependiendo de las geometrías de la entrada y salida de gases.

Cuando el efecto del viento del ventilador de VPP se añade al incendio se producirá una composición de presiones resultado de superponer esta última configuración con la obtenida para un incendio ventilado.

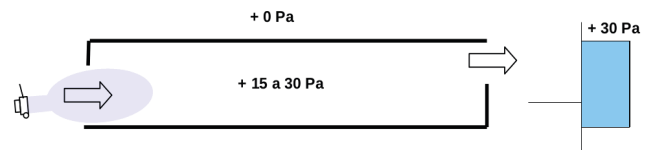


Imagen 68. Distribución de diferenciales de presión en un recinto sometido a ventilación VPP

Cuando el efecto del viento del ventilador de VPP se añade al incendio se producirá una composición de presiones resultado de superponer esta última configuración con la obtenida para un incendio ventilado.

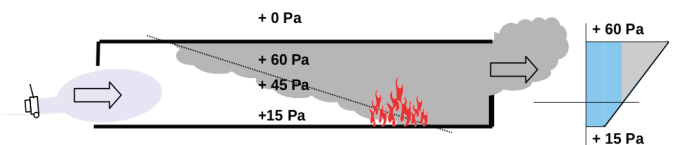


Imagen 69. Distribución de diferenciales de presión en un recinto de incendio sometido a ventilación VPP

Sin embargo, a lo largo del flujo de gases, las partículas están en movimiento. La suma de la presión estática (P) y presión dinámica ($\frac{1}{2} \rho v^2$) es constante (en virtud de la ecuación de Bernoulli). Por ello, a lo largo del flujo de gases se produce una caída de presión proporcional al cuadrado de la velocidad con la que se mueve el flujo.

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho; h_1 = h_2; v_1 = 0$$

$$P_1 + \rho_1 g h_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = P_2 + \rho_2 g h_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2}$$

$$P_1 = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$\Delta v = v_2 - v_1 = v_2$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = -\frac{\rho \Delta v^2}{2}$$

La diferencia de velocidad entre las partículas en reposo y las que constituyen el flujo de gases supone que estas últimas experimenten menores presiones estáticas.

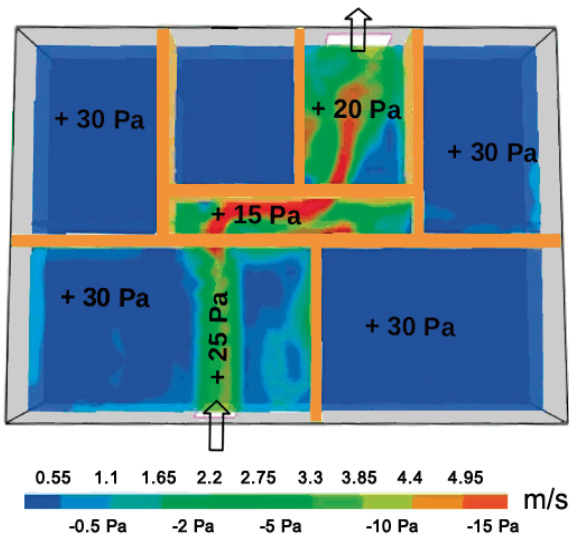


Imagen 70. Distribución de diferenciales de presión y velocidades a lo largo del flujo de gases en un recinto ventilado

7.2. EFECTOS SOBRE LA PROPAGACIÓN DEL INCENDIO

Diversos experimentos han demostrado que la **presurización** de un recinto adyacente al incendio evita la propagación hacia este. Los gases de incendio buscarán preferentemente la salida que suponga la mayor caída de presión, el camino más corto desde la máxima presión a la mínima presión. Diferenciales de presión relativamente pequeños (5 Pa) permiten evitar la propagación, incluso existiendo pequeñas aperturas entre el recinto de incendio y el adyacente.



Este principio es el empleado en tácticas como el ataque en presión positiva contra la propagación, donde el mando de intervención protege las zonas no afectadas del incendio mediante la sobrepresión generada por un ventilador de presión positiva.

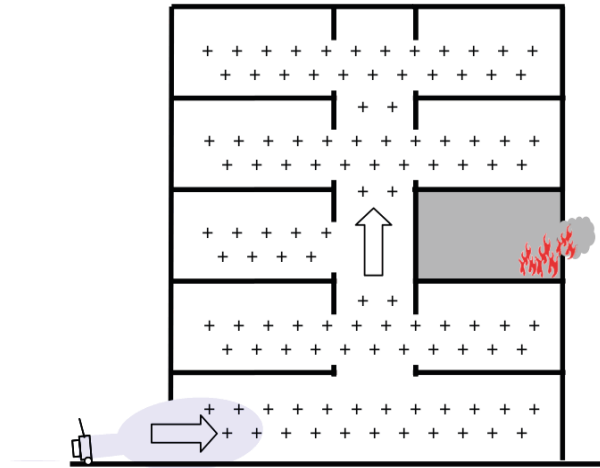
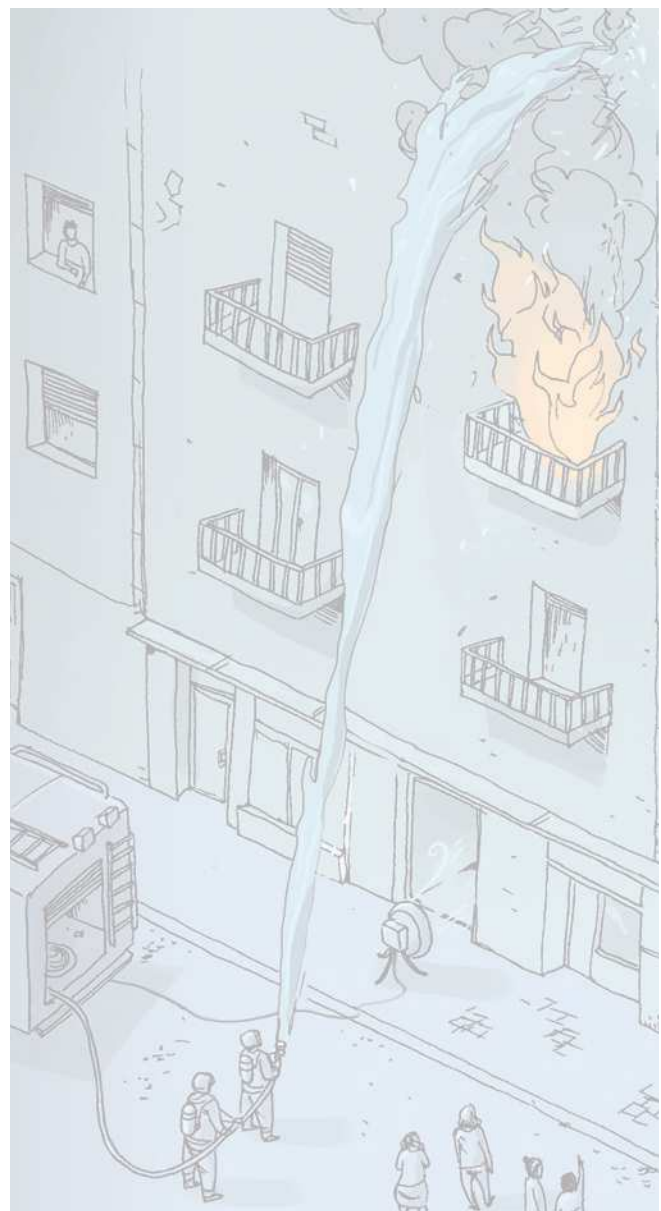
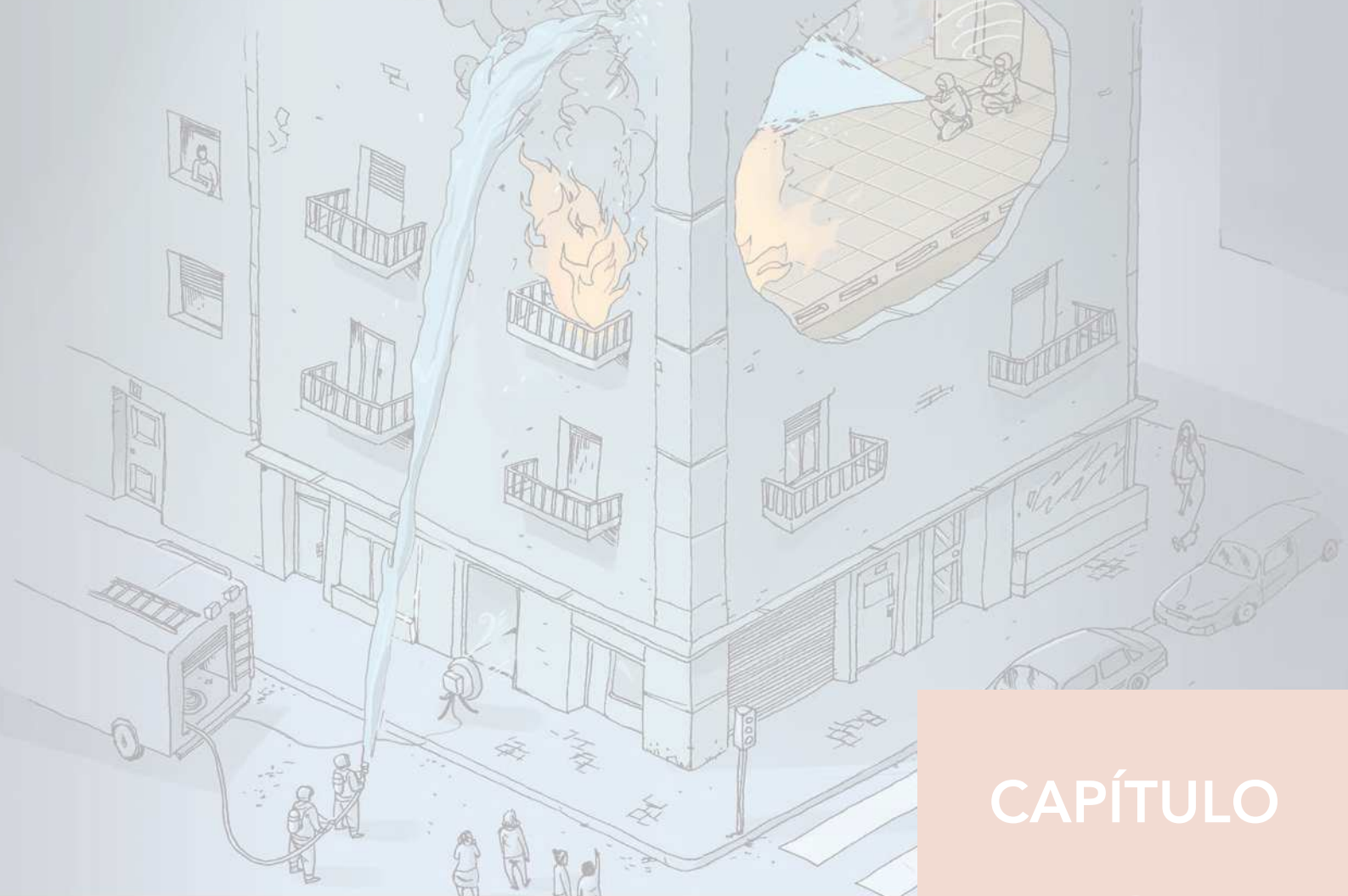


Imagen 71. Presurización de un bloque de viviendas para evitar la propagación y dispersión de gases. Obsérvese que el recinto permanece lo más cerrado posible para evitar pérdidas de flujo y por tanto de presión interior





CAPÍTULO

2

Técnicas de intervención

Las técnicas de intervención en incendios de interior constituyen el conjunto de acciones y procedimientos que persiguen:

- Reducir la inflamabilidad de los gases de incendio.
- Reducir la tasa de pirólisis de los combustibles.
- Reducir la temperatura del recinto.
- Aumentar la visibilidad en el interior del recinto.
- Mejorar la respirabilidad de la atmósfera.
- Rastrear la presencia de víctimas en el interior.

Dentro de una intervención de incendios de interior, el mando de intervención, tras realizar una valoración de la situación de siniestro establecerá un planteamiento táctico que empleará diversas técnicas de forma coordinada para conseguir la resolución completa del incidente.

En este apartado se tratan de manera individual cada una de estas técnicas con un enfoque aislado, fijando la atención en los objetivos, base técnica, riesgos, medidas de seguridad y correcta ejecución de las mismas.



Desde el punto de vista de la intervención, el dominio de un mayor número técnicas supone disponer de mayores recursos para afrontar la intervención, la posibilidad de poder emplear tácticas más complejas y que en definitiva se traduce en intervenciones más seguras, más eficientes y más eficaces.

1. APLICACIÓN DE AGUA

La aplicación de agua a un incendio nos permite cambiar la dinámica del mismo generando un efecto de enfriamiento por absorción de calor y una dilución de los gases de incendio con el vapor de agua generado.

No solo es necesario aprender la manera en que se ejecuta una determinada técnica, también es preciso saber cuándo y por qué se realiza. Así, conocer la base del funcionamiento de la aplicación de agua en incendios (recogido en el punto Influencia de la aplicación de agua sobre incendios) es fundamental para su correcta utilización.

1.1. ATAQUE INDIRECTO

La técnica de ataque indirecto persigue la extinción del incendio mediante la inundación del recinto con vapor de agua desde un punto exterior. Se denomina ataque indirecto debido a que el chorro de la aplicación no llega a alcanzar de forma directa el foco del incendio.

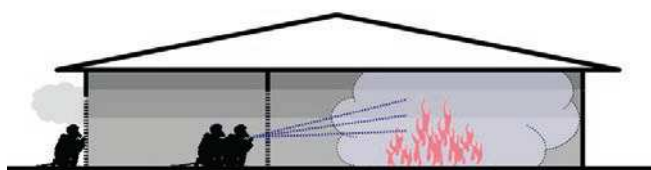


Imagen 72. Ataque indirecto



Imagen 73. Ataque indirecto. El bombero mueve la lanza para inundar el interior del recinto con vapor de agua

Tabla 7. Características del ataque indirecto

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • Permite un ataque al recinto del incendio desde una posición segura (interior o exterior) sin que los intervinientes se vean expuestos a los riesgos de las condiciones del recinto interior. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida completa de la visibilidad al inundarse el recinto con vapor de agua. • Posibles quemaduras por exceso de vapor de agua en caso de que se hallen víctimas en el interior. • Desplazamiento de los gases de incendio empujados por el vapor de agua a otras estancias.



Imagen 74. Clásico ejercicio en "casa de muñecas". La aplicación del spray de agua al interior desplaza los gases de incendio al exterior que se inflaman al contacto con el aire

Descripción del proceso

- Desde un punto exterior y a través de una apertura (puerta o ventana), el bombero en punta de lanza realizará una aplicación de agua relativamente prolongada hasta conseguir **llenar el recinto con vapor de agua**. Como en cualquier técnica de aplicación de agua la aplicación de agua debe realizarse en base a las condiciones del incendio y la geometría del recinto.

- Dado que el objetivo es inundar el recinto de vapor de agua, se buscará bastante profundidad en el chorro con patrones de cono bastante cerrados, intervalos de aplicación de media a larga duración y caudal medio a alto.
- El impacto de las gotas de agua contra las paredes del entorno en esta técnica tienen un efecto menos negativo que en otras técnicas. Si bien la mayor parte de la absorción de calor se realizará en la pared y no en el colchón de gases de incendio, el vapor de agua permanecerá en el recinto. En cualquier caso **será preferible que la evaporación de agua se produzca en el colchón de gases**, ajustando el caudal, penetración y tamaño de gota a dicho objetivo.
- Al tratarse de una aplicación de media a larga duración, el chorro aplicado deberá describir un movimiento. **Los patrones en “T” son preferibles durante las primeras pulsaciones** o cuando el recinto está sometido a un fuerte gradiente térmico. El punta de lanza describe una T en tres tiempos: dos en la zona horizontal superior y un tercero en la vertical central empezando por la parte superior. De esta manera, se aplica una mayor cantidad de agua en la zona más caliente del recinto: el colchón de gases de incendio.

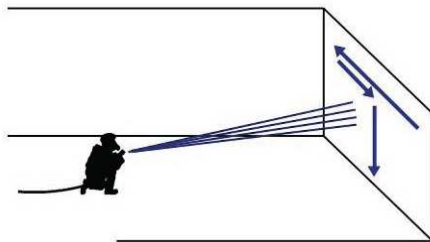


Imagen 75 : Ataque indirecto con patrón en “T”

- **En aplicaciones sucesivas o en recintos amplios** puede ser mas conveniente un patrón en “O”, moviendo circularmente el chorro una circunferencia completa

en el tiempo establecido para una pulsación de modo que el vapor de agua quede mejor distribuido por todo el recinto.

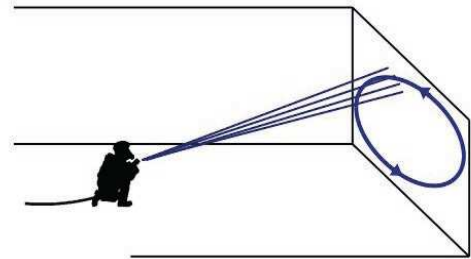


Imagen 76. Ataque indirecto con patrón en “O”

- Tras cada aplicación debe realizarse un **tiempo de reposo** que permita al vapor de agua redistribuirse por todo el recinto y alcanzarse un equilibrio térmico. Este tiempo permitirá evaluar la efectividad de la aplicación de agua realizada y modificar los parámetros necesarios de cara a la siguiente.



En un recinto confinado de 5x5m de planta y 2,5m de altura, calcular el volumen de agua líquida necesaria para inundar el recinto completo de vapor de agua a una temperatura de equilibrio de 200°C.

$$V_{H_2O g} = 5 \times 5 \times 2,5 = 62,5 \text{ m}^3 = 62.500 \text{ L}; T_2 = 200 \text{ }^\circ\text{C} = 473 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$C_{exp 200^\circ\text{C}} = 2.060 \text{ (coeficiente de expansión a } 200 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$V_{H_2O l} = V_{H_2O g} \times C_{exp 200^\circ\text{C}}$$

$$V_{H_2O l} = \frac{V_{H_2O g}}{C_{exp 200^\circ\text{C}}} = \frac{62.500}{2.060} = 30,3 \text{ L}$$

Respuesta: 30,3L de vapor de agua son suficientes para inundar el recinto (equivalente a dos pulsaciones de 6” a 150lpm con una efectividad de aplicación del 100%)

Tabla 8. Ataque indirecto

Objetivo	Extinción. Inundación mediante vapor de agua.	
Ejecución	Posición	Interior o exterior. Personal fuera del recinto donde se aplica
	Caudal	Medio a alto (100lpm a 500lpm)
	Cono	15° a 30°
	Patrón de pulsaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Pulsaciones de media a larga duración (3” a 20”) • Periodos de pausa relativamente largos de entre (15” y 45”) que permitan la distribución del vapor de agua
	Movimiento de lanza	<ul style="list-style-type: none"> • En “T” para recinto con fuerte gradiente térmico o como primera pulsación • En “O” para grandes volúmenes o aplicaciones sucesivas • La lanza se moverá a velocidad constante • Comenzará el movimiento en la parte superior
Consideraciones de seguridad:	<ul style="list-style-type: none"> • Valorar la aplicación de Ataque Indirecto con presencia de víctimas en el interior: si bien el vapor de agua puede contribuir a empeorar las condiciones de supervivencia por su efecto de conducción de calor, se deberá valorar si las condiciones del incendio sin Ataque Indirecto no serán aún peores para la víctima. • Ausencia de personal de intervención en el interior del recinto a inundar de vapor de agua. • Controlar el desplazamiento de gases de incendio a otras estancias donde, en contacto con el aire, pueda entrar en rango de inflamabilidad e inflamarse o, simplemente, llenar de humo estancias limpias. 	

1.2. ATAQUE DIRECTO

El ataque directo es una técnica que persigue la extinción del incendio mediante la aplicación de una película de agua sobre los combustibles incendiados. Se denomina ataque directo debido a que el chorro de la aplicación alcanza de forma directa el foco del incendio.

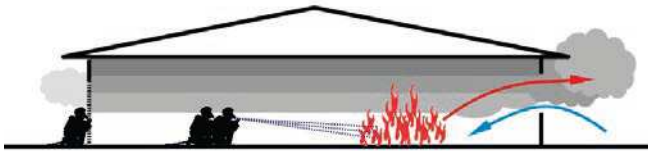


Imagen 78. Ataque directo



Imagen 79. Ataque directo en un incendio exterior

La extinción del incendio se debe a los efectos de enfriamiento sobre la superficie de los combustibles, donde se interrumpen los procesos de pirólisis y, por tanto, el aporte de gases inflamables en el interior del recinto.

Tabla 9. Características del ataque directo

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • Permite atacar directamente el motor del incendio. • Efectos muy rápidos sobre la extinción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pierde el equilibrio térmico dentro del recinto. • El vapor de agua generado en exceso puede empeorar las condiciones de visibilidad. • Posibles quemaduras por exceso de vapor de agua en caso de víctimas en el interior. • Desplazamiento de los gases de incendio empujados por el vapor de agua a otras estancias.



El ataque directo solo debe emplearse cuando se haya localizado visualmente el foco y haya certeza de que el chorro de agua aplicado impactará en los combustibles incendiados. En estas condiciones constituye, sin duda, la técnica más efectiva de extinción.

Descripción del proceso

- Esta es una técnica que puede emplearse desde el interior o exterior.
- Normalmente, se realiza en el marco de una **progresión interior**, tras haber localizado el foco y ganar una posición desde la que es posible atacar el fuego directamente.
- Cuando las condiciones de seguridad impiden el acceso interior o el foco del incendio puede ser alcanzado **desde el exterior**, el ataque directo puede realizarse a través de una ventana o apertura.
- Una vez localizadas las superficies incendiadas, el bombero en punta de lanza realizará una aplicación de agua continua, sin dejar de mover el chorro de posición con objeto de **cubrir con una fina película de agua todas las superficies del combustible**.
- Dado que el objetivo es **humedecer y enfriar todas las superficies**, se buscará bastante profundidad en el chorro con patrones de cono bastante cerrados que, incluso, lleguen a chorro sólido e intervalos de aplicación de larga duración y caudal medio.
- El chorro sólido puede tener, en muchos combustibles, un efecto de penetración muy recomendable.
- Como en cualquier técnica de aplicación de agua, esta debe realizarse sobre la base de las condiciones del incendio y la geometría del recinto.
- La eficiencia en la aplicación de agua buscará que las gotas que impacten en los combustibles se evaporen (robando así la mayor cantidad de calor) y también formen una fina película de agua. En este sentido, minimizar la escorrentía debe ser uno de los objetivos del bombero en punta de lanza. Este agua es desaprovechada pues no se ha producido su evaporación y ha escurrido por superficies de combustible que ya se encontraban frías y mojadas. Para evitar esto, el bombero deberá seleccionar un caudal no muy alto y mover la lanza de modo que el agua se distribuya homogéneamente.
- Tras cada aplicación, debe realizarse un **tiempo de reposo** que permita recobrar el equilibrio térmico y ganar visibilidad. Este tiempo permitirá evaluar la efectividad de la aplicación de agua realizada y modificar los parámetros necesarios de cara a la siguiente aplicación.



En un recinto confinado de 5x5m de planta y 2,5m de altura, cubierto en su totalidad por un friso de madera inflamable que se encuentra incendiado con temperaturas superficiales de 500°C. Calcular la cantidad de agua a 18°C necesaria para reducir la temperatura del friso hasta 200°C en los 5 mm superficiales.

Volumen de combustible:

$$m_{\text{combustible}} = (A_{\text{techos}} + A_{\text{paredes}} + A_{\text{suelo}}) \times \text{espesor} \times \rho_{\text{madera}} \\ = (5 \times 5 + 5 \times 5 + 4 \times 2,5 \times 5) \times 0,005 \times 500 = 250 \text{ kg}$$

$$T_{\text{combustible}} = 500 \text{ °C} = 773 \text{ °K}; T_2 = 200 \text{ °C} = 473 \text{ °K}; T_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ °C} = 291 \text{ °K}$$

Para la madera el calor específico es de 0,49kJ/kg.

$$C_e \text{ madera} = 0,49 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{\text{ab}} = m_{\text{combustible}} \times C_e \text{ madera} \times \Delta T = 250 \times 0,49 \times (473 - 773) = -36.750 \text{ kJ}$$

Es necesario absorber 36.750kJ para reducir la temperatura de la madera a 200°C.

De cálculos anteriores se veía la capacidad de absorción de energía de un 1kg de agua.

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1\text{l}; m_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg}; C_e \text{ H}_2\text{O} = 4,183 \text{ kJ/kg°C}$$

$$E_{\text{ab}} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_e \text{ H}_2\text{O} \times \Delta T = 1 \times 4,183 \times (100 - 18) = 343 \text{ kJ (energía empleada para elevar de 18 a 100 °C)}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1\text{l}; m_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg}; C_v \text{ H}_2\text{O} = 2.257 \text{ kJ/kg°C}$$

$$E_{\text{ab}} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_v \text{ H}_2\text{O} = 1 \times 2.257 = 2.257 \text{ kJ (energía empleada en la evaporación)}$$

Se descarta el efecto enfriamiento producido como vapor de agua, ya que este no se produce en la superficie del combustible.


$$E_{\text{ab}} = 343 + 2.257 = 2.600 \text{ kJ}$$

Para absorber los 36.750kJ necesarios, teniendo en cuenta que cada kg de agua hasta su evaporación tienen un poder de absorción

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{36.750}{2.600} = 10,20 \text{ kg de agua}$$

Respuesta: 10,2 L de agua son suficientes para refrigerar los 5mm superficiales de combustible del contorno del recinto de 500°C hasta 200°C supuesta una efectividad del 100% (ausencia total de escorrentía y de película húmeda)

Tabla 10. Ataque directo

Objetivo	Extinción. Enfriamiento de superficies incendiadas e interrupción de la pirólisis	
	 <p>Imagen 80. Ataque directo</p>	
Ejecución	Posición	Interior o exterior.
	Caudal	Medio (100lpm a 250lpm)
	Cono	0° a 15°
	Patrón de pulsaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de larga duración (>20") que pueden llegar a ser continuas. • Periodos de pausa relativamente largos de entre (15" y 45") que permitan la distribución del vapor de agua.
	Movimiento de lanza	<ul style="list-style-type: none"> • La lanza se moverá a velocidad constante.

1.3. ENFRIAMIENTO DE GASES

La progresión mediante enfriamiento de gases es una técnica de ataque al incendio cuyo objetivo es reducir la inflamabilidad del colchón de gases para proporcionar seguridad al equipo de bomberos que progresa por el interior frente a fenómenos de rápido desarrollo del fuego.

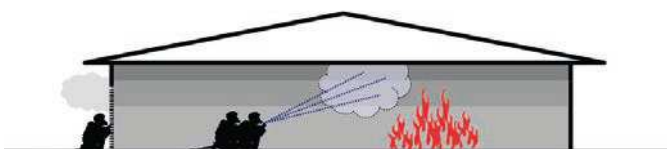


Imagen 81. Enfriamiento de gases



Imagen 82. Enfriamiento de gases a la entrada a recinto de incendio

Uno de los principales riesgos para el personal que realiza operaciones es la repentina inflamación de los gases de incendio, con lo que quedarían expuestos a una intensa radiación y a un súbito aumento de la potencia de incendio. Además, estos fenómenos pueden generalizar el incendio por detrás de los intervinientes y dificultar o impedir su regreso a través de la ruta empleada para el acceso.

La acción sobre los gases de incendio resulta doble: por un lado enfría los gases hasta una temperatura en que se reduce el riesgo de fenómenos de inflamación y, por otro, los gases de incendio quedan diluidos por el vapor de agua que se introduce dentro del recinto.

Es importante recalcar que esta técnica no produce la extinción del incendio, sino que **genera unas condiciones más seguras para la progresión**. El equipo de ataque procederá de este modo hasta que localice el foco del incendio sobre el que podrá emplear técnicas de **ataque directo** o **ataque indirecto** para su extinción.

Precisamente, uno de los principales problemas en el ámbito de los servicios de bomberos formados en las técnicas europeas ha sido su empleo incluso cuando el foco del incendio ya era visible y por tanto susceptible de un ataque directo. El enfriamiento de gases podría garantizar su no inflamación, pero para conseguir la extinción, "el motor" del incendio debe ser alcanzado empleando las técnicas de ataque (directo o indirecto) al incendio.

El agua ($C_{e\ H_2O\ g} = 4,090\ \text{kJ/kg}^\circ\text{C}$) tiene un calor específico cuatro veces superior al de los gases de incendio ($C_e = 1,0\ \text{kJ/kg}^\circ\text{C}$). Esto, sumado a la absorción de energía generada en la evaporación del agua, permite el enfriamiento de los gases con cantidades de agua muy reducidas. Además, con una correcta aplicación de las técnicas de enfriamiento se contrae el volumen de gases en mayor medida que se genera volumen por vapor de agua. Esto constituye una gran ventaja de cara a mantener la estratificación del recinto al conservar un estrato limpio y visible en la zona baja.

Tabla 11. Características del enfriamiento de gases

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> Permite una progresión más segura frente a fenómenos de rápido desarrollo (<i>flashover</i> y <i>backdraft</i>). Permite mantener el equilibrio térmico en el recinto y conservar la capa inferior visible y fresca e, incluso, elevar el plano neutro. 	<ul style="list-style-type: none"> No es una técnica de extinción. Una excesiva aplicación de enfriamiento de gases puede retrasar el acceso hasta el foco del incendio. No es posible evaluar el efecto de enfriamiento.

Descripción del proceso

- El bombero en punta de lanza realizará pulsaciones de agua de corta duración y caudal bajo. Esto persigue **introducir una niebla de agua en el colchón de gases** de incendio que, al evaporarse, produzca el **enfriamiento** deseado.

- Tradicionalmente se han venido empleando pulsaciones muy cortas (<1") con conos relativamente anchos (45°) y ángulos pronunciados (75°) respecto a la horizontal. Esto refrigeraba la zona de gases inmediata a los bomberos pero no aseguraba las condiciones más internas. Las últimas investigaciones y tendencias apuntan a que una **mayor profundidad** genera el enfriamiento de gases en la zona en la que se adentra el bombero ofreciendo **mayor seguridad**. Para ello, el punta de lanza deberá alargar las pulsaciones (1" a 5"), realizar un movimiento de barrido ligero (1m a 5m), cerrar el ángulo de cono (30°) y reducir el ángulo con respecto a la horizontal (30°). Desde la posición en la que se encuentre, dirigirá el chorro para que profundice en dirección a la esquina superior del fondo del recinto. Puede hacer varias pulsaciones cortas o bien, una pulsación más larga realizando un barrido en dirección a la esquina opuesta a la que se inicia el movimiento.

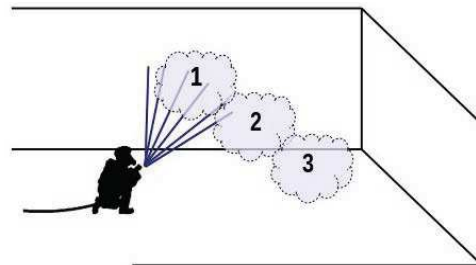


Imagen 83. Enfriamiento de gases tradicional con pulsaciones cortas de corto alcance

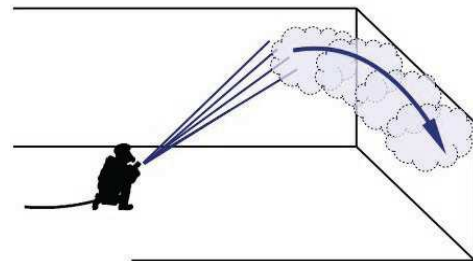


Imagen 84. Enfriamiento de gases con pulsaciones mas largas y de largo alcance

- La refrigeración en zonas más profundas evita, además, que los efectos del exceso del vapor de agua lleguen a la dotación ya que hay **mayor distancia** entre el bombero y la zona donde se produce la evaporación y expansión del vapor.
- Como en cualquier técnica de aplicación de agua, esta debe realizarse en función de las condiciones del incendio y la geometría del recinto.
- Tras cada aplicación debe realizarse un **tiempo de reposo** que permita recobrar el **equilibrio térmico** y **ganar visibilidad**. Este tiempo permitirá evaluar la efectividad de lo realizado y modificar los parámetros necesarios de cara a la siguiente aplicación.
- El impacto de las gotas de agua contra las paredes del entorno en esta técnica tienen un efecto claramente negativo; no se produce refrigeración del colchón de gases sino de las paredes del recinto. El vapor de agua se expande en el recinto generando una contracción mínima del colchón de gases por lo que el **equilibrio térmico** se rompe y el plano neutro desciende.

El siguiente gráfico adaptado permite comprender el efecto que tiene el impacto de agua en las paredes del recinto en términos de expansión o contracción del volumen de gases. Partiendo de un colchón de gases a 600°C (T_1), se observa que, mientras se evapore entre el 30% y el 100% del agua en el recinto (el resto se evaporaría en contacto con las paredes del entorno), el volumen de gases final será igual o menor, lo que hará que se conserve el equilibrio térmico y la estratificación. Sin embargo, cuando el agua evaporada en el colchón sea inferior al 30%, se producirá una clara expansión que llevará asociada una pérdida del equilibrio térmico.

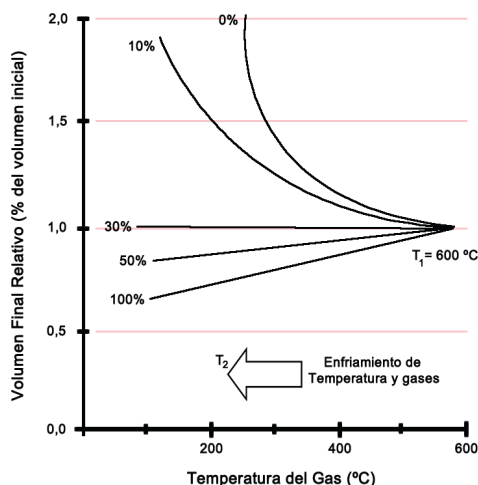


Imagen 85. Gráfica de expansión o contracción del volumen de gases como efecto del impacto de agua en las paredes del recinto

Conseguir una efectividad del 50% (la mitad del agua se evapora en el colchón y la otra mitad en contacto con superficies del recinto) implica llegar a reducir la temperatura de 600°C a 200°C y contraer el colchón de gases un 20%. Por el contrario, una efectividad del 10% (el 90% del agua se evapora en contacto con el recinto) supone que el colchón de gases se expande un 50% para llegar a la misma temperatura.

- La complejidad de los gases de incendio hace que una de las mayores dificultades a la hora de aplicar esta técnica radique en **evaluar si se ha logrado reducir suficientemente la temperatura como para asegurar su no inflamabilidad**. Ahora bien, la inflamabilidad no solo depende de la temperatura; son múltiples las variables que entran en juego: la concentración de comburente, la fracción de combustible, la naturaleza de estos gases de incendio y el desarrollo previo del incendio; variables que, además, no pueden ser medidas fuera de laboratorio.

Por tanto, **en condiciones reales de incendio resulta imposible determinar el rango y la temperatura de inflamabilidad de una mezcla de gases**. Además, considerar pautas que pretendan establecer la necesidad y cantidad de enfriamiento basándose exclusivamente en la temperatura del recinto puede conducir a valoraciones erróneas.

Tradicionalmente se han empleado criterios basados en el comportamiento de pequeñas pulsaciones realizadas casi

a 90° en dirección al techo. Si las gotas se precipitaban sin evaporarse, se entendía que había que proceder a continuar enfriando los gases. Este sistema no tiene base científica alguna pues, dependiendo del tipo de pulsación realizada (cono, caudal, duración), las gotas de agua pueden precipitarse incluso en ambientes a alta temperatura. En el mejor de los casos, este procedimiento tan solo mediría la capacidad de evaporación del colchón de gases, en ningún caso su inflamabilidad.

Otros criterios empleados más recientemente equiparan la inflamabilidad de los gases de incendio a uno de sus componentes, el monóxido de carbono. Las mediciones de la temperatura del colchón de gases se realizarían con cámara térmica. Este sistema, al margen de la dificultad práctica de realizar mediciones, asume que uno de los componentes de los gases de incendio (el monóxido de carbono, que rara vez sobrepasa el 5%), condiciona el comportamiento global de la masa. Esta es la razón por la que se desacredita este tipo de valoración.



Puesto que no existe un método que evalúe con seguridad si el enfriamiento realizado permite el acceso y progresión interior de la dotación, la experiencia y los conocimientos en dinámica de incendios del punta de lanza son vitales a la hora de tomar estas decisiones. A su vez, la observación de la evolución de fenómenos de *rollover* y movimiento de gases puede dar información eficaz en este sentido.





En un recinto confinado de 5x5m de planta y 2,5m de altura se ubica un incendio con plano neutro a 1,25m de altura. La temperatura media de los gases de incendio en el colchón superior es de 500°C. Calcular la cantidad de agua a 18°C necesaria (se supone una efectividad de enfriamiento del 100%) para reducir la temperatura a 200°C.

En ejemplos anteriores se ha visto que la densidad de los gases de incendio a 500°C es 0,46kg/m³.

$$\rho_{500^{\circ}\text{C}} = 0,46 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{500^{\circ}\text{C}} = V_{500^{\circ}\text{C}} \times \rho_{500^{\circ}\text{C}} = 31,25 \times 0,46 = 14,375 \text{ kg}$$

Para los gases de incendio el calor específico es de 1kJ/kg.

$$C_{e \text{ gases incendio}} = 1,0 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{ab} = m_{500^{\circ}\text{C}} \times C_{e \text{ gases incendio}} \times \Delta T = 14,375 \times 1,0 \times (473 - 773) = -4.312,5 \text{ kJ}$$

Es necesario absorber 4312,5kJ para reducir la temperatura del colchón de gases a 200°C.

De cálculos anteriores se obtiene la capacidad de absorción de energía de un 1kg de agua.

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ l}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg}$$

$$C_{e \text{ H}_2\text{O}} = 4,183 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$E_{ab} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_{e \text{ H}_2\text{O}} \times \Delta T = 1 \times 4,183 \times (100 - 18) = 343 \text{ kJ}$$

(energía empleada para elevar de 18 a 100 °C)

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ l}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg}$$

$$C_{v \text{ H}_2\text{O}} = 2.257 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{ab} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_{v \text{ H}_2\text{O}} = 1 \times 2.257 = 2.257 \text{ kJ}$$

(energía empleada en la evaporación)

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg}$$

$$C_{e \text{ H}_2\text{O}} = 4,090 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$E_{ab} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_{e \text{ H}_2\text{O}} \times \Delta T = 1 \times 4,090 \times (200 - 100) = 409 \text{ kJ}$$

(energía empleada para elevar el vapor de agua de 100 a 200 °C)

$$E_{ab} = 343 + 2.257 + 409 = 3.009 \text{ kJ}$$

Para absorber los 4.312,5kJ necesarios teniendo en cuenta que cada kg de agua hasta 200°C tiene un poder de absorción máximo de 3.009kJ, se necesitarán:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{4.312,5}{3.009} = 1,433 \text{ kg de agua}$$

Respuesta: 1,433 L de agua son suficientes para refrigerar el colchón de gases hasta 200°C (equivalente a dos pulsaciones de 1" a 50 lpm con una efectividad del 100%).



Completemos el ejercicio calculando el volumen final de los gases a 200°C incluyendo el volumen de vapor de agua aportado.

$$V_1 = 5 \times 5 \times 1,25 = 31,25 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 500^{\circ}\text{C} = 773^{\circ}\text{K}$$

$$T_2 = 200^{\circ}\text{C} = 473^{\circ}\text{K}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V_2 = V_1 \times \frac{T_1}{T_2} = 31,25 \times \frac{773}{473} = 51,12 \text{ m}^3$$

Por otro lado, se debe considerar el volumen de vapor de agua introducido:

$$C_{\text{exp } 200^{\circ}\text{C}} = 2.060 \text{ (coeficiente de expansión a } 200^{\circ}\text{C)}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O g}} = V_{\text{H}_2\text{O l}} \times C_{\text{exp } 200^{\circ}\text{C}} = 1,433 \times 2.060 = 2.952 \text{ L} = 2,952 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{final}} = V_{\text{H}_2\text{O g}} + V_2 = 2,95 + 51,12 = 54,07 \text{ m}^3$$

Respuesta: durante el proceso de enfriamiento, el colchón de gases de 31,25m³ (1,25m de espesor) se ha contraído hasta 54,07m³

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg}$$


$$C_{e \text{ H}_2\text{O}} = 4,090 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$E_{ab} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_{e \text{ H}_2\text{O}} \times \Delta T = 1 \times 4,090 \times (200 - 100) = 409 \text{ kJ}$$

(energía empleada para elevar el vapor de agua de 100 a 200 °C)

(0,88m de espesor).

Tabla 12. Enfriamiento de gases

Objetivo	Reducir la inflamabilidad del colchón de gases para permitir una progresión segura. Efectos de enfriamiento y dilución del colchón de gases de incendio	
	 <p>Imagen 86. Enfriamiento de gases</p>	
Ejecución	Posición	Interior
	Caudal	Bajo-medio (50lpm a 250lpm)
	Cono	30°
	Patrón de pulsaciones	<ul style="list-style-type: none"> Pulsaciones de corta duración (1" a 5") Dirigidas a las esquinas superiores del fondo del recinto
	Movimiento de lanza	<ul style="list-style-type: none"> En pulsaciones cortas, conjuntos de pulsaciones que apuntan en distintas posiciones En pulsaciones más largas, efecto barrido
	Consideraciones de seguridad:	<ul style="list-style-type: none"> No confundir con herramienta para la extinción. La realización de enfriamiento de gases no garantiza la no inflamabilidad de los gases.

1.4. ATAQUE DEFENSIVO CONTRA LA PROPAGACIÓN

El ataque defensivo contra la propagación es una técnica que busca limitar la propagación del incendio a zonas no afectadas mediante la aplicación de agua sobre las superficies combustibles.

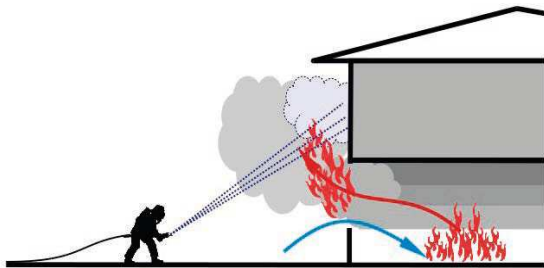


Imagen 87. Ataque defensivo contra la propagación



Imagen 88. Ataque defensivo contra la propagación

El efecto defensivo frente a la propagación se produce al dificultarse o interrumpirse los procesos de pirólisis en el combustible. Una película de agua sobre el combustible exige una cantidad de energía adicional para que comiencen liberarse gases combustibles desde este.

A diferencia del ataque directo, donde el agua se aplica sobre superficies ya incendiadas, en el ataque defensivo contra la propagación el objetivo es evitar que estas se incendien.



El ataque defensivo es de especial utilidad en planteamientos tácticos que estén condicionados por alguna de las siguientes circunstancias:

- Recursos limitados frente al tamaño de incendio.
- Incendios de grandes estructuras con posibilidad de propagación.
- La escasez de agua no permite realizar un ataque para la extinción con éxito.
- Garantizar que zonas ya extinguidas no vuelvan a incendiarse.

Descripción del proceso

- Esta técnica puede emplearse **tanto desde el interior como del exterior**. Normalmente, se realiza desde el exterior en el marco de una intervención en modo defensivo.
- También es conveniente y común el "pintado de paredes" durante la progresión interior para asegurar zonas frente a la propagación del incendio por detrás de la zona ya recorrida.
- El bombero en punta de lanza realizará una aplicación de agua continua, sin dejar de mover el chorro de posición, con objeto de cubrir con una fina película todas las superficies del combustible. **Se evitará, en todo caso, la escorrentía**, claro signo de que el agua se está aplicando sobre un punto sobre el que ya hay exceso.
- Partiendo de que el objetivo es **humedecer y enfriar todas las superficies**, se buscará bastante profundidad en el chorro (y, por tanto, capacidad para alejarse del incendio) con patrones de cono bastante cerrados que incluso lleguen a chorro sólido con intervalos de aplicación de larga duración y caudal bajo.
- Como en cualquier técnica de aplicación de agua, su uso debe realizarse de acuerdo a las condiciones del incendio y la geometría del recinto.

Tabla 13. Ataque defensivo contra la propagación

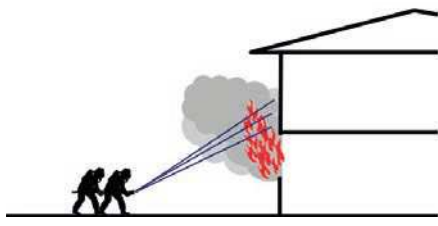
Objetivo	Limitar la propagación del incendio. Enfriamiento de superficies del combustible e interrupción de la pirólisis.	
		
Ejecución	Posición	Interior o exterior.
	Caudal	Bajo (50lpm a 100lpm)
	Cono	0° a 15°
	Patrón de pulsaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de larga duración (>20") que pueden llegar a ser continuas.
	Movimiento de lanza	<ul style="list-style-type: none"> • La lanza se moverá a velocidad constante.

Imagen 89. Ataque defensivo contra la propagación

1.5. ATAQUE EXTERIOR OFENSIVO O "ABLANDADO"

El ataque exterior ofensivo es una técnica cuyo objetivo es reducir la potencia del incendio desde una posición segura exterior mediante la aplicación de chorro de agua de forma que no se altere el flujo de gases de incendio existente. Comúnmente, se le denomina "ablandado" o "resetear el incendio" debido a que no es posible una extinción completa del incendio y requiere la progresión interior de efectivos para ultimar la extinción, eso sí, con condiciones de incendio notablemente atenuadas.



Imagen 92. Vista del interior con el chorro rompiendo en gotas mas pequeñas

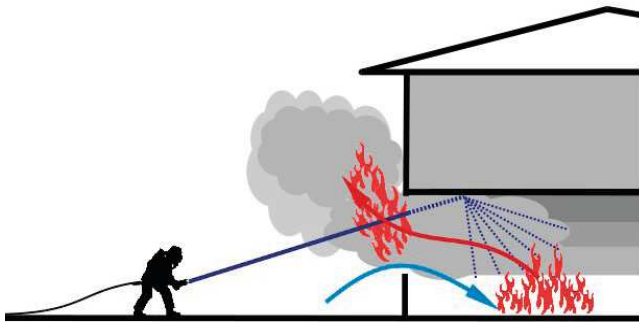


Imagen 90. Ataque exterior ofensivo o "ablandado"



Imagen 91. Bombero de LACoFD practicando el Ataque Exterior Ofensivo

Aunque el uso de esta técnica cuenta con más de un siglo de antigüedad, factores como la aparición de los equipos autónomos de respiración y el incorrecto empleo de las lanzas con apertura de chorro han influido en favor de la progresión interior.

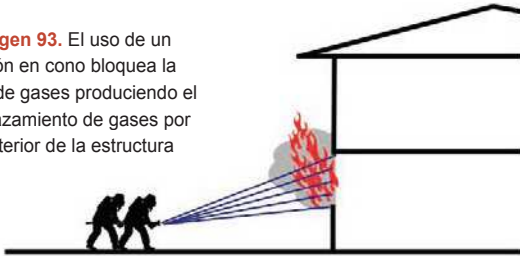
Cuando en un recinto, hay una apertura al exterior, se conforma un flujo de gases. En la mayoría de los casos encontraremos flujos bidireccionales, de salida en la parte superior y de entrada en su parte inferior.



Al aplicar agua al interior a través de una ventana donde existe un flujo de salida de gases hay que tener la precaución de no afectar o bloquear dicha salida. De ser así, los gases de incendio y el vapor de agua se desplazarían por el interior buscando otra salida pudiendo afectar a víctimas, bomberos en progresión interior o desplazar el incendio a zonas no afectadas.

El empleo de chorros en cono desde el exterior a través de una apertura (ventana o puerta) implica bloquear la salida de gases que por ella se estuviera realizando. Sin embargo un chorro de agua sólido dirigido a una superficie en el interior –generalmente el techo– permite que este deflacte formando gotas más pequeñas sin que quede afectada la superficie de intercambio gaseoso a través de la apertura.

Imagen 93. El uso de un patrón en cono bloquea la salida de gases produciendo el desplazamiento de gases por el interior de la estructura



La reducción de la potencia del incendio se consigue por la combinación de varios efectos:

- Enfriamiento del colchón de gases que irradia sobre todos los combustibles.
- Enfriamiento de las superficies incendiadas en el alcance de las gotas de agua deflactadas.
- Dilución temporal de los gases con vapor de agua.

En los últimos años, a partir de las investigaciones realizadas por Underwriters Laboratories en colaboración con NIST y en el servicio de bomberos de la ciudad de Nueva York (FDNY), la técnica del “ablado” cobra fuerza y constituye una herramienta esencial en las tácticas de intervención en incendios. Estos estudios demuestran que un correcto “ablado” permite reducir la temperatura no solo en el recinto del incendio, sino también en el resto de estancias conectadas mediante puertas abiertas. Esto contribuye de forma decisiva a la supervivencia de víctimas.

Descripción del proceso

- En situaciones en las que el incendio ha roto por fachada, el empleo de esta técnica raramente estará contraindicada durante **la fase inicial de ataque al fuego, especialmente si se quiere acompañar de técnicas de ventilación forzada ofensiva** en las que resulta muy conveniente reducir la reacción del incendio al aporte adicional de aire.
- Una vez **localizada la apertura a la zona de mayor desarrollo** del incendio e **identificado el flujo de salida de gases**, el bombero en punta de lanza realizará pulsaciones de media-larga duración (5” a 30”) dirigidas a un punto fijo del techo del recinto sin mover el chorro de posición. El objetivo **es no interferir la salida de gases** y crear gotas de tamaño más pequeño tras el impacto con el techo.
- Como en cualquier técnica de aplicación de agua, su uso debe realizarse de acuerdo a las condiciones del incendio y la geometría del recinto.
- Tras cada aplicación, debe realizarse un **tiempo de reposo** que permita recobrar el **equilibrio térmico** y que el **flujo de gases evacue el exceso de vapor de agua** que hubiera en el interior. La siguiente pulsación se realizará impactando **en un punto distinto** y un **ángulo diferente** con objeto de situar las gotas en una zona distinta del recinto.

Tabla 14. Características del ablado

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la temperatura en recinto de incendio y adyacentes. • Aumenta la supervivencia de víctimas. • Reduce el tiempo necesario para el control y extinción del incendio. 	Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> • Una mala aplicación que bloquee la salida de gases (chorro en cono o en movimiento que ocupa la zona de salida de gases) desplazará los gases de incendio y vapor de agua a zonas no deseadas. • Posibles quemaduras por exceso de vapor de agua en caso de víctimas en el recinto de incendio.
-----------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 15. Ataque exterior ofensivo. Ablado

Objetivo	Reducción de la potencia y temperatura del incendio, mejora de las condiciones de supervivencia en el interior y facilitación del ataque interior posterior.	
Ejecución	Posición	Exterior
	Caudal	Medio (100lpm a 250lpm)
	Cono	Chorro sólido a través de una ventana.
	Patrón de pulsaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de media a larga duración (5” a 30”). • Periodos de pausa relativamente largos de entre (15” y 45”) que permitan recobrar el equilibrio térmico y expulsar el exceso de vapor de agua.
	Movimiento de lanza	<ul style="list-style-type: none"> • La lanza permanecerá fija contra punto fijo en el techo.
	Consideraciones de seguridad:	<ul style="list-style-type: none"> • No bloquear la salida de gases con chorros en forma de cono o en movimiento de barrido. • Realizar una aplicación moderada y progresiva en caso de haber efectivos en progresión interior o confirmación de víctimas. • Vigilar el volumen de vapor de agua generado y sus efectos sobre el personal en el interior. • Controlar el desplazamiento de gases de incendio y vapor de agua a otras estancias.

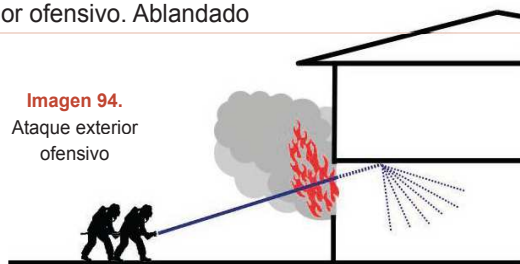

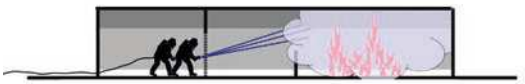
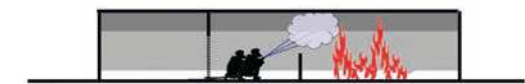
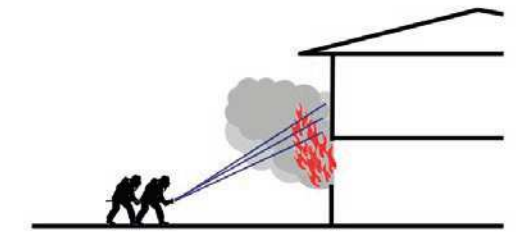
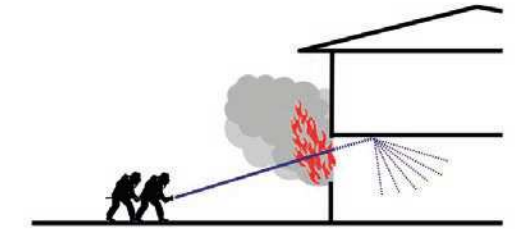


Imagen 94. Ataque exterior ofensivo

1.6. CUADRO RESUMEN DE TÉCNICAS

Tabla 16. Resumen de técnicas

<p>Ataque Directo</p>  <p>Imagen 95. Ataque directo</p>	<p>Extinción.</p> <p>Enfriamiento de superficies incendiadas e interrupción de la pirólisis.</p>	<p>Caudal medio</p> <p>Cono 0° a 15°</p> <p>Pulsaciones largas a aplicación continua</p> <p>Lanza en movimiento</p>
<p>Ataque Indirecto</p>  <p>Imagen 96. Ataque indirecto</p>	<p>Extinción.</p> <p>Inundación mediante vapor de agua.</p>	<p>Caudal medio a alto</p> <p>Cono 15° a 30°</p> <p>Pulsaciones de media a larga duración</p> <p>Lanza en movimiento</p>
<p>Enfriamiento de gases</p>  <p>Imagen 97. Enfriamiento de gases</p>	<p>Reducir la inflamabilidad del colchón de gases para permitir una progresión segura.</p> <p>Enfriamiento y dilución del colchón de gases de incendio.</p>	<p>Caudal bajo a medio</p> <p>Cono 30°</p> <p>Pulsaciones muy cortas en grupos</p> <p>Pulsaciones cortas en barrido</p>
<p>Ataque Defensivo contra Propagación</p>  <p>Imagen 98. Ataque defensivo contra la propagación</p>	<p>Limitar la propagación del incendio.</p> <p>Enfriamiento de superficies del combustible e interrupción de la pirólisis.</p>	<p>Caudal bajo</p> <p>Cono 0° a 15°</p> <p>Pulsaciones larga duración o aplicación continua</p> <p>Lanza en movimiento</p>
<p>Ataque Exterior Ofensivo</p>  <p>Imagen 99. Ataque exterior ofensivo</p>	<p>Reducción de la potencia del incendio</p> <p>Mejora de las condiciones de supervivencia en el interior.</p>	<p>Caudal medio</p> <p>Chorro solido contra techo</p> <p>Pulsaciones de media a larga duración</p> <p>Lanza estática</p>

1.7. ACCESO A TRAVÉS DE PUERTA

El acceso a un recinto a través de una puerta cerrada exige una técnica que minimice el riesgo de penetrar un recinto de incendio y permita evaluar las condiciones interiores. Cualquier puerta dentro de la zona de incendio (interior o exterior) es susceptible de contener gases de incendio, por tanto, su apertura debe seguir un procedimiento.

El tipo de puerta y el nivel de aislamiento térmico que ofrezca juegan un papel importante. En puertas con un alto nivel de aislamiento, la temperatura de la puerta en una de las caras ofrece poca información sobre las condiciones al otro lado. Por el contrario, puertas metálicas de una sola hoja o con una buena conducción térmica permitirán incluso evaluar la altura del plano neutro antes de realizar la apertura.



Imagen 100. Procedimiento de Acceso a a través de puerta



El procedimiento de apertura puede seguir múltiples procedimientos pero, en todo caso, debe comprender claramente dos fases:

- **Evaluar las condiciones interiores:** altura del colchón de gases, temperatura, color y densidad de los gases de incendio, corrientes de ventilación, nivel de visibilidad y localización de focos.
- **Reducir la peligrosidad de la atmósfera interior** mediante la refrigeración/dilución del colchón de gases.



Existen multitud de procedimientos de acceso, todos aptos mientras permitan la evaluación de condiciones y la reducción del riesgo interior. Sí es importante que el procedimiento de acceso a través de puerta esté bien procedimentado y sea único.

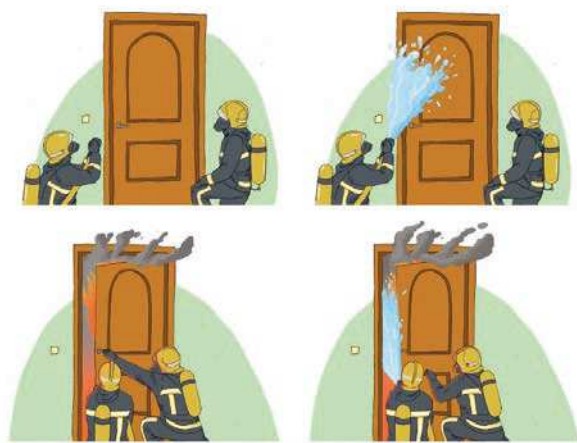


Imagen 101. Acceso a través de puerta

Descripción del proceso

Uno de los procedimientos más comunes y actualizados se deriva del empleado en Irlanda y Australia.

- El bombero en punta de lanza efectúa una pulsación sobre el tercio superior de la puerta cerrada con objeto de determinar la temperatura al otro lado. Aunque esto puede obviarse en puertas con un alto grado de aislamiento térmico (de uso generalizado en España), algu-

nos servicios prefieren hacerlo en cualquier caso, pues al bombero encargado de abrir la puerta le permite saber que el punta de lanza pretende abrir la puerta y avanzar.

- Ambos observan las condiciones por encima del plano neutro y después por debajo del plano neutro. Es importante no aplicar agua al interior antes de disponer de esta fehaciente información.
- De haber un colchón de gases importante, el punta de lanza efectúa dos pulsaciones profundas, apuntando a las esquinas superiores del fondo. Esto le permitirá obtener información sobre la temperatura y evaporación del colchón de gases, además de mejorar las condiciones interiores.
- El bombero encargado cierra la puerta y deja que el interior recobre su equilibrio térmico.
- Si se valora que las condiciones son suficientemente seguras como para realizar la entrada, el bombero encargado abrirá la puerta y se producirá el acceso del equipo completo. En caso contrario, será necesario repetir el paso tercero y cuarto hasta que las condiciones permitan el acceso.

1.8. ELECCIÓN DEL CAUDAL APROPIADO: CAUDAL DISPONIBLE, CRÍTICO Y ÓPTIMO

Una de las decisiones más importantes en la extinción de un incendio es decidir el caudal disponible para la aplicación de agua. Durante la intervención, el caudal empleado no es uniforme ni continuo. Las condiciones en el interior dictarán el caudal a emplear en cada momento o, incluso, la interrupción temporal de la aplicación hasta recobrar el equilibrio térmico. En momentos puntuales, frente a fenómenos de inflamación de rápido desarrollo o para controlar una situación de incendio, sí puede ser necesaria la aplicación de un caudal importante.

Al hablar de caudal y gasto de agua es importante distinguir entre ciertos términos:

- **Gasto de agua:** volumen de agua empleado a lo largo de una intervención.
- **Caudal medio:** gasto de agua dividido entre el tiempo de intervención.
- **Caudal disponible:** máximo caudal disponible en punta de lanza en cualquier momento de la intervención.
- **Caudal crítico:** mínimo caudal disponible para conseguir la extinción de un incendio.
- **Caudal óptimo:** caudal disponible con el que se consigue la extinción de un incendio con el mínimo gasto de agua.

Puesto que la aplicación de agua se hace a intervalos o pulsaciones seguidos de periodos de no aplicación, el caudal medio de agua empleado en una intervención es un dato poco significativo. Así, por ejemplo, un caudal bajo aplicado durante más tiempo, no equivale a un caudal alto aplicado en menos tiempo. Durante la aplicación de un caudal bajo, el incendio tiene la habilidad de seguir desarrollándose si la capacidad de enfriamiento y dilución del volumen de agua empleado no es suficiente.

En muchos de los países y servicios de bomberos donde se popularizó el uso de sistemas de alta presión y bajo caudal, se extendió la creencia de que estos sistemas con una mayor duración de las pulsaciones igualaban la capacidad extintora de los sistemas de baja presión y alto caudal.

Hoy en día, las lanzas de bomberos consiguen óptimos tamaños de gota a presiones nominales de 6-7 bar sin que sea necesario recurrir a esquemas de alta presión para realizar técnicas de enfriamiento de gases con un alto grado de eficiencia.

Por otro lado, la investigación de múltiples accidentes en intervención con bomberos fallecidos, deja patente la necesidad de un mínimo caudal disponible durante las primeras fases del incendio. Algunos países han avanzado en este sentido y han regulado el caudal mínimo disponible para realizar una progresión interior. Así, tras una serie de trágicos accidentes, Francia estableció 500LPM por ley y, en el ámbito norteamericano, la normativa NFPA1410 exige un mínimo de 378LPM.

A medida que el caudal disponible se reduce, el tiempo necesario para conseguir la extinción del incendio se alarga y llega a una asíntota vertical en el valor del caudal crítico. Cualquier operación de extinción con un caudal disponible inferior al caudal crítico se alargará en el tiempo de modo que, solo cuando se agote el combustible, el incendio decaerá por sí mismo.

El análisis de muchas intervenciones pone de manifiesto el hecho de que las condiciones de incendio apenas varían a pesar del trabajo continuo aplicando agua y que solo después de un intervalo de tiempo –la duración de la etapa de pleno desarrollo– el incendio comienza a decaer. Es un error pensar que estos casos la intervención de bomberos produce la extinción sino mas bien la ausencia de combustible adicional.

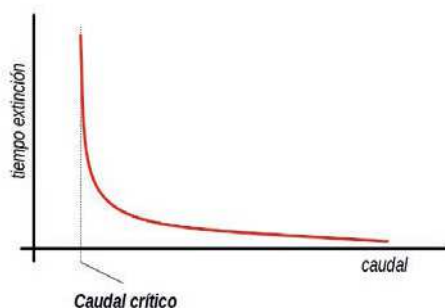


Imagen 102. Caudal crítico

A medida que se aumenta el caudal disponible, el tiempo necesario para la extinción se reduce, registra una brusca caída si se aumenta ligeramente por encima del caudal crítico y continúa reduciéndolo en menor medida.

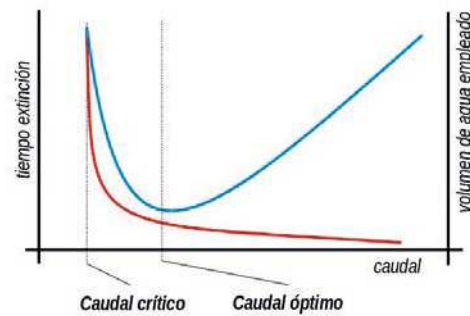


Imagen 103. Caudal crítico y caudal óptimo

Un excesivo caudal disponible genera un mayor gasto de agua al igual que un caudal cercano al caudal crítico. El caudal óptimo corresponde al mínimo gasto de agua posible. El análisis de estas gráficas da sentido a la máxima “los incendios se apagan con mucho caudal y poca agua”.



El caudal disponible a emplear en una intervención deberá ser:

- No inferior al caudal óptimo.
- Suficiente para garantizar la seguridad del personal frente a fenómenos de rápido desarrollo.
- Lo más cercano posible al caudal óptimo .

Este valor depende de múltiples factores:

- Potencia del incendio (tipo de combustible y grado de ventilación).
- Cantidad de combustible.
- Área afectada.
- Estado de desarrollo del incendios.

El análisis de datos estadísticos sobre más de 5000 incendios realizado por Grimwood (2014) y los estudios realizados por Barnett (2004) apuntan a valores de 24LPM/MW para incendios en vivienda residencial y 5LPM/m² para incendios en superficies amplias (>100m²).





Calcular el caudal disponible necesario para la extinción de un ILV que ha roto por fachada y tiene una apertura al exterior de 1,8m de anchura x 2m de altura.

Se calculará primero la potencia del incendio utilizando la Ecuación de Kawagoe para incendios ILV.

$k = 0,092; H_c = 20 \text{ MJ/kg} \rightarrow$ Tomamos 20MJ/kg como valor de referencia para el calor de combustión

$A = 1,6 \text{ m}^2$

$h = 2 \text{ m}$

$$Q = k \times H_c \times A \times \sqrt{h} = 0,092 \times 20 \times 1,6 \times 1,414 = 4,16 \text{ MW}$$

Empleando el criterio de Grimwood:

$$C^* = 24 \text{ lpm/MW}$$

$$C = C^* \times Q = 24 \times 4,16 = 100 \text{ lpm}$$

Respuesta: 100lpm es el caudal disponible necesario.

La puerta por la que se alimenta el incendio está enmarcada en un ventanal de dimensiones de 3m de anchura y 2,5m de altura. Calcular el caudal necesario en caso de rotura del ventanal completo.

$k = 0,092; H_c = 20 \text{ MJ/kg}; A = 7,5 \text{ m}^2; h = 2,5 \text{ m}$

$$Q = k \times H_c \times A \times \sqrt{h} = 0,092 \times 20 \times 7,5 \times 1,581 = 21,81 \text{ MW}$$

$$C = C^* \times Q = 24 \times 21,81 = 523 \text{ lpm}$$

Respuesta: 523lpm es el caudal disponible necesario en caso de rotura del ventanal.



Un servicio determina experimentalmente el caudal máximo que sus esquemas estandarizados de tendidos de 25mm y 45mm pueden proporcionar; 150lpm y 475lpm respectivamente. Calcular la potencia y el máximo área de ventilación de un ILV (empleando la Ecuación. Kawagoe) que puede tener para poder extinguirse con dichos tendidos, según el criterio Grimwood.

$$C^* = 24 \text{ lpm/MW}$$

$$Q = \frac{C}{C^*} = \frac{150}{24} = 6,25 \text{ MW}$$

para el tendido de 25mm

$$Q = k \times H_c \times A \times \sqrt{h}$$

$$A = \frac{Q}{k \times H_c \times \sqrt{h}}$$

$$A = \frac{6,25}{0,092 \times 20 \times 1,41} = 2,41 \text{ m}^2$$

Con $h = 2$ para el tendido de 25 mm

$$Q = \frac{C}{C^*} = \frac{475}{24} = 19,8 \text{ MW}$$

para el tendido de 45mm

$$Q = k \times H_c \times A \times \sqrt{h}$$

$$A = \frac{Q}{k \times H_c \times \sqrt{h}}$$

$$A = \frac{19,8}{0,092 \times 20 \times 1,41} = 7,63 \text{ m}^2$$

Con $h = 2$ para el tendido de 45 mm

Respuesta: el tendido de 25 mm podría emplearse hasta una apertura de 2,4 m² y el de 45 mm hasta una apertura de 7,63 m² considerando una apertura de 2m de altura.

2. TÉCNICAS DE CONTROL DE LA VENTILACIÓN

Las técnicas de control de la ventilación en incendios permiten cambiar la dinámica de incendio. Se debe entender el control de la ventilación en su sentido más amplio con técnicas que van desde el confinamiento total (y eliminación completa de la ventilación) a las técnicas de ventilación mecánica forzada, pasando por las distintas posibilidades que la ventilación natural ofrece.



Las técnicas de ventilación que implican un aporte de aire al foco implican un crecimiento del incendio que debe ser mitigado con la aplicación simultánea y coordinada de agua. Solo una correcta coordinación entre técnicas de ventilación y aplicación de agua consigue los efectos perseguidos de mejora de las condiciones internas (visibilidad, menor temperatura y menor toxicidad de la atmósfera) sin efectos adversos de propagación o crecimiento del incendio.

No solo es necesario conocer la manera en que se ejecuta una determinada técnica, también es preciso saber cuándo y por qué se realiza. Así, entender la base del funcionamiento de la ventilación en incendios (recogido en el punto **Influencia de la ventilación**) es fundamental para su correcta aplicación.

2.1. ANTIVENTILACIÓN O CONFINAMIENTO DE INCENDIO

Las técnicas de antiventilación o confinamiento de incendio tienen por objeto privar al incendio del acceso a aire fresco con el fin de limitar su crecimiento. Estas técnicas son de especial interés en incendios limitados por la ventilación. Al-

gunas expresiones como la ecuación de Kagawoe, vinculan directamente la potencia del ILV al área y la geometría de la apertura del incendio al exterior.

El confinamiento de incendios también permite evitar que los gases de incendio se dirijan a otras estancias o espacios comunes. Este es un aspecto crítico a nivel táctico en bloques de viviendas o edificios dotacionales de grandes dimensiones. La misma masa de aire que se introduce en el recinto de incendio sale del mismo en forma de gases de incendio, expandidos por el efecto de la temperatura y, por tanto, ocupando un volumen mayor. **Proteger la caja de escalera** o los pasillos comunes de evacuación debe ser **prioritario**.

Tabla 17. Características de la antiventilación

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la potencia del incendio. • Evita que los gases de incendio salgan del recinto inundando otras estancias. 	<ul style="list-style-type: none"> • El plano neutro del incendio baja hasta el suelo perdiendo la visibilidad. Obviamente, en incendios infraventilados o con plano neutro muy bajo, esto no tiene efecto.

El confinamiento del incendio se realiza cerrando las puertas y ventanas del propio edificio. También es posible el empleo de dispositivos de aislamiento como cortinas portátiles. La dotación, al realizar la progresión interior, compartimenta el edificio, priva de aire fresco a los recintos donde se desarrolla el incendio y protege y aísla las zonas no afectadas por el incendio.

Los efectos del confinamiento o ventilación activa del incendio no son inmediatos. Ahora bien, puesto que un incendio infraventilado responde de forma violenta a la ventilación y puede llegar a un estado de *flashover* inducido por la ventilación, las dotaciones en progresión interior deben ser conscientes de este efecto y realizar el **control de puerta de acceso**. Esta técnica consiste en posicionar a un bombero en el exterior de la puerta que confina el recinto para que mantenga la puerta entornada al ancho de paso de la manguera y posibilite su entrada.



Imagen 104. Bombero en interior y otro controlando puerta de acceso

El uso de dispositivos como las cortinas de bloqueo de humo se ha popularizado en Centro Europa, hasta el punto de constituir un paso obligado en sus protocolos de acceso a vivienda incendiada; en EE.UU. también cobra fuerza su uso.



Imagen 105. Empleo de cortina de bloqueo de humo en el acceso a un incendio

Las ventajas del empleo de cortinas de bloqueo de humo en el confinamiento de incendio se pueden concretar en que:

- Garantizan el confinamiento en puertas de escasa resistencia al fuego o estanqueidad insuficiente.
- Pueden ser utilizadas en dinteles sin puerta o pasillos.
- Facilitan el paso de una manguera por la parte baja.

2.2. VENTILACIÓN NATURAL

El propósito de la ventilación natural es evacuar los gases de incendio de un recinto empleando las diferencias de presión generadas por el propio incendio. Persigue, además, recobrar la visibilidad, expulsar la atmósfera combustible al exterior (se llega a cifrar hasta en un 50% la cantidad expulsada) y reducir la temperatura para facilitar las operaciones de progresión interior y la supervivencia de víctimas.



El personal en progresión interior debe ser conocedor de los cambios que experimenta el incendio en cuanto a ventilación y la aplicación coordinada de agua. De no ser así, la reacción del incendio a la ventilación generará un aumento de la potencia, acompañada de un mayor volumen de gases de incendio que volverá a empeorar las condiciones internas del recinto.

Actualmente, las técnicas de ventilación natural tienen una **efectividad limitada**; algo mayor las de ventilación vertical y muy limitada las de ventilación horizontal. El volumen de gases evacuado depende de la diferencia de presiones creada por el incendio y estas son relativamente reducidas a lo largo de la mayor parte de la fase de desarrollo. Por otro lado, los combustibles modernos tienen una reacción muy rápida a la ventilación, lo que concede escaso tiempo para evacuar gases, mejorar la visibilidad y acceder al incendio para controlarlo antes de que crezca y empiece a generar gases de forma exponencial.

Al margen de estas limitaciones, existe un marco de aplicación para estas técnicas: incendios limitados por el combustible, o ILV cuya configuración permita un acceso rápido hasta el foco y existan aperturas grandes.

Existen dos tipos de ventilación natural en función del patrón de ventilación:

- Ventilación vertical: entrada y salida de gases a distinto nivel, flujo de gases unidireccional.
- Ventilación horizontal: entrada y salida de gases al mismo nivel, flujo de gases bidireccional.

a) Ventilación vertical

A la hora de emplear la ventilación, lo ideal es establecer un flujo de gases unidireccional con una entrada y salida claras, de modo que el equipo en progresión interior acceda empleando la ruta fría y los gases de incendio queden aguas abajo del foco en el camino de acceso empleado. Esto solo es posible cuando la entrada y la salida de gases se encuentran a distinto nivel, esto es, cuando entre ambos accesos existe una diferencia de presión.

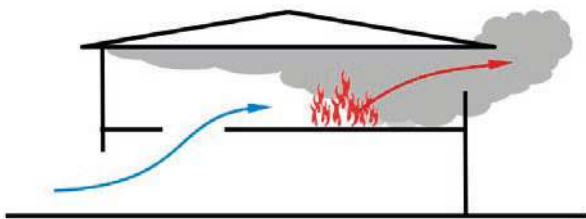


Imagen 106. Ventilación natural unidireccional

La ventilación vertical en cubierta está sumamente extendida en Norteamérica, donde las cubiertas, a base de madera y entramados ligeros, permiten practicar huecos de salida con facilidad. El hueco de salida se realiza en la zona cercana al foco donde las presiones generadas por el incendio son máximas. Esta técnica exige posicionar personal en cubierta para la realización del hueco de ventilación con el riesgo que ello conlleva.

Antes de la generalización del uso de equipos autónomos de respiración, con cargas de combustible tradicionales cuya reacción a la ventilación es más moderada y estructuras de madera sólidas, la ventilación vertical en cubierta constituía una técnica eficaz de lucha contra incendios que permitía crear un colchón de aire fresco por el que progresar interiormente hasta el incendio. Actualmente tiene menos sentido y en el contexto europeo donde muchas de las cubiertas no son perforables, no se aplica.

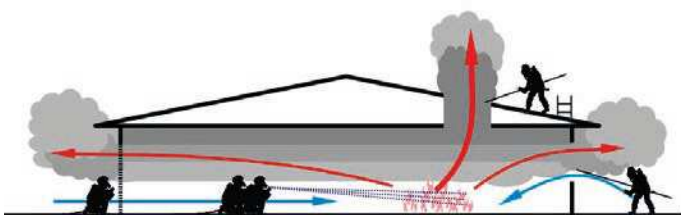


Imagen 107. Ventilación natural en cubierta



Imagen 108. Ventilación natural en cubierta

En una ventilación vertical, el volumen de gases desalojado y, por tanto, la eficiencia de la ventilación dependerán de diversos factores:

- **Diferencia de presión entre la entrada y la salida de gases:** vinculada al gradiente térmico existente en la diferencia de altura entre la entrada y la salida.
- **Tamaño de la salida de gases:** en la medida en que la salida de gases es mayor, el caudal de salida es mayor si bien cada vez crece en menor medida y llega a un punto en que es despreciable. Resulta complicado establecer qué tamaño de salida de gases es el idóneo o mínimo. Dependerá de las condiciones de incendio y la geometría del recinto.
- **Relación entre la salida y la entrada de gases:** A medida que el caudal de entrada va siendo mayor con respecto al de salida, la efectividad de la ventilación aumenta. A efectos prácticos, se debe proporcionar una entrada, al menos, tan grande como la salida ($r=1$). Incluso resulta muy recomendable que la entrada sea, al menos, dos veces el tamaño de la salida ($r=0,5$). En ningún caso se debe reducir la salida de gases para acomodar una relación $r=0,5$ pues tendrá un efecto más negativo

El siguiente gráfico muestra la efectividad de una salida de gases en función de la relación (r) entre la salida de gases (A_e) y la entrada (A_i).

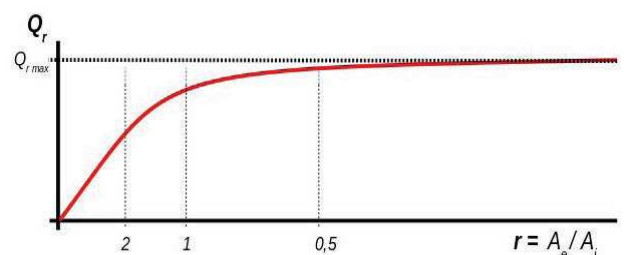


Imagen 109. Variación del caudal efectivo (Q_r) y la relación (r) entre la salida de gases (A_e) y la entrada (A_i). Una entrada dos veces el tamaño de la salida da resultados más que suficientes

Las curvas difieren ligeramente en función de la temperatura de los gases de incendio pero para 500°C se tiene (ver tabla 18).

- **Cercanía de la salida de gases al foco del incendio:** la proximidad al foco permitirá reducir las pérdidas de fricción en el movimiento de los gases de incendio. Por tanto, en la medida de lo posible, se buscará una salida de gases cercana al foco de incendio, lo que, además, impedirá la propagación del incendio a lo largo de la ruta caliente.

Tabla 18. Rendimientos de la ventilación sobre el teórico máximo a 500°C

r=0,5	90%
r=1	71%
r=1,5	50%

b) Ventilación horizontal

La configuración de muchos edificios impide la posibilidad de tener o practicar entradas y salidas a distinta altura. En estos casos, se produce una ventilación horizontal en las aperturas (ventanas y puertas) donde se establecen flujos bidireccionales. La ventilación horizontal de incendios activos favorece la estratificación del incendio con una capa de aire fresco en la zona baja y un colchón de gases calientes en la zona alta.

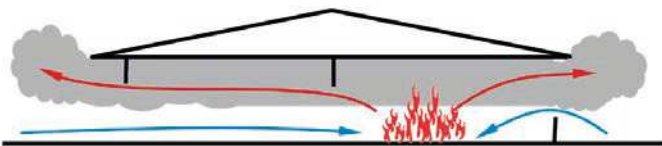


Imagen 110. Ventilación natural horizontal con claro flujo bidireccional

La ventilación horizontal presenta diversos inconvenientes frente a la ventilación vertical:

- **Menor efectividad**
- **No existe un flujo de gases unidireccional** con un acceso libre de gases de incendio hasta el foco
- Implica que el equipo en progresión interior se acerca al incendio empleando la zona baja libre existiendo una capa de gases caliente buscando la salida al exterior inmediatamente encima de ellos.

En una ventilación horizontal el volumen de gases desalojado y por tanto la eficiencia de la ventilación dependerá de diversos factores:

- **Tamaño de la apertura de gases.** En la medida en que la apertura de gases es mayor, se establecerá un flujo bidireccional de mayor. Es complicado establecer un tamaño de apertura de gases idóneo o mínimo para un incendio ya que dependerá de las condiciones de incendio y geometría del recinto.
- **Altura de la apertura de gases.** Las aperturas altas permitirán comunicar las zonas altas con mayor diferencial de presión con respecto al exterior y las mas bajas con diferenciales de presión negativos. Por tanto para una misma superficie de apertura de gases,

una apertura alargada verticalmente tendrá un mayor rendimiento que una horizontal.

- **Cercanía de la salida de gases al foco del incendio.** La proximidad de la salida de gases al foco del incendio permitirá reducir las pérdidas de fricción en el movimiento de los gases de incendio. En la medida de lo posible se buscará una salida de gases cercana al foco de incendio, lo cual impedirá además la propagación del incendio a lo largo de la ruta caliente de gases.

Las cortinas de bloqueo de humo permiten transformar una ventilación horizontal bidireccional en una ventilación vertical unidireccional. Su parte baja no llega al suelo y permite una pequeña entrada de aire en la zona baja que ayuda a mantener la estratificación del recinto.

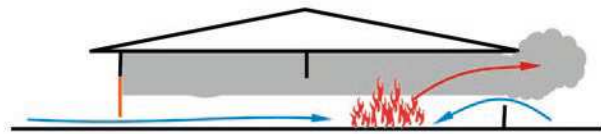


Imagen 111. La colocación de una cortina de bloqueo de humo (en naranja) permite transformar el flujo bidireccional en la entrada en un flujo unidireccional que facilita el acceso de bomberos

2.3. VENTILACIÓN FORZADA

Las técnicas de ventilación forzada emplean ventiladores mecánicos para expulsar los gases contenidos en una estructura. El flujo de gases dentro del incendio ya no está solamente dominado por los diferenciales de presión creados por el incendio sino por los establecidos por ventiladores o extractores de humos.



Debemos entender la ventilación forzada como una herramienta para establecer el flujo de gases que a nivel táctico resulta más conveniente en cada momento. La ventilación forzada permite además establecer flujos unidireccionales que a nivel de intervención presentan diversas ventajas (acceso del personal a lo largo de la ruta fría de gases, canalización de los gases calientes de incendio entre otras).

La multitud de técnicas existentes basadas en la ventilación forzada se diferencian por:

a) **El tipo de diferencial de presión empleado para el movimiento de gases.**

b) **La forma de propulsión del equipo empleado.**

c) **El recorrido del flujo de gases.**

- a) En función del **diferencial de presión**, las técnicas se clasifican en:

- **Ventilación por presión positiva (VPP).**

Consiste en la colocación de un ventilador de presión positiva en el exterior del recinto (concretamente en la puerta principal de acceso) y la presurización de todo el interior de la estructura. Este diferencial de presión genera un

movimiento de gases calientes hacia la apertura exterior. Esta técnica es sencilla de implementar en intervención y el ventilador no requiere medidas de protección especial frente a gases calientes, ya que en ningún caso queda expuesto a su salida.

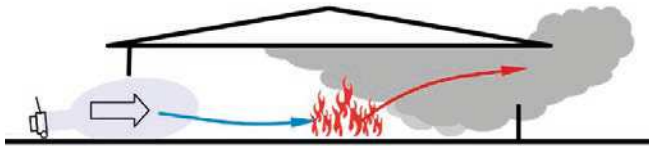


Imagen 112. Ventilación por Presión Positiva: el diferencial de presión interior se crea con la ayuda de un ventilador VPP

El ventilador de presión positiva crea un flujo de gran velocidad que impacta en una apertura del recinto al exterior. En ese momento, el flujo sufre una deceleración que genera un aumento de presión en el interior. Esto puede explicarse de forma muy sencilla mediante la ecuación de Bernoulli.



Un ventilador de VPP genera un flujo de aire con una velocidad media de 8m/s justo antes de introducirse en el interior de una estructura a través de una apertura de 1,6m² y reducir la velocidad del flujo a 4m/s. Calcular el diferencial de presión creado en el interior y el flujo de gases de salida sin tener en cuenta el efecto del incendio.

Partiendo de la ecuación de Bernoulli, se calculará cómo la caída de velocidad supone un aumento de presión entre el punto 1 (en el flujo de aire justo antes de la apertura) y el punto 2 (en la apertura).

$$P_1 + \rho_1 g h_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = P_2 + \rho_2 g h_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2}$$

Al despreciar los efectos del incendio ($\rho_1 = \rho_2$) y considerar el efecto entre dos puntos a la misma altura:

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{\rho(v_1^2 - v_2^2)}{2}$$

$$\Delta P = 0,5 \times 1,2 \times (8^2 - 4^2) = 28,8 \text{ Pa}$$

En virtud del principio de conservación de la masa, el flujo de salida será igual al de entrada, ya que no se está considerando el efecto del incendio y, por tanto, la densidad de los gases de entrada será igual a la de salida.

$$Q = v_2 \times A = 4 \times 1,6 = 6,4 \text{ m}^3/\text{s} = 23.040 \text{ m}^3/\text{h}$$

Respuesta: el diferencial de presiones creado con el exterior es de 28,8Pa y el flujo asciende a 2.3040m³/h.

- **Ventilación por presión negativa (VPN)** también conocida como extracción.

Consiste en la colocación de extractores en las salidas de gases para generar diferenciales de presión negativos en el interior del recinto con respecto al exterior. Se trata, por tanto, de un principio muy similar al de la VPP, pero en vez de originar el flujo en la entrada, lo genera en la salida.

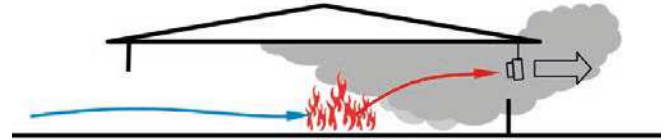


Imagen 113. Ventilación por Presión Negativa: el diferencial de presión con el exterior se crea con la ayuda de un extractor

La VPN se emplea ampliamente en los sistemas de extracción que constituyen las medidas de protección contra incendios en muchos edificios. Sin embargo, su empleo en intervenciones de bomberos enfrenta varios inconvenientes:

- Mientras que en las técnicas de VPP, la colocación del ventilador no supone riesgo alguno para el personal, la localización del extractor sí implica su exposición a los gases de incendio. Esto obliga a disponer de un equipamiento más delicado y costoso.
- Presenta un rendimiento inferior para igual tamaño de hélice y potencia de motor. En un ventilador de VPP el flujo que impacta en la entrada está formado por el aire directamente impulsado por las aspas más el flujo succionado a lo largo de la distancia entre el ventilador y la puerta. En un extractor de VPN el flujo de salida consiste básicamente en el fluido que atraviesa las palas.
- No se pueden emplear motores de explosión porque los gases extraídos interfieren en la combustión interna del equipo.

Por estas razones, la VPN tiene un menor número de aplicaciones en bomberos. Su uso queda limitado a situaciones puntuales y sin otra opción (túneles y garajes).

- b) En función de los diferentes **tipos de propulsión**, los equipos de ventilación forzada pueden ser:

- **Ventiladores térmicos:** accionados por motores de explosión. La potencia de motor puede variar desde los 3CV (propia de pequeños equipos portátiles), a los 150CV (unidades móviles montadas sobre vehículos). Resultan muy prácticos en tanto que proporcionan equipos autónomos con un peso muy reducido, independencia de conexiones y sobrada autonomía si bien presentan un nivel sonoro mayor y arrastran los gases de escape al interior de la estructura. Tampoco es posible conseguir un nivel de protección ATEX ni emplearlos como extractores, ya que los gases de incendio interfieren en el funcionamiento del motor.



Imagen 114. Ventilador térmico

- **Ventiladores eléctricos a la red:** los mo-

tores eléctricos conectados al generador eléctrico del vehículo de bomberos o a la red eléctrica producen el movimiento de la hélice. Son más silenciosos, no producen gases de combustión, son aislables a nivel ATEX y se pueden emplear en extractores. Las desventajas se centran en su dependencia de un cableado eléctrico (lo que hace más complicada su ubicación en determinadas circunstancias) y que, a igualdad de peso y tamaño, consiguen potencias inferiores a los térmicos.



Imagen 115. Ventilador eléctrico del fabricante americano

- **Ventiladores eléctricos a batería:** este tipo de motores se alimenta de una batería incorporada en el propio equipo. Su potencia y autonomía es muy limitada y, a pesar del esfuerzo de los fabricantes en su desarrollo técnico, a día de hoy no constituye una alternativa viable para el equipo de ventilación principal, únicamente como ventilador auxiliar en estructuras complejas.



Imagen 116. Ventilador a batería

- **Ventiladores hidráulicos por turbina:** una turbina solidaria a la hélice del ventilador produce el movimiento. La turbina es alimentada con agua desde la bomba del servicio de bomberos mediante un tendido. Un tendido adicional retorna el agua a la bomba para cerrar el circuito.



Imagen 117. Ventilador hidráulico

Estos equipos evitan los inconvenientes de los motores térmicos (gases de escape, aislamiento ATEX y empleo en extracción) aunque su despliegue requiere una logística mayor y una distancia razonable entre la bomba y el ventilador. Instalar inicialmente el ventilador o cualquier cambio posterior de ubicación requiere mayor esfuerzo y personal que un ventilador térmico.

- **Ventilación hidráulica generada por flujo de manguera:** el movimiento de los gases no se produce por el efecto de una hélice sino por el arrastre generado por un flujo de agua. Un cono de agua a través de la salida de gases (de dentro para fuera) que no ocupa toda la sección de la apertura y genera una depresión interna empleada para la extracción de los gases.

Este tipo de ventilación implica que el bombero en punta de lanza se sitúe en la ruta de salida de gases. Aunque el rendimiento es muy reducido, puede ser una opción en la ventilación final de estancias una vez extinguido el incendio.



Imagen 118. Ventilación hidráulica

- c) A nivel táctico, la clasificación más importante de las técnicas de ventilación forzada recae en el **recorrido que realizan los gases:**

- Ventilación **defensiva:** el flujo de gases generado por la ventilación forzada no atraviesa el foco o recinto de incendio de modo que no se produce un aporte adicional de oxígeno al mismo.
- Ventilación **ofensiva:** el flujo de gases atraviesa el foco del incendio y provee aire fresco generando un crecimiento del mismo en incendios ILV.

2.3.1. VENTILACIÓN EN PRESIÓN POSITIVA DEFENSIVA

Técnica que emplea un ventilador VPP para establecer un flujo de gases que **no atraviesa el foco** del incendio con objeto de expulsar fuera del recinto de incendio los gases de incendio acumulados en la estructura. Se basa en el confinamiento del incendio con lo que no se produce un aporte adicional de oxígeno.

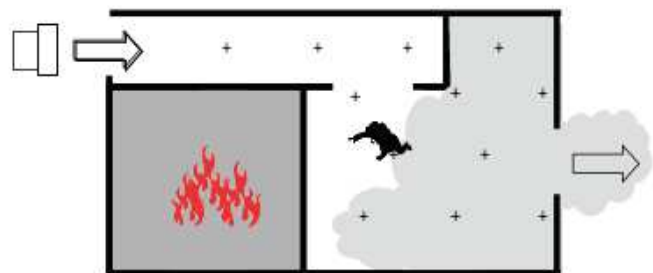


Imagen 119. Esquema en planta de una ventilación en presión positiva defensiva. El flujo creado por el ventilador no atraviesa el foco de incendio

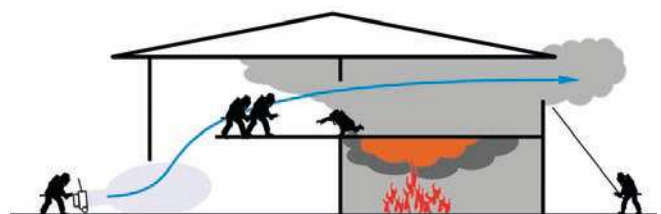


Imagen 120. La Ventilación en Presión Positiva Defensiva se basa en el confinamiento del incendio para evacuar los gases de incendio del resto de la estructura

Ventajas de la VPP defensiva:

- Mejora la supervivencia de víctimas y ocupantes atrapados fuera de la zona directamente afectada por el incendio al introducir una atmósfera respirable.
- Permite realizar operaciones de búsqueda con plena visibilidad.
- Permite limpiar y asegurar los pasillos y cajas de escaleras que constituyen la ruta de escape del edificio para los ocupantes.



El empleo de una VPP defensiva es una decisión táctica relevante que deberá ser tomada por el Mando de la Intervención y que normalmente implica el confinamiento del área de incendio.

El empleo de VPP defensiva se realiza en los siguientes pasos:

1. Confinamiento del incendio
2. Apertura de salida de gases
3. Apertura de la entrada de aire fresco
4. Inicio de la ventilación
5. Valoración del funcionamiento de la ventilación
6. Progresión interior rápida
7. Búsqueda y rescate

Si bien no es la mejor opción, y siempre que sea posible deberá evitarse en favor de un confinamiento efectivo del recinto de incendio, es posible el inicio de una operación VPP defensiva sin confinar el incendio.

El recinto del incendio no podrá tener aperturas al exterior ya que se generaría un flujo de aire a través del incendio y por tanto su crecimiento.

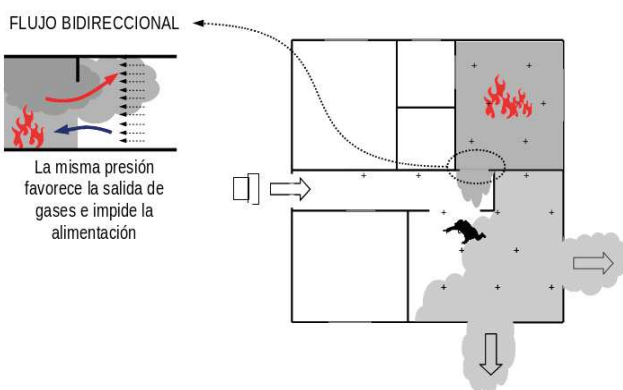


Imagen 121. Ventilación VPP defensiva sin el confinamiento del recinto de incendio. El flujo bidireccional se mantiene tras el inicio de la ventilación. Tan pronto sea posible deberá confinarse el incendio

Antes del inicio de la ventilación, existirá un flujo bidireccional a través de la puerta de acceso con el resto del interior de la estructura. Los gases calientes abandonan el recinto y un flujo más frío y denso entrará por las zonas más bajas. Este flujo se produce por efecto del diferencial de presión existente entre el recinto del incendio y el resto de la estructura: en la parte superior será positivo (evacuación) y en la parte inferior negativo (succión).

Cuando el ventilador se pone en funcionamiento genera en el interior un diferencial de presión homogéneo en todo el recinto. El flujo bidireccional en la puerta del recinto de incendio se mantiene ya que todo el conjunto interior ha sido presurizado por igual. El mismo diferencial de presión que favorece el flujo de entrada, impide que lo haga el flujo de salida.

En cualquier caso sigue habiendo flujo de gases de incendio desde el recinto de incendio (al igual que lo había antes) y éste debiera ser confinado con una puerta o una cortina de bloqueo de humo lo antes posible.

2.3.2. VENTILACIÓN EN PRESIÓN POSITIVA OFENSIVA

La VPP ofensiva es una técnica que emplea un ventilador VPP para establecer un flujo de gases que atraviesa el foco con objeto de producir un cambio de las condiciones en el interior del recinto de incendio que permita un avance rápido de efectivos hasta el mismo.

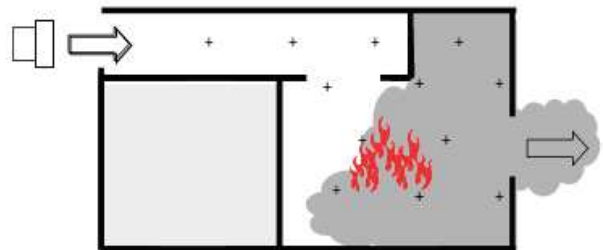


Imagen 122. Esquema en planta de una ventilación en presión positiva ofensiva. El flujo creado por el ventilador atraviesa el foco de incendio

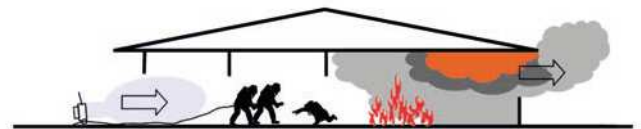


Imagen 123. La Ventilación en Presión Positiva Ofensiva se basa en el barrido de gases de incendio en el recinto en que se encuentra

La VPP ofensiva genera un ventana temporal en la que las condiciones son más favorables para el avance antes de que la respuesta del incendio al aire fresco proporcione un crecimiento del mismo. Durante esa ventana de tiempo, el equipo en progresión interior deberá ser capaz de aplicar técnicas basadas en la aplicación de agua para reducir el potencial del incendio.

Ventajas de la VPP Ofensiva:

- **Mejora la visibilidad.** Visibilidad en un incendio es sinónimo de rapidez, ser capaz de encontrar con rapidez el camino de acceso y escape del incendio y efectuar las tareas de búsqueda y rastreo.
- **Mejora la supervivencia de víctimas.** El aire fresco introducido en el interior del recinto de incendio cae por efecto de su mayor densidad y proporciona un colchón de aire respirable y fresco para las víctimas.
- **Reducción de la temperatura.** Una sustitución rápida de la atmósfera interior del recinto por aire fresco exterior contribuye a la reducción de la temperatura.

- **Menor cantidad de combustible.** Los gases de incendio contienen una fracción de combustible importante proveniente de productos incompletos de la combustión así como de la pirólisis de los combustibles. Al expulsar al exterior la atmósfera de gases de incendio, gran parte de estos combustibles son arrastrados al exterior del recinto donde no contribuyen al crecimiento del incendio o a que se produzcan fenómenos de rápido desarrollo.

Para que la VPP Ofensiva sea eficaz, ésta debe ser muy rápida. La rapidez evitará la mezcla de los gases de incendio con el aire fresco, contribuirá a mejorar las condiciones con mayor rapidez y a disminuir el tiempo necesario para llegar al incendio.

El empleo de VPP Ofensiva se realiza en los siguientes pasos:

1. Apertura de salida de gases
2. Apertura de la entrada de aire fresco
3. Inicio de la ventilación
4. Valoración del funcionamiento de la ventilación
5. Progresión interior rápida
6. Control del incendio

El efecto positivo de una ventilación rápida es la formación de una *cuña de avance* de gases; el aire introducido en la estructura tiene mayor densidad $\rho=1,2\text{kg/m}^3$ a 25°C para el aire frente $\rho=0,46\text{kg/m}^3$ a 500°C de los gases de incendio— por lo que tiende a caer hacia las zonas más bajas. Esto unido al efecto de empuje de la ventilación genera un plano de avance inclinado. La diferencia de densidad dificulta también la mezcla de los dos fluidos que para mezclarse deben vencer un efecto de flotabilidad muy importante. En la realidad siempre se producen zonas de mezcla, pero una ventilación rápida genera un barrido de gases —el fluido frío empuja al caliente— en contraposición a una ventilación lenta donde los fluidos consiguen mezclarse. Visto en sección transversal, observamos una *cuña de avance* que deja a un lado aire limpio y al otro gases de incendio por encima de su rango de inflamabilidad.



Imagen 124. Ventilación VPP Ofensiva en la que como consecuencia de un tamaño de salida insuficiente, el efecto adverso del viento, pérdidas de carga o ventilador insuficiente, no se produce el barrido sino turbulencias que pueden desplazar la mezcla de gases a rangos de inflamabilidad



La clave para una ventilación rápida es una correcta proporción entre la entrada y la salida, la ausencia de efectos negativos de viento, una buena colocación del ventilador y un buen sellado en la estructura. El volumen de la estructura, contrariamente a lo que pudiera parecer, tiene una influencia mucho menor.

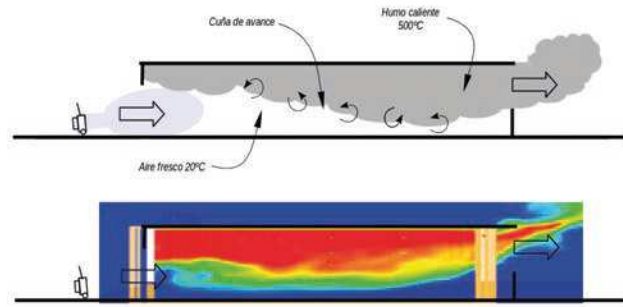


Imagen 125. Esquema de modelización en FDS (Fire Dynamic Simulator) de una Ventilación VPP Ofensiva donde la diferencia de presiones evita que el aire fresco y los gases de incendio se mezclen excesivamente

Consideraciones de seguridad:

- Coordinar la VPP ofensiva con técnicas de aplicación de agua
- Prever un potencial crecimiento del incendio
- Vigilar la propagación del incendio. La ruta de gases tienen que estar bien definida para evitar que los gases de incendio se extiendan a zonas ocultas o no afectadas por el incendio
- No situar al personal a lo largo de la ruta caliente de gases
- Abrir la salida de gases en primer lugar y a continuación comenzar la VPP para evitar que se produzca la mezcla de gases de incendio con aire exterior
- Vigilar las condiciones de viento exterior que tienen un efecto importante sobre el rendimiento de la técnica.
- No emplear en condiciones de backdraft inminente
- No emplear en combustibles muy volátiles o en polvo donde la corriente de aire contribuiría a aumentar la cantidad de combustible en el ambiente.

2.3.3. PRESURIZACIÓN DE RECINTOS

La presurización de recintos es una técnica que emplea ventiladores de VPP para crear diferenciales de presión en zonas anexas a recintos de incendio con el objeto de protegerlos de la propagación del incendio y la dispersión de los gases de incendio.

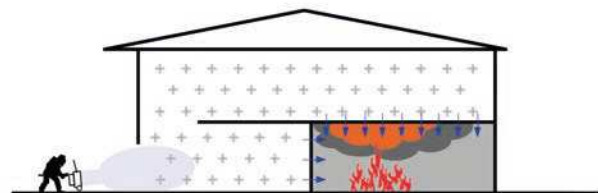


Imagen 126. Presurización de recintos

Cuando existe un diferencial de presión entre dos estancias de una estructura, se establece un flujo de gases que intenta compensar esa diferencia. El fluido se desplaza desde el recinto de mayor presión al de menor presión siguiendo el camino de mínima fricción; aquél por el que la

bajada de presión se realizará de forma más rápida.

En la propagación de incendios la convección –transmisión del calor a través de fluidos calientes en movimiento– juega un papel decisivo. Al aumentar la presión de un recinto sobre el inmediatamente anexo donde se desarrolla un incendio, el flujo de gases de incendio tiende a desplazarse a través de las posibles aperturas hacia el exterior o zonas que no hayan sido presurizadas evitando que los gases de incendio entren en la zona presurizada.

La presurización de recintos también permite que **el humo no acceda a zonas presurizadas**. El ejemplo más común sería la presurización de cajas de escalera. El equipo interior, al acceder desde un tiro de escalera limpio de humos hacia la vivienda donde se encuentra el incendio puede provocar que parte de los gases de incendio se desplacen a la caja de escalera. A través de la pequeña apertura necesaria para el paso de la manguera también estarán escapando gases de incendio. En estas situaciones presurizar la caja de escalera puede evitar que los gases se escapen del interior de la vivienda, más aún si existe algún tipo de apertura desde la vivienda al exterior.

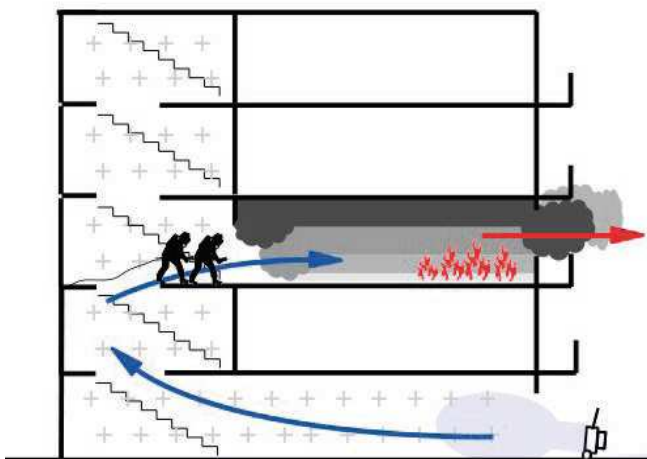
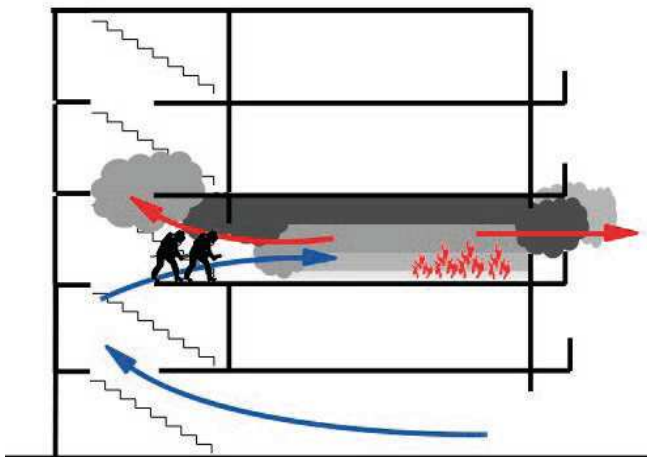


Imagen 127. Comparativa del desplazamiento de los gases de incendio en el acceso a una vivienda en altura desde la caja de escaleras con la misma sin presurizar o presurizada

La presurización de recintos es una sencilla técnica que permite proteger de la propagación del incendio por efecto de la convección pero no así frente a la propagación por radiación o conducción, si bien estas últimas juegan un papel de menor importancia en la propagación de incendios de interior.

2.3.4. USO DE VENTILADORES DE PRESIÓN POSITIVA

Los ventiladores de presión positiva crean un flujo de aire a gran velocidad a través del giro de una hélice radial. Es importante entender el comportamiento y funcionamiento de este flujo de cara a obtener el máximo rendimiento de este equipo en intervención.

a) Huella de un ventilador

Desde el punto de vista de la dinámica fluidos, un ventilador de presión positiva permite crear un campo de vectores en movimiento en las partículas de aire, lo que también se denomina como huella del ventilador. En las inmediaciones del ventilador cada partícula se mueve con una velocidad y dirección definida.

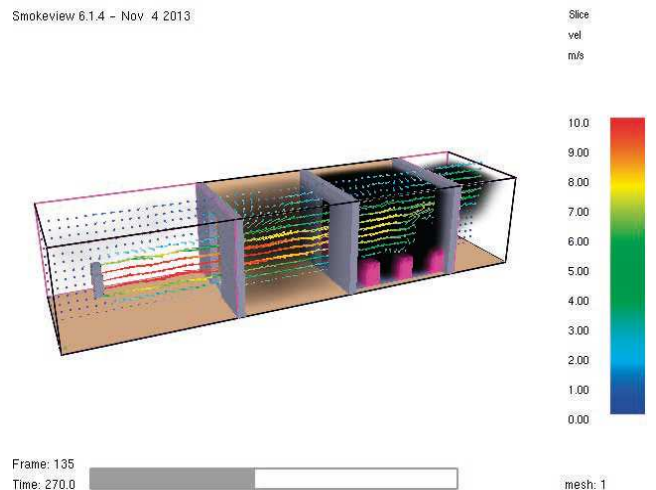


Imagen 128. Modelización FDS (Fire Dynamic Simulator) mostrando el campo de vectores para la velocidad y dirección del movimiento de gases durante una operación de Ventilación VPP Ofensiva

Los distintos ventiladores producen huellas ligeramente diferentes dependiendo de:

- El diseño de hélice
- El régimen de giro
- La rejilla frontal
- La existencia de deflectores
- La forma de la carcasa exterior,

En todo caso, se distinguen dos zonas en la huella de un ventilador:

- Dardo a alta velocidad.
- Bulbo de aire succionado o arrastrado por el dardo a alta velocidad.

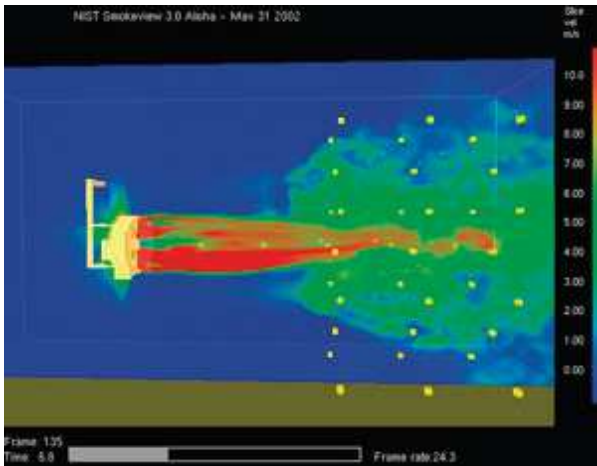


Imagen 129. Huella de un ventilador VPP en FDS (Fire Dynamic Simulator). Se aprecia el dardo de alta velocidad y el bulbo de aire succionado

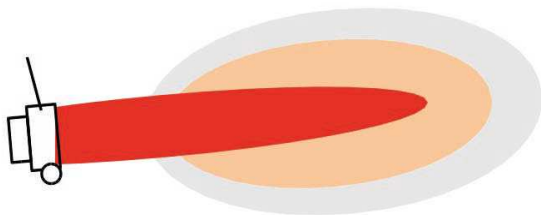


Imagen 130. Esquema de la huella de un ventilador VPP mostrando el dardo de alta velocidad y el bulbo de aire succionado.

Cuando las partículas en movimiento sufren una deceleración al encontrarse con una superficie o un fluido en reposo, se genera un aumento de presión que puede ser cuantificado a través de la ecuación de Bernoulli.

En el caso de que la deceleración sea total hasta el reposo (una pared).

$$v_2 = 0$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{\rho v_1^2}{2}$$

En muchos textos y aplicaciones se suele identificar la huella de un ventilador a la forma de tronco de cono formado desde la sección de salida del ventilador, más o menos abierto, en función de las características del ventilador.

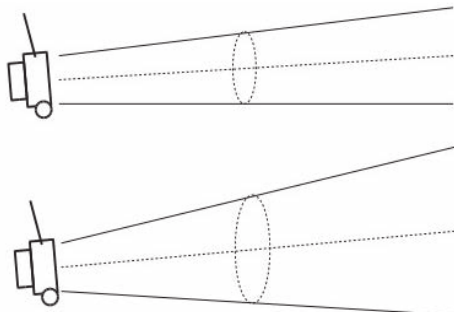


Imagen 131. Ventilador de cono cerrado (arriba) frente a ventilador de cono abierto (abajo)



Que el cono sea más abierto o más cerrado puede tener ventajas e inconvenientes y solo en aplicaciones concretas puede establecerse que una tipología de cono sea mejor que otra

Tabla 19. Comparativa de las ventajas de los conos de los ventiladores

CONO CERRADO	CONO ABIERTO
<ul style="list-style-type: none"> • Permiten un posicionamiento más lejano de la puerta de acceso no dificultan el paso. • Una variación, a partir de la distancia óptima de colocación, no afecta tanto al rendimiento como en los de cono abierto. • El caudal es ligeramente superior al existir mayor distancia entre el ventilador y la puerta de entrada para la succión de aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Al poderse colocar más cerca de la puerta, se ajustan mejor a descansillos o plataformas donde no es posible alejar el ventilador. • El cono más abierto implica menor velocidad de las partículas en la zona central y, por tanto, niveles de ruido aerodinámico inferiores. • Menor nivel de turbulencias.

b) Capacidad de un ventilador

Si bien la medición de la capacidad de un ventilador puede realizarse a través de varios parámetros, es preciso tener en cuenta el **tipo de caudal** referido y el método de medición a la hora de establecer comparaciones:

- **Caudal estricto (Q_e)** [m^3/s] o [m^3/h]: es el volumen de aire que atraviesa la hélice del ventilador en la unidad de tiempo. Es el flujo de aire directamente impulsado por la hélice y no tiene en consideración el flujo succionado. Este es un parámetro que solo puede ser de utilidad en el empleo de VPP con mangas de prolongación.
- **Caudal libre (Q_l)** [m^3/s] o [m^3/h]: es el volumen de aire total del flujo en un espacio abierto en la unidad de tiempo. Es la suma del caudal estricto y el flujo de aire arrastrado (Q_a). Este valor es de escasa utilidad, pues no se ajusta a las condiciones reales de aplicación en las que el flujo debe penetrar a través de una apertura.

$$Q_l = Q_e + Q_a = \max (A_i \times v_i)$$

Donde:

A_i = sección transversal i de la huella del ventilador [m^2].

v_i = velocidad longitudinal media de las partículas de aire en la sección A_i [m/s].

- **Empuje (E)** [N]: si se aplica el principio de conservación de la cantidad de movimiento, la fuerza de empuje de un ventilador es una medida del caudal libre del mismo.

$$Q_l = \sqrt{E \times \frac{A_0}{\rho}}$$

Donde:

Q_1 = caudal libre [m^3/s].

A_0 = sección transversal del ventilador [m^2].

E = empuje [N].

ρ = densidad del aire [$1,2kg/m^3$].

Este puede ser un método efectivo para la valoración relativa del rendimiento comparado de distintos ventiladores.

- **Caudal efectivo (Q_1)** [m^3/s] o [m^3/h]: es el volumen efectivo del flujo de gases creado mediante un ventilador de VPP a través de una estructura medido en la salida de gases. El caudal efectivo proporciona una clara idea de la efectividad y rendimiento de un ventilador de VPP en una operación real.
- **Caudal AMCA240 ($Q_{AMCA240}$)** [m^3/s] o [m^3/h]: caudal efectivo medido de acuerdo al ensayo normalizado AMCA240 (American Air Movement Association). El ventilador VPP se coloca en el exterior de una primera cámara que presuriza su interior a través de una apertura. En una segunda cámara, comunicada a través de una apertura normalizada, un extractor crea una depresión. El cálculo del rendimiento se realiza usando la relación entre la presión exterior y la de las dos cámaras para distintos regímenes de giro del extractor.

Se trata del procedimiento estandarizado más comúnmente empleado por los fabricantes de ventiladores VPP y permite tener en cuenta el efecto del tránsito a través de la estructura.

La mayoría de los ventiladores de entre dieciocho y veinte pulgadas obtienen resultados entre los 25.000 m^3/h y los 30.000 m^3/h .

- **Caudal ULH (Universidad de Le Havre) (Q_{ULH})** [m^3/s] o [m^3/h]: caudal efectivo resultado de la extrapolación a la sección completa de la velocidad del aire medida con un anemómetro en el punto central de la apertura de salida de gases. Si bien este es un sencillo procedimiento, sobrestima claramente el caudal efectivo real al suponer que la velocidad en cualquier punto de la salida es igual a la velocidad en el punto central de la apertura. En esta metodología no está definida la geometría recinto ni la entrada y salida de gases, por lo que el valor dependerá de dichos factores.

$$Q_{ULH} = A_e \times v_e$$

Donde:

A_e = sección transversal de la salida de gases [m^2].

v_e = velocidad en el punto central de la salida de gases [m/s].

A modo de referencia, pueden compararse los valores de caudal efectivo para un mismo modelo de ventilador (Grupo Leader MT236) declarados por el fabricante y el caudal medido en situaciones de uso real según el método ULH.



Los valores de capacidad obtenidos en condiciones reales de intervención difieren significativamente de los referidos por los fabricantes en condiciones de laboratorio de ensayo. Esto obedece a que el sellado de los recintos no es perfecto, existen elementos de fricción y los tamaños de apertura y salida de gases no permiten obtener resultados tan óptimos como los de laboratorio.

Ensayos laboratorio

$$Q_{AMCA240} = 30000m^3/h$$

$$Q_{ULH} = 43000m^3/h$$

Empleo en situación real

$$Q_{ULH} = 14400 \text{ a } 18000 \text{ m}^3/h$$

c) Factores en la elección de un ventilador VPP

Es un error extendido entre los servicios de bomberos basar la elección de un ventilador VPP en criterios de capacidad. Partiendo de que no existe un equipo superior a otro, sino uno más o menos idóneo en función del entorno operativo (tipo de construcción, tamaño, geometría de las entradas, distancia hasta la entrada) y de la operativa concreta (personal disponible, colocación en el vehículo, suministro eléctrico), la elección debe realizarse considerando distintos factores:



Imagen 132. Distintos modelos de ventiladores en el rango de 18 a 21 pulgadas utilizados en operaciones más habituales de ventilación VPP. De izquierda a derecha: Ventry 20GX160, Leader MT236, Tempest SP 18" y Tempest BD 21"

- **Capacidad del ventilador.**

Los recintos de gran volumen con baja estanqueidad o con pasillos y elementos de fricción al flujo en el interior, requieren ventiladores de mayor capacidad. La capacidad de un ventilador crece ligeramente con la potencia; sin embargo, es el aumento de diámetro lo que la incrementa en mayor medida.

Un solo ventilador de entre dieciocho y veinte pulgadas (el tamaño más común para uso en bomberos) con valor $Q_{AMCA240}$ entre 25.000 m^3/h y los 30.000 m^3/h suele tener suficiente capacidad para realizar operaciones de VPP ofensivo en viviendas unifamiliares de tamaño medio con niveles de estanqueidad estándar u operaciones de VPP defensivo en bloques de viviendas de cuatro a seis plantas.

- **Distancia de colocación.**

Los ventiladores con distancia de colocación a la puerta mayor permiten el paso con facilidad al personal, aunque son más difíciles de colocar en espacios reducidos como rellanos pequeños o puertas con escalera de entrada.

- **Sistema de alimentación.**

Eléctricos, térmicos e hidráulicos presentan distintas ventajas a la hora de operar. El uso de motores eléctricos requiere una alimentación. Esto puede ser problemático en entornos donde la ubicación de la bomba esté distante de la puerta de entrada. Los ventiladores hidráulicos, por su parte, requieren un despliegue de tendidos que los limita a aplicaciones muy específicas donde no pueda aplicarse otro tipo de alimentación (entornos inflamables).

El sistema de alimentación más generalizado es el motor térmico, ya que dota al ventilador VPP de autonomía y libertad de ubicación.

- **Diámetro de hélice.**

El tamaño de cono necesario vendrá determinado por el tamaño de la apertura de entrada. A medida que el ventilador se aleja de la entrada, el cono aumenta en tamaño, aunque llega un momento en que el rendimiento cae de forma notable. Un diámetro de hélice mayor permite, a igual distancia, trabajar con una apertura de entrada mayor. Un solo ventilador de entre dieciocho y veinte pulgadas permite trabajar con aperturas de hasta 2,5m de altura/anchura máxima; aunque, a partir de 2m de altura/anchura su rendimiento baja de forma notable.

- **Peso.**

Si bien casi todos los ventiladores disponen de ruedas para su transporte, es preciso tener en cuenta que los más pesados pueden requerir varias para ser depositados en el suelo desde el vehículo que los transporta. .

Más importante aún es el hecho de que muchas operaciones en bloques de viviendas pueden requerir la colocación de un ventilador en la planta de incendio. Existen ventiladores de entre dieciocho y veinte pulgadas con peso inferior a 35kg que permiten que un solo bombero lo desplace por las escaleras.

- **Ruido.**

Partiendo de que la coordinación de una operación de ventilación es esencial, es preciso ser consciente de que, una vez arrancado el ventilador VPP, el nivel de ruido crece y dificulta las comunicaciones. Gran parte del nivel sonoro se produce por ruidos aerodinámicos en el giro y choque de las palas de la hélice contra el aire. Por tanto, el diseño de la hélice es el factor fundamental que contribuye a la reducción de ruido.

- **Diseño funcional**

Los ventiladores sobre patas permiten que el flujo se despegue del suelo (que se traduce en un mejor rendimiento), menos arrastre de material suelto y posibilidad de colocarse en escaleras. Los ventiladores con las ruedas en la parte anterior o posterior presentan otras ventajas de cara a su movilidad. Los sistemas y rangos de inclinación entre fabricantes varían en nivel de efectividad.

d) Colocación de un ventilador VPP



La huella de un ventilador (el campo de vectores velocidad de las partículas de aire) varía con el diámetro y diseño de la hélice. La distancia óptima de colocación para obtener el máximo caudal efectivo depende de la huella del ventilador y del tamaño de la entrada.

El siguiente gráfico muestra la variación de caudal en función de la distancia a la entrada en un mismo modelo de ventilador.

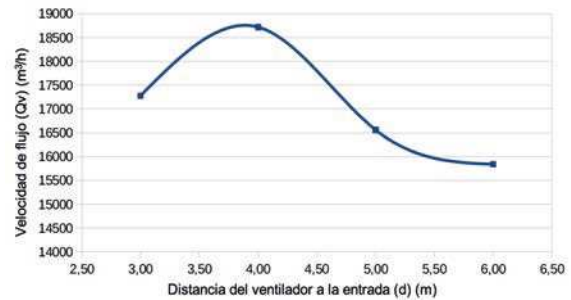


Imagen 133. Variación del caudal efectivo con la distancia del ventilador a la puerta.— Tests de flujo en las instalaciones de Groupe Leader en Octville-sur-Mer (Francia)

Cuando el ventilador está muy cerca de la entrada, el flujo de aire entrante es menor, ya que no hay distancia suficiente como para que el volumen de aire arrastrado penetre en la estructura; tan solo entra el flujo correspondiente al dardo central. Además, gran parte de la entrada no queda presurizada y parte del aire escapa del interior del recinto por las zonas externas de la entrada.; el mismo flujo que entra, vuelve a salir y, de nuevo, es arrastrado al interior generando un flujo de gases estéril de cara a la ventilación. A este efecto se le llama **cortocircuito**.

Por otro lado, cuando el ventilador está a mayor distancia, la velocidad media del flujo es menor y, como consecuencia, el diferencial de presión que es capaz de crear en el interior del recinto es menor. .

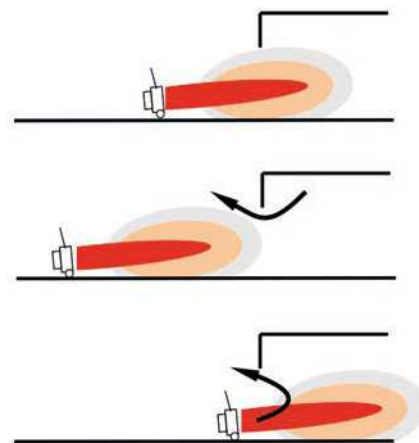


Imagen 134. Arriba, ventilador en su posición óptima. En el centro ventilador a excesiva distancia, el flujo de aire que impacta con la apertura lo hace a muy baja velocidad. Abajo, ventilador excesivamente cerca con problemas de recirculación o "cortocircuito"

Existe una variación importante de unos modelos a otros; para los modelos más habituales, (entre dieciocho y veinte pulgadas) y una puerta de dimensiones estándar (2m x 0,9m), la distancia óptima varía entre los 1,8m y los 5m. Todo ventilador debe ser ensayado con el objetivo de determinar la distancia óptima de colocación para los tamaños de puerta habituales.



De cara a la colocación del ventilador, se deberá tener en cuenta:

- Como regla general, una distancia excesiva afecta menos al rendimiento que una distancia demasiado corta. En caso de duda, mejor más alejado.
- En relación al tamaño de la entrada, se deberá tener en cuenta la mayor de las dimensiones (altura o anchura), ya que la sección transversal de la huella de un ventilador es circular.

e) Barómetro de entrada

Cuando se emplean técnicas de VPP Ofensivas y el ventilador es colocado una puerta a cuyo otro lado el recinto ya está inundado de humo puede plantarse el empleo del Barómetro de entrada. Esta técnica consiste en dirigir el flujo del ventilador de modo que no quede centrado en la apertura de acceso sino un poco más bajo (en torno a un 15% de la altura). La parte superior de la apertura está sometida a una menor presión por parte del VPP que la parte inferior, donde la velocidad del flujo es mayor.



Imagen 135. Esquema general del funcionamiento del barómetro de entrada. La salida continua o creciente de gases a través del hueco deliberadamente dispuesto en la parte superior indica que la ventilación no funciona correctamente

Cuando comienza la ventilación se generará un pequeño flujo de gases de salida en la zona superior. Si ese flujo no reduce su magnitud, es síntoma claro de que la salida de gases se ha cerrado o alguna puerta entre medias está cerrada no pudiéndose establecer un flujo de gases unidireccional.



Imagen 136. Bomberos observando el funcionamiento del barómetro en la entrada al inicio de una operación con empleo de Ventilación VPP Ofensiva

El barómetro permite al personal que está en la entrada valorar el funcionamiento de la ventilación ya que en la mayoría de los casos no tiene visión sobre la salida de gases. Esta técnica no implica que no sea necesario realizar una valoración del funcionamiento de la ventilación en la salida de gases sino que ofrece una información adicional al equipo que progresará por el interior.

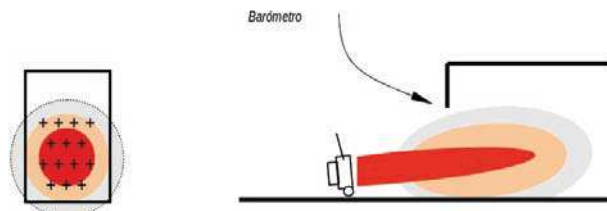


Imagen 137. Esquema transversal y longitudinal de la huella del ventilador al disponer un barómetro de entrada

Ventajas:

- Información sobre el funcionamiento de la ventilación desde la entrada

Inconvenientes:

- Ligera reducción en la efectividad de la ventilación
- En situaciones de gases extremadamente calientes favorece la turbulencia
- Solo aplicable en caso de que el recinto inmediatamente tras la puerta donde se coloca el ventilador esté inundado de humo

2.3.5. ENTRADA DE GASES



En las técnicas de VPP, tanto de carácter ofensivo como defensivo, se emplea una sola entrada para establecer el flujo de gases unidireccional a lo largo de la estructura. En ocasiones, pueden emplearse varias entradas, pero en todas ellas deberá ponerse un ventilador de tal modo y potencia que, a nivel de entrada, la presión ejercida por todos ellos sea similar.

Una de las ventajas de la VPP sobre otras técnicas de ventilación forzada es que la colocación del equipo se realiza generalmente en la misma puerta por la que se accede a la operación. Esto favorece que el equipo en progresión interior acceda con un soplo de aire fresco a su espalda desde el primer momento.

El tamaño de la entrada de gases determina en gran medida el tipo de ventilador VPP a emplear. Los ventiladores habituales de dieciocho a veinte pulgadas de diámetro han sido diseñados y optimizados para el tamaño estándar de puertas de acceso a viviendas (2x0,9m, 1,8m²). Cuando la entrada de ventilación excede la capacidad del ventilador, se debe emplear, bien un ventilador de mayor diámetro, bien varios ventiladores en paralelo. De este modo, las huellas generadas por cada uno cubrirán la totalidad de la entrada con pequeños solapes entre ellas.

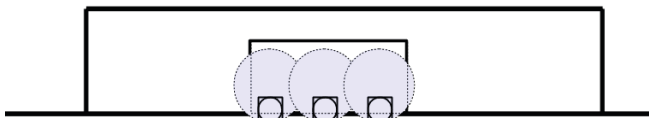


Imagen 138. Varios ventiladores en paralelo cubriendo una entrada de gran tamaño

Cuando se empleen técnicas de VPP para la presurización de recintos es preciso reducir el tamaño de entrada buscando la supresión total de la salida de gases y acortar la distancia de colocación del ventilador para ajustarse al dardo de alta velocidad central. El flujo de aire que impacta en la atmósfera interior lo hará a mayor velocidad y, por tanto, será capaz de crear un mayor diferencial de presión.



Imagen 139. Cortina de bloque de humo recogida hasta media altura para reducir el tamaño de la apertura de entrada y conseguir una mayor presurización. En este test se consiguió aumentar la presión desde los 30Pa de media con la apertura completa a 60Pa con la apertura al 50%

2.3.6. SALIDA DE GASES

Idealmente, la creación de un flujo unidireccional bien definido requiere una entrada y una salida. Se puede considerar que la apertura de varios huecos o ventanas dentro de un mismo recinto constituye una sola salida.

Lo que debe evitarse, en todo caso, es una ramificación del flujo de gases con huecos de salida diferentes a los del recinto por el que se pretende evacuarlos.

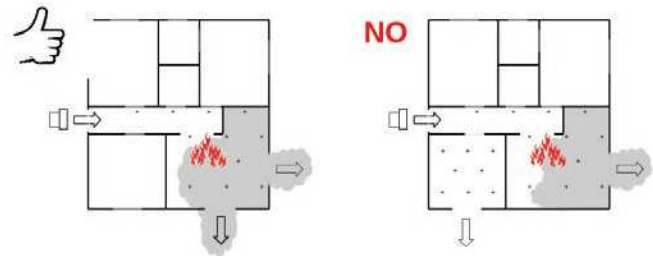


Imagen 140. Dos aperturas en el recinto de incendio contribuyen a la evacuación de gases de forma conjunta mientras que dos aperturas en distintos recintos debilitarán el flujo principal necesario en el recinto de incendio



La opción ideal en operaciones donde se emplee la VPP ofensiva es establecer la salida de gases en el punto más cercano al foco del incendio por varios motivos:

- **Reducir la ruta caliente** del flujo de gases (el espacio de gases en movimiento entre el foco y la salida de gases) deja menos espacio para que se mezcle con los gases procedentes de incendio. Una vez expulsados los gases de incendio, pueden favorecer la propagación del incendio por fachada, pero no contribuirán al desarrollo interior del incendio.
- Cabe esperar que un incendio pueda inflamar los combustibles a lo largo de la ruta caliente de gases. Al reducir la ruta caliente, también se **reduce el efecto de propagación** del incendio. Los gases abandonan la estructura rápidamente sin afectar a otras zonas.
- Por el comportamiento de víctimas en incendio se sabe que tienden a abandonar el recinto del incendio en dirección a la entrada natural de la vivienda. Uno de los riesgos del empleo de las técnicas de VPP ofensiva es la presencia de víctimas en la ruta caliente de gases. Al optar por una salida en el propio recinto de incendio, se **reduce la probabilidad de que la víctima se encuentre en dicha ruta**; en primer lugar porque ésta es más reducida y, en segundo lugar, porque se evita sacar los gases por zonas donde la víctima intentará ponerse a salvo.

La cámara térmica resulta de gran utilidad durante la valoración perimetral exterior. Ya que permite comparar la temperatura exterior de las distintas ventanas para determinar la localización del foco del incendio.

En operaciones de VPP defensiva, la salida de gases deberá localizarse en la posición más alta posible. Los humos en el interior se habrán estratificado por efecto de la temperatura, de modo que la ventilación VPP solo será capaz de evacuar el humo acumulado hasta la altura de salida de gases practicada.

Para la presurización de recintos, el tamaño de la salida de gases deberá ser lo más pequeño posible o, aun mejor, una ausencia total de salida. En la medida en la que se reduzca el flujo de gases y se mantenga la posición del ventilador VPP, el diferencial de presión interior será mayor.

2.3.7. VENTILACIÓN SECUENCIAL

La limpieza completa de un recinto complejo en una técnica VPP defensiva requiere un barrido secuencial de las estancias y el uso de múltiples salidas de gases. En ningún

caso se abrirán de forma simultánea todas las estancias que se quieran ventilar pues el rendimiento de la ventilación será muy bajo. Este es el procedimiento óptimo de la ventilación secuencial:

1. Abrir la salida de gases más cercana a la puerta de entrada.
2. Una vez limpia la zona conexas a dicha apertura, abrir la segunda salida de gases más cercana a la puerta.
3. Cerrar inmediatamente la primera salida de gases.
4. Repetir el proceso sucesivamente de modo que en ningún momento queden cerradas todas las salidas de gases y que solo, de forma puntual (mientras se cierra la salida de gases anterior), haya dos abiertas. La apertura de salida de gases se realizará desde la zona más cercana a la entrada a la más lejana para evitar que se disperse humo a zonas ya limpias.

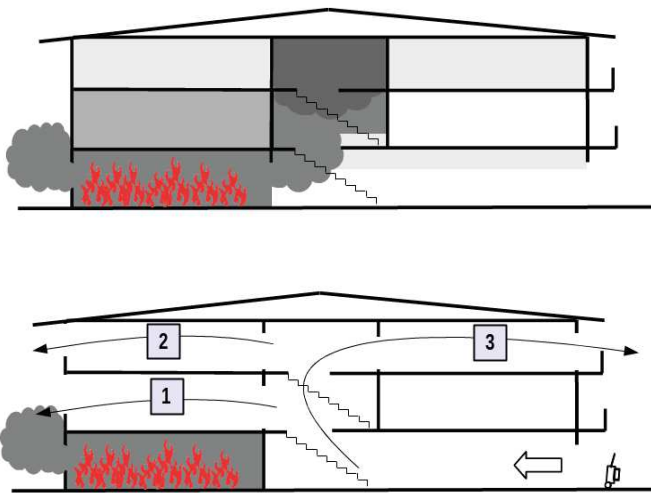


Imagen 141. Ventilación secuencial en una operación de ventilación defensiva para limpiar de humo todas las estancias de un bloque de viviendas

2.3.8. VARIACIÓN DEL CAUDAL DE VENTILACIÓN DEPENDIENDO DE LA RELACIÓN ENTRE ENTRADA Y SALIDA

Con carácter general se establece que:

- Una salida de mayor tamaño implica mayor caudal.
- El caudal de salida no solo depende del tamaño de la salida, sino también del de entrada.
- Una ventilación poco efectiva en operaciones ofensivas (flujo a través del foco de incendio) puede implicar el crecimiento del incendio por la mezcla de aire y gases de incendio.

Aplicando el Principio de Conservación de la Masa, el Principio de Conservación de la Cantidad de Movimiento y la Ecuación de Bernoulli es posible determinar el caudal efectivo (Q_r) de un flujo generado por un ventilador de VPP y expresarse en base a la relación entre los tamaños de salida (A_e) y la entrada de gases (A_i). A efectos de simplificación de la relación se descarta el efecto del incendio.

$$Q_r = k \times \frac{r}{\sqrt{1 + r^2}}$$

con

$$r = \frac{A_e}{A_i}$$

Donde:

Q_r = caudal efectivo del flujo generado por la VPP excluyendo el efecto del incendio [m^3/s].

k = constante que depende del flujo del ventilador, su diámetro, la geometría de la entrada y el coeficiente de pérdida de presión del recinto.

A_e = área de la salida [m^2].

A_i = área de la entrada [m^2].

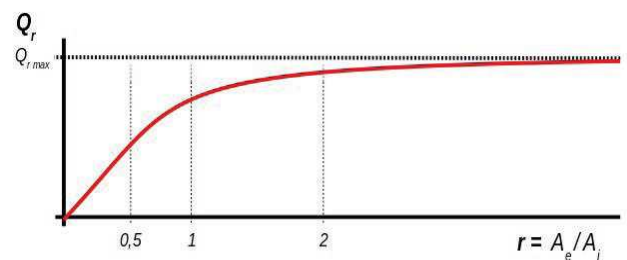


Imagen 142. Variación del caudal efectivo (Q_r) y la relación (r) entre la salida de gases (A_e) y la entrada (A_i). Una salida dos veces el tamaño de la salida da resultados más que suficientes

Una salida dos veces el tamaño de la entrada da resultados más que suficientes.

La representación gráfica de la expresión permite analizar la influencia de la relación entre la salida y la entrada de gases en la ventilación VPP:

- A medida que la salida de gases (A_e) se hace mayor con respecto a la entrada (A_i), el caudal efectivo (Q_r) crece hasta alcanzar una asíntota (límite para el cual, un mayor aumento de la salida implica un aumento del caudal despreciable).
- En un recinto habitual de incendio el rango posible para la relación r entre la salida y la entrada varía entre $r=0,5$ y $r=4$. (tabla 20)
- Reducir el tamaño de la entrada con objeto de obtener un valor de r mayor sin variar la salida de gases no aumenta la efectividad de la ventilación. Al reducir el tamaño de la entrada y, por tanto, su geometría, modificamos el valor k de la expresión anterior y el rendimiento se reduce.
- A efectos prácticos, el tamaño de la entrada viene determinado por el tamaño de la puerta de acceso y la variación de r se consigue modificando el tamaño de la salida de gases (A_e).

r	Rendimiento (%)
$r=0,5$	50%
$r=1$	71%
$r=1,5$	83%
$r=2$	89%
$r=3$	95%
$r=4$	97%

- Para operaciones con técnicas VPP ofensivas se recomienda un valor mínimo de $r=1$ (salida igual a la entrada).
- Para operaciones con técnicas VPP defensivas se recomienda un valor mínimo de $r=0,5$ (salida la mitad de tamaño que la entrada).
- En cualquier caso, a partir de $r=2$, la eficacia de la ventilación no aumenta excesivamente, por lo que la apertura de más salidas (considerando el tiempo y esfuerzo necesario para ello) no compensa.

Tabla 21. Relación salida / entrada ($r = A_e / A_i$)

	r recomendable	r mínimo
Ventilación natural vertical	$r < 0,5$	$r < 1$
VPP Ofensivo	$r > 2$	$r > 1$
VPP Defensivo	$r > 2$	$r > 0,5$

Este cuadro no considera los efectos exteriores de viento. Para VPP la r recomendable se reduce cuando la salida se encuentra a barlovento (ventilación contra el viento).

2.3.9. VARIACIÓN DEL DIFERENCIAL DE PRESIÓN INTERIOR DEPENDIENDO DE LA RELACIÓN ENTRE ENTRADA Y SALIDA

Previamente se ha indicado cómo una mayor velocidad de flujo implica una caída de la presión. Cuando en un recinto sometido a ventilación VPP, el flujo y la eficiencia de la ventilación es alta, el diferencial de presión interior es bajo. Si el objetivo es evacuar los gases del interior, esta es la opción más conveniente. Cuando se busca crear un diferencial de presión en el interior para evitar la propagación del incendio y la dispersión de gases, será más adecuado reducir el flujo disminuyendo el tamaño de la salida de gases.

Aplicando el Principio de Conservación de la Masa, el Principio de Conservación de la Cantidad de Movimiento y la Ecuación de Bernoulli, es posible **determinar el diferencial de presión (ΔP)** generado por un ventilador de VPP y expresarse según la relación entre los tamaños de salida (A_e) y la entrada de gases (A_i). A efectos de simplificación de la relación se descarta el efecto del incendio.

$$\Delta P = \frac{k'}{(1 + r^2)}$$

con

$$r = \frac{A_e}{A_i}$$

Donde:

ΔP = diferencial de presión en el interior del recinto excluyendo el efecto del incendio [Pa]

k' = constante que depende de la densidad del fluido, el flujo del ventilador, su diámetro, la geometría de la entrada y el coeficiente de pérdida de presión del recinto

A_e = área de la salida [m²]

A_i = área de la entrada [m²]

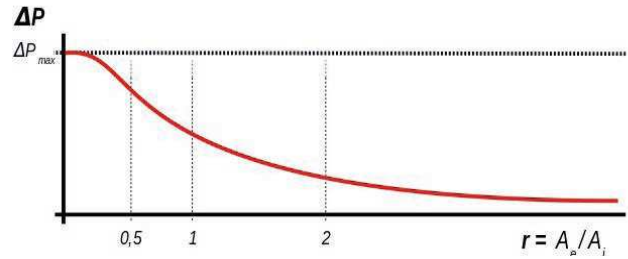


Imagen 143. Variación del diferencial de presión interior (ΔP) y la relación (r) entre la salida de gases (A_e) y la entrada (A_i)

La representación gráfica de la expresión permite analizar la influencia de la relación entre la salida y la entrada de gases en la **presurización** de un recinto sometido a VPP:

- A medida que la salida de gases (A_e) se hace mayor con respecto a la entrada (A_i), el diferencial de presión (ΔP) se reduce desde el máximo valor posible (cuando la salida está cerrada) hasta aproximarse a 0.
- En un recinto habitual de incendio el rango posible para la relación r entre la salida y la entrada varía entre $r=0,5$ y $r=4$. Los diferenciales de presión creados sobre el teórico máximo para estos valores serían: (TABLA 22)
- Aumentar el tamaño de la entrada con objeto de obtener un valor de r menor sin variar la salida de gases, no aumenta el diferencial de presión. Al contrario, aumentar su geometría modifica el valor k' de la expresión anterior y el rendimiento se reduce.
- A efectos prácticos, el tamaño de la entrada viene determinado por el tamaño de la puerta de acceso y la variación de r se consigue modificando el tamaño de la salida de gases (A_e).
- En operaciones de presurización de recintos, siempre que sea posible, se procurará cerrar toda salida de gases.
- En operaciones de ventilación VPP ofensivas o defensivas, el objetivo es evacuar los gases. La relación entre la entrada y la salida se ha de basarse en criterios de efectividad de la ventilación y no del valor del diferencial de presión interior.

Tabla 22. Diferenciales de presión creados sobre el teórico máximo

$r=0,5$	80%
$r=1$	50%
$r=1,5$	30%
$r=2$	20%
$r=3$	10%
$r=4$	6%

2.3.10. PÉRDIDAS DE EFICIENCIA: MAL SELLADO Y FRICCIÓN

Cuando un recinto es objeto de una ventilación o presurización mediante un ventilador VPP, dos factores relativos al recinto influyen en su eficiencia:

- **Pérdidas de flujo:** la falta de sellado o aperturas no deseadas (y que no pueden ser cerradas) constituyen una pérdida constante de flujo y presión. Se trata de un cúmulo de pequeñas pérdidas en cajas de persiana, rejillas de ventilación, conductos de extracción, ventanas deslizantes, rendijas de puertas, etc. Las viviendas con buen aislamiento térmico gozan de mayor estanqueidad que las tradicionales.
- **Fricción:** a lo largo del recorrido del flujo de gases, se producen giros, estrechamiento y choques con elementos fijos que implican aceleración y desaceleración de las partículas de aire con la consiguiente pérdida de energía. A mayor longitud y sinuosidad en el recorrido del flujo de gases, mayor fricción, por lo que resulta necesaria una mayor cantidad de energía para mantener el flujo.

Durante la aplicación de una ventilación VPP, tan pronto como sea posible, debe revisarse todo el recorrido de los gases cerrando aquellos huecos innecesarios. Esta tarea puede ser incluso realizada desde el exterior. Cerrar las puertas de acceso a habitaciones, a pesar de que sus ventanas estén cerradas, contribuye a una mayor estanqueidad.



El volumen de la estructura por sí mismo no supone una pérdida de flujo o presión. La **disminución de la eficiencia** está directamente relacionada con la cantidad de aperturas no deseadas y de elementos de fricción en el recorrido.

- Las **pérdidas de flujo** suponen una caída de la presión interior y, por tanto, un menor flujo en la salida de gases designada.
- Los **elementos de fricción** suponen una mayor resistencia al tránsito del fluido y, por tanto, un menor caudal efectivo de salida.

La eficiencia en la ventilación constituye un factor crítico en operaciones de ventilación VPP ofensiva. Su empleo en viviendas con bajo nivel de estanqueidad o que requieran un recorrido largo del flujo de gases hasta el recinto de gases debe valorarse especialmente, pues un caudal reducido puede no ser capaz de realizar el barrido de los gases de incendio y, en cambio, generar una mezcla de gases de incendio y aire hasta su rango de inflamabilidad.

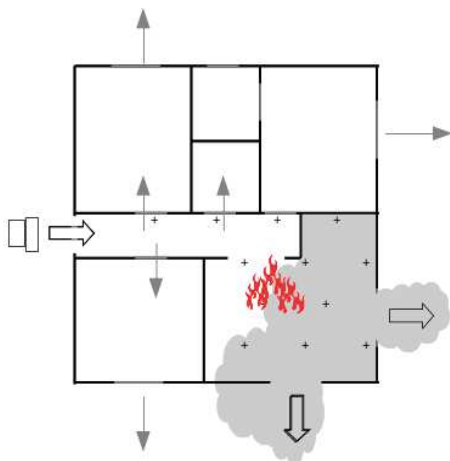


Imagen 144. El mal sellado de la estructura genera pérdidas de flujo e ineficiencia. Esto dificulta especialmente las operaciones con técnicas de Ventilación VPP Ofensiva

2.3.11. USO COMBINADO DE VENTILADORES

Existen diferentes situaciones que pueden requerir el empleo de una combinación de ventiladores:

- Hueco de entrada excesivamente grande: un solo ventilador VPP no es capaz de cubrir la entrada.
- Pérdidas de flujo: un volumen importante del flujo se pierde a través de salidas no deseadas.
- Pérdidas por fricción: ya sea por la longitud del recorrido de gases, por la existencia de pasillos estrechos o por numerosos cambios de dirección, la energía cinética que imprime el ventilador a las partículas de aire acaba perdiéndose sin resultados en la evacuación de los gases.

Tipología del uso combinado de ventiladores:

- Ventiladores **en paralelo:** los ventiladores se disponen en paralelo para cubrir un hueco de entrada excesivamente grande para un solo ventilador. La distancia de separación entre ventiladores es igual al tamaño óptimo de la apertura para un solo ventilador. En general para ventiladores de dieciocho a veinte pulgadas, 2m de separación entre ventiladores y corrientes de flujo paralelas sería la opción más común.
- Ventiladores **en serie en la entrada:** datos experimentales apuntan a un aumento del caudal efectivo de entre el 5% y el 10% en función de las distancias entre ventiladores. Por tanto, también se trata de una configuración ineficiente cuyo empleo debe evitarse en favor de técnicas más efectivas.



Imagen 145. Ventiladores en serie

Detrás de la falta de efectividad de esta técnica reside el hecho de que el diseño de la hélice de los ventiladores y, en concreto, el paso de hélice está preparado para imprimir movimiento al aire que está en reposo y no para acelerar aire que ya tiene una considerable velocidad.

- Ventiladores **en V:** dos ventiladores colocados en paralelo con ambos flujos dirigidos al centro de la apertura (a diferencia de los ventiladores en paralelo, cuyos flujos siguen trayectorias paralelas). Datos experimentales apuntan a un aumento del caudal efectivo de hasta un 35% con una distancia entre ventiladores igual al tamaño de apertura óptima (2m para ventiladores de dieciocho a veinte pulgadas).

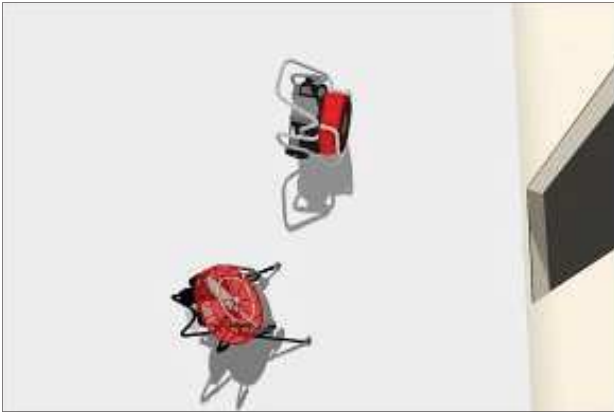


Imagen 146. Ventiladores en V

- Ventiladores en serie a lo largo del recorrido: un primer ventilador (el de mayor capacidad –denominado principal–) se coloca en la entrada del recinto. Las pérdidas de carga a lo largo del recorrido hacen que, en un punto concreto, la velocidad sea muy baja. En esa posición se coloca el segundo ventilador (llamado auxiliar) volviendo a impulsar el flujo.

El empleo de esta técnica puede generar un aumento del flujo de gases superior a cualquiera de las dos anteriores. El segundo ventilador, además, genera una depresión por su parte posterior hacia la cual tiende a dirigirse el flujo del ventilador principal, reduciendo aún más el efecto de otras pérdidas de carga.

En edificios multivivienda en varias alturas esta disposición resulta muy recomendable, incluso imprescindible en la mayoría de los casos si se trata de ventilación VPP ofensiva.

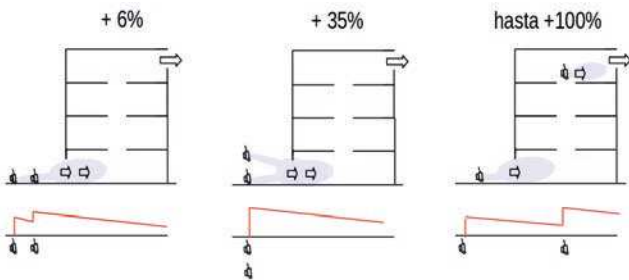


Imagen 147. Comparación del aumento del caudal efectivo con distintas combinaciones de ventiladores

2.3.12. INFLUENCIA DEL VIENTO EN LA VPP

Cuando el viento incide sobre las fachadas de una edificación genera un diferencial de presión cuya magnitud depende de la velocidad del viento, de la geometría del edificio y de la posición de la fachada respecto al viento. Con carácter general, se produce una sobrepresión en las fachadas a barlovento (orientadas al viento) y una succión en las fachadas a sotavento (aguas a abajo). En cubiertas y fachadas laterales (no directamente expuestas al viento), el diferencial de presión varía desde valores positivos (sobrepresión) en la zona próxima a barlovento, a valores negativos (succión) en la zona próxima a sotavento.

Se denomina presión eólica básica (P_{wb}) al aumento de presión resultante de reducir la velocidad de las partículas de viento hasta su detención completa.

Donde:

$$P_{wb} = \frac{\rho v^2}{2}$$

donde

P_{wb} es la presión eólica básica [Pa]

ρ = densidad del aire ($\rho = 1,2\text{kg/m}^3$).

v = velocidad referencial del viento [m/s].

Este croquis refleja los diferenciales de presión entre las fachadas para una configuración particular de cubierta..

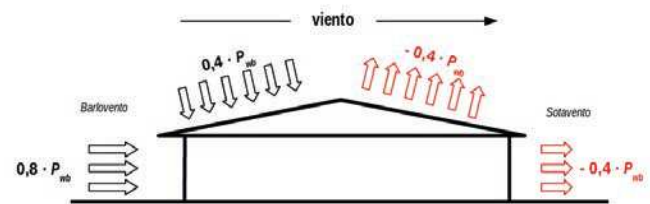


Imagen 148. Distribución de la presión eólica en un edificio con cubierta a 40° según NBE-AE88



Calcular el diferencial de presión creado por un viento a 6m/s entre las fachadas a barlovento y sotavento.

$$v = 6 \text{ m/s}$$

$$P_{wb} = \frac{\rho v^2}{2}$$

$$P_{wb} = \frac{1,2 \times 36}{2} = 21,6 \text{ Pa}$$

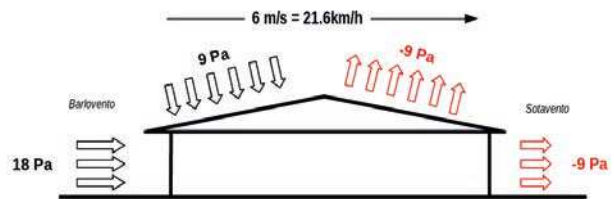


Imagen 149. El diferencial de presión generado en cada una de las fachadas.

$$P_{wb@Sotavento} = 0,8 \times P_{wb} = 0,8 \times 21,6 = 17,28 \text{ Pa}$$

en la cara de sotavento respecto a la presión atmosférica.

$$P_{wb@Barlovento} = -0,4 \times P_{wb} = -0,4 \times 21,6 = -8,64 \text{ Pa}$$


en la cara de barlovento respecto a la presión atmosférica.

Entre ambas fachadas se genera

$$\Delta P = P_{wb@Sotavento} - P_{wb@Barlovento} = 17,28 - (-8,64) = 25,92 \text{ Pa}$$

Respuesta: existe una diferencia de presión de 25,92Pa entre la fachada a sotavento y la fachada a barlovento. En caso de realizar una técnica de ventilación contra la dirección del aire será necesario vencer un diferencial de presión de 25,92Pa.

Cuando se emplea una técnica de VPP en condiciones de viento, el diferencial de presión existente entre las fachadas obrará a favor o en contra del flujo que se pretende crear según la configuración de la ventilación designada.

 En la mayoría de los casos, se recomienda elegir configuraciones que eviten tener que vencer un diferencial de presión generado por el viento. La opción óptima es que este actúe a nuestro favor.

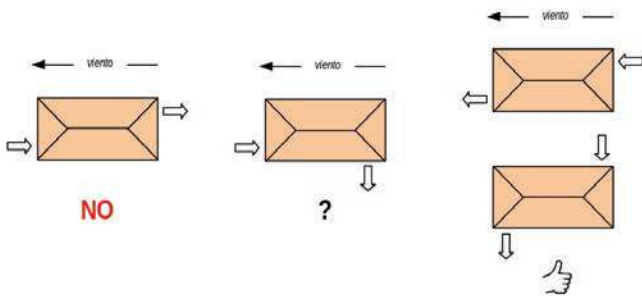


Imagen 150. Las configuraciones en las que entrada o salida reciben una presión eólica contraria al flujo que se quiere establecer deben ser evitadas

Recurriendo a la gráfica que representaba el diferencial de presión interior con respecto a la relación r entre los tamaños de salida y de entrada de gases, se puede representar el efecto del viento como una línea horizontal situada a la altura de la diferencia de presión a vencer. El saldo de presión interior será el resultado de alcanzar la curva desde esta línea.

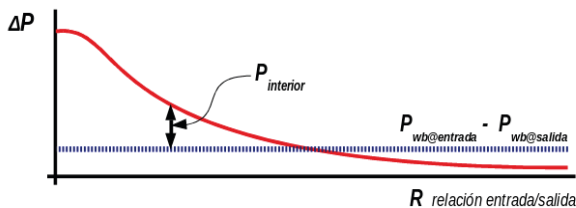


Imagen 151. Saldo de presión interior en una técnica de VPP en contra del viento

Si en situaciones de viento en contra, se opta por la reducción del tamaño de la salida de gases se consigue aumentar el diferencial de presión interior por encima de la acción del viento de modo que es posible establecer un flujo en contra del viento. Sin embargo, esta opción implica un menor rendimiento de la ventilación como tal, la reducción de la relación r entre la entrada y la salida y el consiguiente riesgo de mezcla de gases de incendio y aire fresco en operaciones de VPP ofensivo.

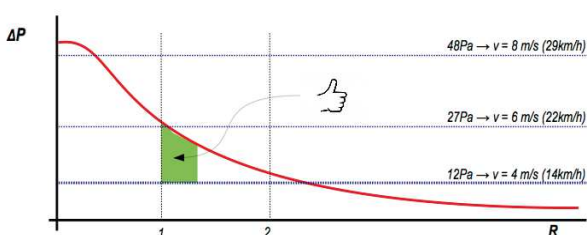


Imagen 152. Saldo de presión interior en una técnica de VPP en contra del viento

Al representar en una gráfica la curva típica de diferencial de presiones para un ventilador VPP frente a los niveles de presión eólica en contra de 4m/s, 6m/s y 8m/s, se observa que resulta imposible mantener una relación $r > 1$ y un diferencial de presión interior aceptable con valores de viento en contra superiores a 4m/s.

Por tanto, debería valorarse el empleo de la VPP en situaciones de viento en contra superiores a 4 m/s.

2.4. CONTROL DE PUERTA DE ACCESO

Una puerta abierta puede tener un impacto fundamental en el desarrollo de una operación. La puerta de acceso no solo cede el paso de los bomberos al interior, en la medida en que aporta aire fresco, permite que los gases de incendio puedan dispersarse, con lo que interfiere en la dinámica del incendio.

Las técnicas de control de puerta de acceso consisten en entornar la puerta o colocar una cortina de bloqueo de humo para evitar o minimizar el flujo de aire entre el interior y el exterior. La puerta debe quedar entornada al ancho de la manguera y un bombero administrará el paso de la manguera a medida que el equipo interior avanza.



Imagen 153. Puerta entornada a la anchura de paso de la manguera



Las cortinas de bloqueo de humo, además de proporcionar un sencillo paso de la manguera por la parte baja, evitan la dispersión de gases al exterior al bloquear completamente la parte superior y permiten prescindir del bombero que ayuda a dicha operación.





Imagen 154. Paso de manguera por debajo de cortina de bloqueo de humo



Imagen 155. Bombero intentando localizar manguera

- **Paramento de referencia:** en condiciones de visibilidad nula, la progresión debe realizarse tomando como referencia la pared del recinto. Mantener la referencia de la pared siempre a mano izquierda, o siempre a mano derecha, permite en todo momento emprender el camino de salida del recinto simplemente cambiando la referencia y deshaciendo el camino andado.



Imagen 156. Bombero empleando la pared como referencia de orientación

3. TRABAJO EN ESPACIOS SIN VISIBILIDAD

3.1. ORIENTACIÓN EN ESPACIOS SIN VISIBILIDAD

En el momento que el equipo en progresión interior se interna en un recinto sin visibilidad deben emplearse técnicas que permitan la orientación dentro de la estructura para realizar las operaciones de búsqueda, rescate y ataque a fuego. Ante la eventualidad de un desarrollo desfavorable del incendio, el personal también deberá ser capaz de localizar y seguir la ruta de escape al exterior.

Siempre que sea posible, el bombero deberá disponer de, al menos, dos de los siguientes medios para orientarse:

- **Tendido de manguera:** no solo protege frente a la evolución del incendio, sino que también constituye un elemento guía a lo largo de toda la progresión al mantener la ruta de escape al exterior perfectamente marcada. El bombero desorientado que haya perdido la referencia de la manguera, buscará a ras de suelo realizando un barrido sin perder la pared de referencia. Ahora bien, para realizar rastreos en zonas amplias, puede resultar lento y estresante.

Incluso en entornos con visibilidad, debe mantenerse una referencia visual con la pared para que, en caso de caída del plano neutro, se pueda recurrir a este método de orientación.

- **Cámara térmica:** esta herramienta permite una visión completa del recinto. En muchas situaciones, ofrece una imagen suficientemente nítida como para que el equipo pueda orientarse. Sin embargo, en condiciones de humo muy denso y altas temperaturas, la imagen puede perder definición. Ante esta eventualidad y el riesgo de agotamiento de baterías, este medio de orientación debe ser siempre complementario.

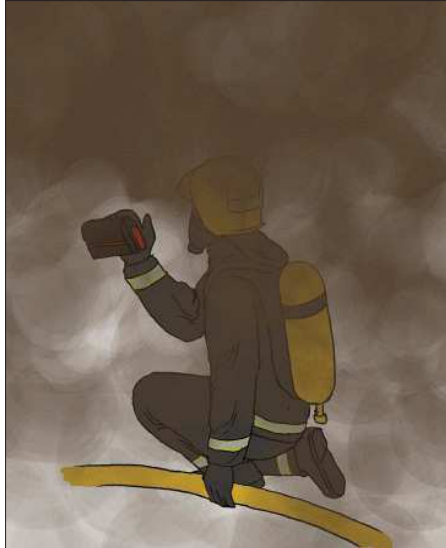


Imagen 157. Bombero empleando cámara térmica como referencia de orientación

- **Cuerda guía:** en espacios amplios sin visibilidad y baja temperatura (normalmente fuera del recinto de incendio), pueden emplearse cuerdas guías como elemento para asegurar el retorno a un punto de origen o para la realización de barridos de rastreo.



Imagen 158. Bombero empleando cuerda guía como referencia en un rastreo

3.2. RASTREO Y BÚSQUEDA DE VÍCTIMAS EN ESPACIOS SIN VISIBILIDAD

Aunque el rastreo y búsqueda de víctimas en el interior son una prioridad táctica en la mayoría de las intervenciones, existen situaciones en las se debe realizar un control previo del incendio para asegurar la vida de la víctima o evitar un agravamiento general de la situación.

Los recursos disponibles de personal y el número de víctimas condicionan el tipo de técnica a emplear. La posibilidad de simultanear las tareas de ataque a incendio y búsqueda

queda de víctimas aumenta el abanico de posibilidades y permite reducir el tiempo necesario para poner la víctima a salvo, lo que aumenta su probabilidad de supervivencia.

Herramientas como la cámara térmica son de gran utilidad en el rastreo y búsqueda, ya que reducen el tiempo necesario para rastrear un recinto y facilitan la orientación del personal en la progresión interior sin visibilidad. El empleo de otras herramientas de mano, tipo *halligan*, herramienta de bombero o multiherramienta tipo TNT pueden ser de gran ayuda para palpar mayor área de suelo y realizar los accesos forzados.

a) Rastreo y búsqueda por el equipo de ataque interior al incendio

El equipo en progresión interior recorre, en la mayoría de los casos, la ruta de escape de una posible víctima en sentido inverso. Durante la progresión, puede realizar un rastreo del recinto para descartar la presencia de víctimas.

- **Método de barrido:**

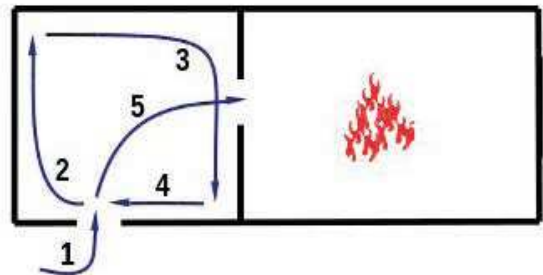


Imagen 159. Método de barrido

- (1) Una vez pasada la puerta de acceso al recinto, el equipo toma una referencia de avance (pared derecha o izquierda).
- (2) Siempre avanzando con el tendido y sin perder la referencia, el equipo rastrea la zona al alcance desde la pared.
- (3) (4) (5) Completado el perímetro y de vuelta a la puerta de acceso, el equipo avanza hasta la puerta siguiente completando el rastreo de la zona central.

- **Método francés:**

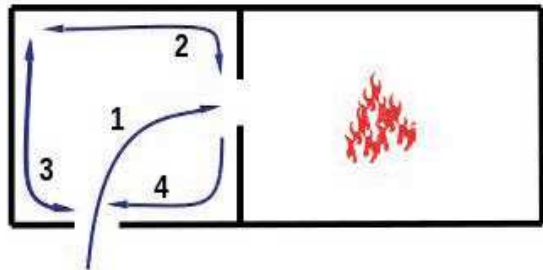


Imagen 160. Método francés

- (1) Una vez en la puerta de acceso al recinto, el equipo avanza hasta la puerta del siguiente recinto rastreando la zona a su paso.
- (2) (3) Cuando se ha alcanzado la puerta de acceso al siguiente recinto, el punta de lanza permanece estático mientras que el bombero de apoyo toma una referencia y rastrea el perímetro hasta cruzarse con el tendido de manguera, momento en el que retorna a la posición del punta de lanza.
- (4) Se repite la anterior secuencia tomando la referencia contraria.

b) Rastreo y búsqueda por el equipo independiente al de ataque interior al incendio.

La posibilidad de simultanear las tareas de ataque a incendio y búsqueda de víctimas permite reducir el tiempo necesario para poner la víctima a salvo y por tanto aumentar la probabilidad de supervivencia.

En esencia, un equipo independiente realiza el rastreo y búsqueda consistente en un barrido del recinto tomando una referencia de pared para seguirla y retornar al punto de inicio. En recintos de gran superficie (mayores de 30m²) puede ser de gran utilidad el empleo de cuerda guía para realizar el barrido de la zona central.

La principal diferencia en el uso de las técnicas de rastreo y búsqueda reside en el modo de acceso:

- **Por el interior:** el equipo de rescate busca víctimas en recintos en los que se accede por el interior de la vivienda. En la mayoría de los casos, en zonas que quedan atrás del punto de máximo avance del tendido.
- **Por el exterior (VEIS):** es el principal modo de rescate en los servicios norteamericanos. En Europa se emplea con vehículos de acceso en altura para edificios de varias plantas y con una escalera corredera para acceder a una ventana en edificios de menor altura. En el entorno suburbano actual, de viviendas unifamiliares, puede tener gran eficacia.

La secuencia característica en estas situaciones consta de los siguientes pasos:

1. Mediante un vehículo de altura o una escalera corredera, el bombero accede a través de la ventana al recinto a rastrear.
2. Inmediatamente cierra la puerta del recinto para no crear un flujo de gases que salga por la ventana que le ha permitido el acceso al recinto.
3. Tomando una referencia y con ayuda de la herramienta de mano, rastrea la estancia.
4. Abandona el recinto por la misma ventana de acceso para no exponer al personal a los gases de incendio del resto de la estructura.

c) Rastreo y búsqueda empleando técnicas de VPP defensiva

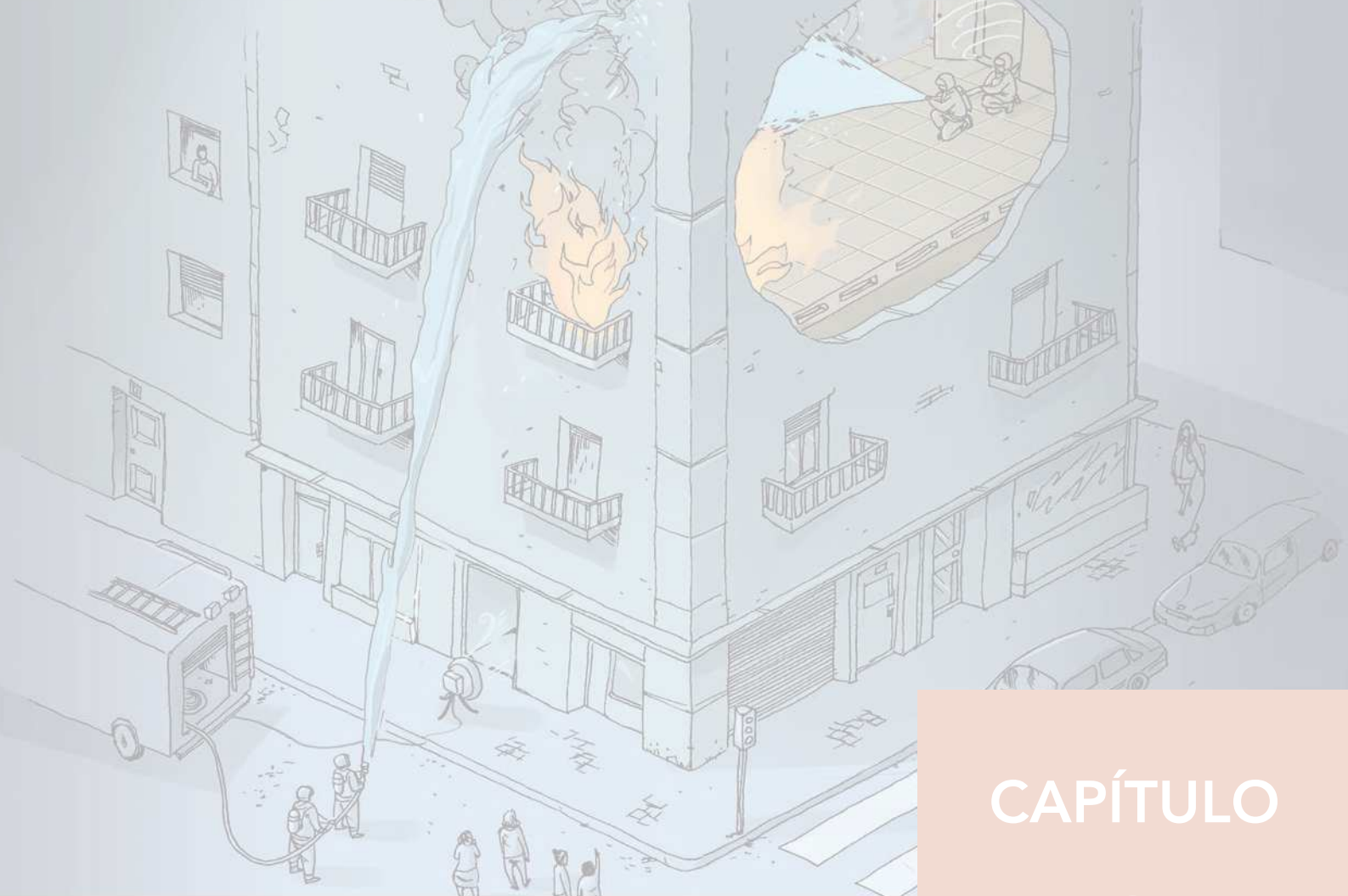
Los gases de incendio constituyen el mayor riesgo para las víctimas. De forma habitual, se opta por técnicas que “extraen” a la víctima de la zona de peligro. Sin embargo, otra opción consiste en retirar el peligro (el humo y la temperatura) de la zona donde se encuentra la víctima.

La ventilación VPP defensiva tiene especial interés en edificios complejos, en incidentes con múltiples víctimas o cuando las tareas de ataque a incendio y búsqueda de víctimas no pueden ser simultáneas por escasez de personal.

La secuencia característica en estas situaciones consta de los siguientes pasos:

1. Confinamiento del incendio. Se cierra la puerta de acceso al incendio o se coloca una cortina de bloqueo de humo.
2. Empleo de técnicas de ventilación VPP para ganar visibilidad en espacios comunes de tránsito como cajas de escalera o pasillos.
3. Ventilación secuencial de todos los recintos inundados de humo en busca de víctimas.





CAPÍTULO

3

Valoración de incendios de interior



La valoración de un siniestro es quizás la labor más compleja. A la urgencia de la situación, se une la confusión y la dificultad para disponer de información fidedigna, así como la propia dificultad técnica de las valoraciones y decisiones a tomar.

Los errores durante la fase de valoración desembocan en planteamientos tácticos inadecuados que pueden generar serios riesgos difíciles de manejar. Por ello, la valoración es determinante en el desarrollo posterior de la intervención.

Las dificultades en la valoración del escenario atienden a los siguientes factores:

- **Urgencia:** las decisiones se han de tomar en tiempo real, no pueden esperar indefinidamente, una decisión puede ser adecuada ahora y dejar de serlo minutos más tarde, cuando las condiciones puedan haber cambiado.
- **Incertidumbre:** la información no siempre está disponible o no es absolutamente fiable. Alcanzar un equilibrio entre la urgencia y la certidumbre es quizás uno de los factores más críticos en la toma de decisiones del mando de la intervención.
- **Continuidad:** un incendio es un escenario especialmente dinámico. La valoración inicial pierde vigencia una vez que la operación se está desarrollando y se ha modificado la dinámica del incendio. Por tanto, la valoración debe ser continua.
- **Integral:** la valoración del siniestro no solo aborda la lectura del incendio, también implica la identificación de las acciones prioritarias, el efecto de las acciones emprendidas y el estado de los recursos disponibles.

1. DESARROLLO DE LA VALORACIÓN EN EL TIEMPO

Partiendo de que la valoración de un siniestro debe ser tan dinámica como requiera el escenario del incendio, se pueden distinguir varias fases en la valoración:

a) Valoración inicial:

- Valoración perimetral 360°.
- Valoración interior.

b) Valoración continua

c) Valoración final

a) Valoración inicial

Es el paso esencial para que el mando de intervención determine las acciones prioritarias y establezca un plan de acción acorde con el alcance del siniestro y los recursos disponibles. Resulta de gran utilidad que el primer equipo de intervención interior acompañe al mando de intervención en la labor de contrastar la valoración y adquirir información de primera mano sobre la distribución espacial del edificio y lectura del incendio.

En la medida en que sea posible, se realizará una inspección visual de 360° al siniestro. Aunque en numerosas ocasiones no se pueda perimetrar físicamente el edificio, siempre es posible obtener información visual de las condiciones en cada una de las fachadas.

La valoración interior no tiene por objeto llegar hasta el foco del incendio. Persigue recabar la información básica del interior de la edificación, su grado de compartimentación, la previsible carga de combustible y otros indicadores que permitan realizar la lectura del incendio.

En función de los recursos disponibles y del tipo de edificio, el mando de intervención puede delegar esta valoración en el mando del equipo que realiza la progresión interior. En viviendas unifamiliares o edificios en los que la zona de incendio está muy cerca del acceso, puede realizarlo el propio mando de intervención.



La valoración inicial tiene dos objetivos:

- **Identificar las acciones prioritarias:** acciones relativas al control de ocupantes (confinamiento, evacuación...), de corte de servicios (gas, luz, etc.) y de estabilidad estructural. No es necesario completar la valoración inicial para comenzar a ejecutar algunas de estas acciones prioritarias.
- **Establecer un plan de acción:** el mando de intervención terminará la valoración inicial determinando un plan de acción que recoja la **sectorización** del incidente, un **planteamiento táctico** y un **reparto de funciones** entre los recursos asignados a cada sector. Este plan debe comunicarse a todo el personal y contener tanto las indicaciones relativas al sector específicamente asignado, como las del resto de sectores cuya acción afecte directamente.

b) Valoración continua

Una vez implantando el plan de acción, el mando de intervención realizará una **valoración continua** basada en los mismos parámetros de lectura de incendios, identificación de acciones prioritarias y evaluación de recursos.



El objetivo de la valoración continua es introducir las correcciones necesarias en el plan de acción, fruto de la evaluación crítica de las acciones ya emprendidas. En definitiva, se trata de comprobar si el trabajo emprendido está siendo eficaz y valorar el alcance y situación del siniestro. El plan de acción puede y debe ser objeto de cuantas modificaciones y cambios tácticos sean necesarios.

El plan de acción deberá ser consecuente con el estado y disponibilidad de los recursos presentes y movilizados hacia el siniestro. Y, en función de estos, determinar la capacidad en tiempo real para realizar rescates, para el control de la propagación y para la extinción del incendio.

A pesar de ser una obviedad, es preciso destacar la exigencia de emprender una acción con los recursos necesarios. En siniestros de gran envergadura, ocurre que se inicie la extinción con un suministro de agua o de personal insuficientes tras comprobar que la propagación ha sido controlada.

da. Una vez iniciado el ataque y sin garantías de éxito total, los recursos se consumen, se fracasa en el intento de extinción y el estado de los recursos es incluso insuficiente para controlar su propagación.

c) Valoración final

Antes de dar por concluida la intervención, es necesaria una **valoración final** que descarte la presencia de puntos calientes, asegure la estabilidad estructural del conjunto, el posible restablecimiento del suministro de gas, electricidad, etc. La valoración final debe ser realizada por el mando de intervención y su resultado deberá quedar reflejado por escrito en una hoja de recomendaciones destinada al beneficiario de la intervención.

2. LECTURA DEL INCENDIO

A lo largo de los últimos años se ha realizado un avance significativo en la caracterización de los parámetros que permiten valorar el incendio. El método más ampliamente aceptado fue propuesto por el oficial de bomberos australiano Shan Raffel y se resume en el acrónimo inglés B-SAHF cuya pronunciación es “*be safe*” (en castellano “manténgase seguro”).

Tabla 23. Método B-SAHF

B	Building (edificio)
S	Smoke (humo)
A	Airtrack (flujo de gases)
H	Heat (calor)
F	Flame (llama)



Es imprescindible determinar el alcance del incendio, su potencial e identificar el flujo de gases antes de acometer cualquier operación. La lectura de incendio debe realizarse atendiendo al máximo número de indicadores y, aún evitando caer en simplificaciones, estará sujeta a cierto grado de incertidumbre.

2.1. EDIFICIO

- Combustible
 - Cantidad de combustible
 - Naturaleza de los combustibles
 - Distribución de los combustibles



Imagen 161: Una familia alemana saca al jardín de su casa todas sus pertenencias con algún componente sintético. En los últimos años no solo la cantidad de combustible sino la inflamabilidad de los mismos ha generado un salto cualitativo en la virulencia de los incendios

- Inflamabilidad de la estructura
 - Cuando la estructura es inflamable el incendio puede generalizarse o propagarse por la misma dificultando los planteamientos tácticos basados en el confinamiento del incendio o las técnicas de ventilación.
 - Las estructuras a base de pared de ladrillo y forjados de hormigón permiten que el incendio quede limitado al contenido.

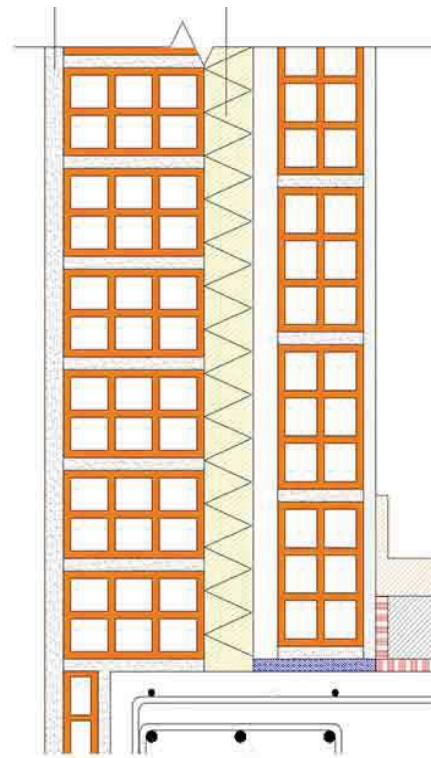


Imagen 162: Corte transversal de una construcción a base de cerramientos de fábrica de ladrillo y forjados de hormigón

- Las estructuras en madera pueden desembocar en incendios que afecten a la estructural, especialmente las de entramado ligero.

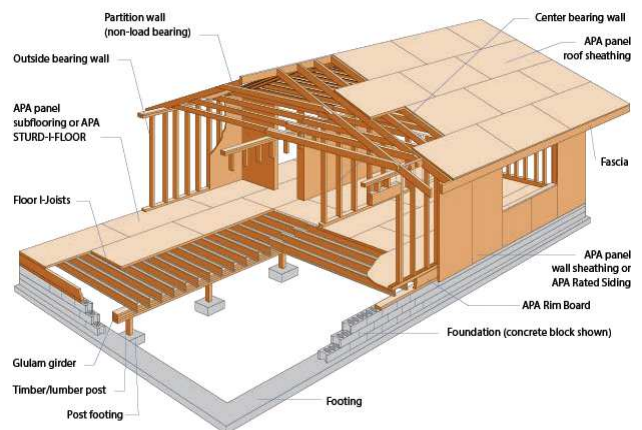


Imagen 163: Estructura de entramado ligero

- Estabilidad estructural

- La estabilidad estructural es un indicativo que establece el tiempo de intervención disponible.
- Establecer la estabilidad de una construcción a priori es sumamente complicado.
- Las estructura de acero permiten aguantar temperaturas medias durante periodos prolongados pero un pico de temperatura puede producir el colapso al reducirse el límite elástico del acero.



Imagen 164: El colapso de una estructura durante las tareas de extinción de una nave industrial en Barracas (Buenos Aires, Argentina) se llevó la vida de 10 bomberos

- Las estructuras de hormigón armado aguantan bien picos de temperatura alta debido a su mayor inercia térmica. Sin embargo las exposiciones prolongadas provocan fisuras y desconchamientos que dejan expuesta la armadura de acero debilitando la estructura.
- Las estructuras de madera son inflamables y pueden aportar combustible al incendio. En principio presentan una buena estabilidad estructural aún en llamas y solo con el tiempo cuando el incendio genera una pérdida de sección la estructura se debilita.
- A menudo las reglas basadas exclusivamente en el tipo de material pueden caer en simplificaciones excesivas. Es necesario tener en consideración muchos otros elementos como el sistema de equilibrio de la estructura (estático o hiperestático), los detalles de unión de la estructura (muchas veces el punto mas débil) y la existencia de elementos que permitan la dilatación.
- Ocupación
 - La carga y el tipo de combustible en el interior de un edificio varía con el uso del mismo.
 - La carga de combustible en recintos comerciales es superior que en recintos residenciales.
 - Los edificios multivivienda o edificios dotacionales requieren planteamientos de control de la propagación y de aseguramiento de las vías de escape para los ocupantes.



Imagen 165: Usos de ocupación concretos como colegios, hospitales y residencias dan lugar a configuraciones peculiares que afectan el desarrollo del incendio y las labores de extinción

- Antigüedad
 - La antigüedad de la edificación nos da una idea del tipo de estructura que podemos encontrar; el grado de compartimentación y la existencia de espacios diáfanos.
 - Los contenidos modernos, ricos en materiales sintéticos desarrollan el incendio con mayor rapidez, alcanzando temperaturas superiores, mayor potencia de incendio pero sobre todo con una respuesta más agresiva a la ventilación.



Imagen 166: Incendio en edificio antiguo

- Superficie
 - La carga de combustible de un recinto está directamente ligada a la superficie del mismo.
 - Las potencias de incendio habituales en edificación residencial varían entre los 450kW/m² para recintos pequeños y los 250kW/m²
 - La superficie del recinto es uno de los parámetros a tener en cuenta a la hora de establecer el caudal óptimo para el ataque a incendio.



Imagen 167: Los espacios grandes pueden generar incendios de gran potencia

- **Compartimentación**
 - Un mayor grado de compartimentación dificulta el desarrollo y propagación del incendio.
 - La compartimentación favorece la lucha contra el incendio recinto a recinto siendo necesario un caudal de extinción menor.
 - La existencia de espacios diáfanos permite la propagación del incendio y el acceso a mayor cantidad de aire durante su fase de desarrollo.
- **Altura**
 - Los edificios en altura presentan dificultades de acceso añadidas en el despliegue de tendidos y requieren tácticas de control de la propagación y dispersión de los gases.



Imagen 168: El acceso a viviendas en altura dificulta las operaciones de extinción

- **Altura de techos**
 - Una mayor altura implica un mayor volumen de aire para el desarrollo del incendio y la capacidad

para albergar más cantidad de productos de la combustión

- **Nivel de aislamiento y estanqueidad**
 - La edificación moderna, propia de regiones más frías, tiene un alto grado de aislamiento térmico y estanqueidad con el exterior.
 - Mayor aislamiento térmico implica menor pérdida de temperatura. A igualdad de volumen de ventilación, un recinto bien aislado térmicamente presentará temperaturas superiores en incendio.
 - Las edificaciones con buena estanqueidad se comportan mejor en operaciones que impliquen el uso de ventilación VPP ya que no se producen pérdidas de flujo.
- **Aperturas de ventilación**
 - Las aperturas de ventilación alimentan el incendio generando un flujo de gases que contribuye a aumentar la potencia del mismo.
 - Ventanales de gran tamaño y otras aperturas potenciales por las que el incendio pudiera recibir ventilación deben ser objeto de valoración.



Imagen 169: Ventanales de gran tamaño implican una potencial ventilación del incendio en caso de rotura

- **Espacios ocultos**
 - Falsos techos, muchas veces corridos, permiten la acumulación de gases de incendio contribuyendo a la propagación del mismo o incluso a explosiones de humo.
 - Conductos de climatización suponen igualmente una vía de propagación para el incendio.
 - La existencia de espacios ocultos dificulta el empleo de técnicas de ventilación VPP ya que el control del flujo y el desplazamiento de los gases a la zona deseada no es posible.

2.2. HUMO

• Color

- El color del humo ofrece información sobre la naturaleza del combustible, el tipo de combustión y el nivel de gases de pirólisis.
- Los humos negros o muy oscuros indican combustión incompleta, gran cantidad de carbonilla y productos parcialmente quemados que son susceptibles de actuar como combustible.



Imagen 170: Humos negros provenientes de combustión incompleta

- Humos claros son propios de combustiones completas o de etapas iniciales en el desarrollo del incendio. La fracción de combustible contenida en este tipo de humo es menor y por tanto su contribución a fenómenos de rápido desarrollo también menor.
 - Humos amarillentos o incluso ocreos indican un alto contenido en gases procedentes de la pirólisis. En recintos a altas temperaturas en los que se ha consumido el oxígeno disponible, los combustibles pirolizan añadiendo combustible al colchón de gases. Sin embargo la ausencia de oxígeno impide su combustión. Este tipo de escenarios pueden derivar en fenómenos de backdraft si la fracción de combustible es lo suficientemente alta y se produce una entrada de aire fresco brusca.
 - Humos blanquecinos son signo en la mayoría de las ocasiones de la presencia de vapor de agua. Esto puede ocurrir en la etapa de crecimiento del incendio cuando se desecan los combustibles por acción de la temperatura o cuando ya están trabajando equipos de bomberos y aplicando agua en el interior.
- ### • Opacidad
- El grado de opacidad de un humo está vinculado con la cantidad de carbonilla que produce y por tanto de partículas procedentes de una combustión incompleta.
 - Humos ligeros pueden ser fruto de incendios incipientes o de combustibles tradicionales pero tam-

bién de incendios dominados por el viento donde la sobre alimentación debida al viento.

- Humos opacos y oscuros denotan una fracción de combustible alta y el riesgo de inflamación de los gases de incendio al mezclarse con aire fresco.
- Densidad
 - No debe confundirse la densidad del humo con su opacidad. La densidad hace referencia a la masa por unidad de volumen.
 - Los gases de incendio reducen su densidad con respecto al aire como consecuencia de la temperatura con lo que se puede hacer la relación

humo frío → humo densidad alta, dificultad para la flotación

humo caliente → humo densidad baja, facilidad para la flotación

- El humo con poca densidad se encuentra a altas temperaturas y asciende con gran facilidad por efecto de flotabilidad. La presencia de humo ligero (poca densidad) implica altas temperaturas en el interior o cercanía al recinto de incendio. Con el aumento de temperatura hay una mayor probabilidad de que el humo alcance su punto de inflamabilidad.
- El humo con una densidad similar a la del aire (denso) no asciende con tanta facilidad y se distribuye mezclándose con el aire del recinto y perdiendo opacidad. Este tipo de humo es característico en las etapas iniciales de desarrollo del incendio o en lugares alejados de su origen donde la dispersión ha generado su enfriamiento y dilución. El riesgo de inflamación de las bolsas de humo de densidad alta (frío) es inferior.
- Espesor del colchón de humo
 - En incendios en desarrollo o con un flujo de ventilación es posible encontrar una estratificación clara del colchón de humo con respecto al aire que entra. A medida que el incendio se va desarrollando, si no existe una apertura suficiente que permita desalojar los gases de incendio, estos se acumulan y el colchón de humo tiene mayor espesor.
 - Un colchón de gases mayor implica mayor cantidad de gases de incendio.
 - La altura del plano neutro condiciona la visibilidad interior y el planteamiento táctico a emplear en la progresión interior.
 - En un incendio desarrollado en un espacio confinado el plano neutro habrá caído hasta el nivel del suelo. La existencia de un plano neutro implica que el incendio está siendo ventilado.
- Volumen
 - El volumen de humo es una medida de la cantidad de combustión que está teniendo lugar y puede dar

idea del estado de desarrollo y del alcance del incendio.

- El volumen de humo visible desde el exterior está relacionado con la presencia de huecos de ventilación.
- No confiarse si a la llegada al incendio no hay signos de humo, los incendios limitados por la ventilación pueden experimentar presiones negativas en algún momento de su desarrollo.

2.3. FLUJO DE GASES

- Flujos en aperturas
 - El tipo de flujo presente en cada una de las aperturas al exterior del edificio no sirve para evaluar y establecer el movimiento general del flujo de gases en un incendio.
 - Los flujos de entrada constituyen entradas de aire limpias dentro del recinto en toda la sección de la apertura. Las aperturas con flujos exclusivos de entrada se sitúan al comienzo de la ruta de gases en las zonas bajas donde el diferencial de presión con el exterior es negativo. El acceso de efectivos a través de una apertura con flujo de entrada garantiza buena visibilidad y ausencia de otros problemas derivados de los gases de incendio (toxicidad, calor, inflamabilidad).
 - Los flujos de salida constituyen salidas de gases de incendio en toda la sección de la apertura. Las aperturas con flujos puros de salida se sitúan al final de la ruta de gases en zonas superiores donde el diferencial de presión sobre la presión atmosférica es positivo. El acceso de efectivos a través de una apertura con flujo de salida está totalmente desaconsejado ya que supone la exposición a altas temperaturas, fenómenos de rápido desarrollo y condiciones de muy baja visibilidad.

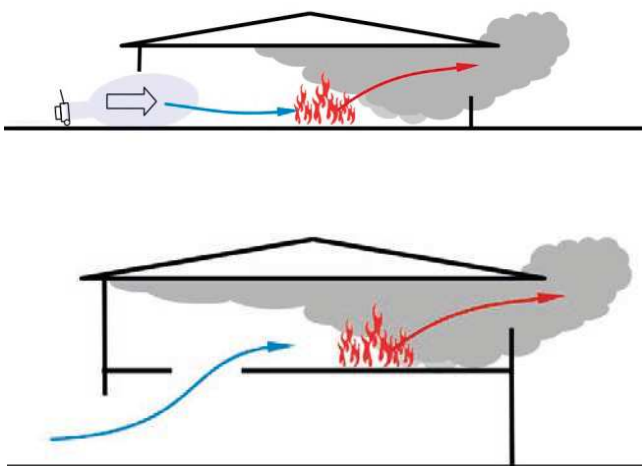


Imagen 171: Ejemplos de flujo de gases que generan bien una entrada o una salida de gases a través de las aperturas. Son flujos unidireccionales

- En las aperturas a nivel de incendio se establecen flujos bidireccionales, de salida en la parte superior y de entrada en la inferior. Esto implica que la apertura es al mismo tiempo comienzo y final de la ruta de gases. El personal en estos casos está expuesto a los gases de incendio de la zona superior si bien puede gozar de una zona de visibilidad generada por el aire fresco que entra por la parte baja.

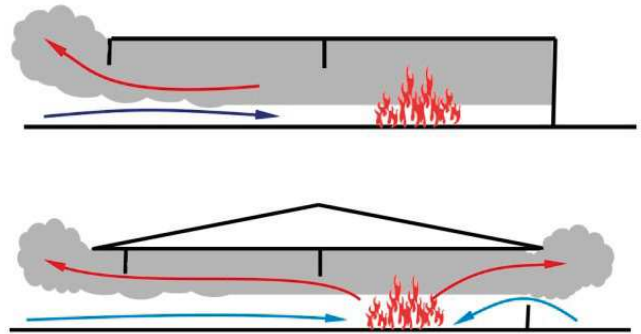


Imagen 172: Ejemplo de flujo bidireccional en las aperturas

- La ausencia de aperturas al exterior implicará que no existe intercambio de gases con el exterior. Si el incendio no se encuentra en su fase inicial, el plano neutro habrá caído hasta el suelo y el humo ocupará todo el recinto.
- Comportamiento de cortinas bloqueo de humo
 - El empleo de las cortinas de humo permite evaluar el patrón de ventilación existente.
 - Si la instalación se realiza en un emplazamiento donde previamente no existiera puerta, el movimiento de la parte inferior nos indicará el sentido del flujo. La colocación de la cortina permitirá en la mayoría de los casos convertir un flujo bidireccional en un flujo de entrada por la zona inferior del faldón.
 - Cuando la colocación se realiza en el dintel de una puerta cerrada, tras la apertura de la puerta el faldón puede comportarse de tres modos.
 - Si se mueve hacia el interior la cortina constituye una entrada de aire fresco y existe una salida de gases en algún punto.
 - Si el faldón se mueve hacia el exterior durante un breve tiempo (3s aprox) y luego vuelve a su posición, el incendio no tiene otra apertura y el faldón simplemente ha permitido igualar las presiones del interior del recinto con las del exterior para volver a su posición inicial.
 - Si el faldón se mueve hacia el exterior, el lugar donde se ha colocado la cortina constituye una salida de gases. El viento probablemente esté introduciendo aire en la estructura por alguna ventana.



Imagen 173: La cortina de bloqueo de humo succionada hacia el interior indica que el incendio tiene una apertura al exterior y que se ha establecido un flujo de gases unidireccional

- Efecto del viento
 - El viento, en la fachada de sotavento, convierte salidas con flujo bidireccionales o de salida en flujos de entrada. Por otro lado en las fachadas a barlovento se crean flujos de salida.
 - El efecto de sobre alimentación sobre el incendio que el viento tiene juega un factor decisivo pudiendo disparar la potencia del incendio.



Imagen 174: Incendio dominado por el viento (*wind-driven fire*)

- Caudal y régimen de salida de gases
 - La actividad del incendio puede ser valorada por el caudal del flujo de gases que nos dará una idea de la potencia y estado de desarrollo del mismo. Incendios con un caudal de ventilación insuficiente tienen complicado alcanzar la etapa de *flashover*.
 - Uno de los problemas principales se genera cuando se produce un aumento repentino del caudal de ventilación como consecuencia de la apertura de hueco de ventilación. El incendio reaccionará a

esta ventilación en el transcurso de un periodo de tiempo breve pudiendo producirse un escenario de *flashover* inducido por la ventilación

- Cuando la sección de la apertura es insuficiente para el volumen de gases que intenta salir de la estructura el régimen pasa de ser laminar a turbulento, señal de que existe un diferencial de presión importante en el interior.



Imagen 175: Incendio con salida de humo en régimen turbulento

- En ocasiones el interior del recinto pasa de tener sobrepresiones positivas a negativas. El incendio pulsa y parece respirar a través de las aperturas. Este puede ser un signo claro de backdraft. A través de rendijas pueden aparecer los clásicos silbidos.

2.4. CALOR

- La energía que reciben las superficies combustibles de un recinto favorece la pirólisis y la incorporación de combustible adicional al colchón de gases.
- Superficies fundidas, con burbujas por la emanación de vapores u oscurecidas por el efecto de la pirólisis son signo de la transferencia de calor desde el entorno a los combustibles.
- La humedad condensada en cristales o superficies más frías es también un signo de la transferencia de calor a los combustibles y su deshidratación.
- Los chequeos de temperatura basados en pulsaciones muy cortas de agua permiten también conocer la capacidad de evaporación de agua del ambiente y así la transferencia potencial de calor.
- Cámaras térmicas son una excelente herramienta para determinar la temperatura y distribución del calor dentro del recinto.
- La sensación térmica del equipo en progresión interior es un signo que a un bombero con experiencia permitirá valorar el nivel de transferencia térmica existente.

2.5. LLAMAS

- Color
 - El color de la llama nos da una idea del nivel energético de la misma.

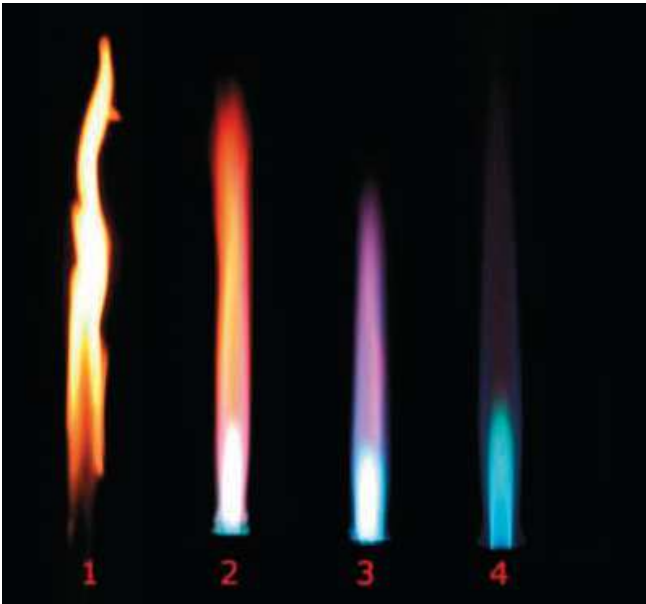


Imagen 176: El color de la llama da información sobre el nivel energético de la misma (azul: mas energético, rojo: menos energético)

- Las llamas mas energéticas tienen color azul fruto de combustiones estequiométricas y combustibles altamente energéticos. Las llamas amarillentas poseen un nivel energético menor producto de combustiones donde comburente y combustible se acercan a los límites de su rango de inflamación.
- Duración
 - Las llamas de corta duración pueden ser objeto de ausencia de combustible, falta de temperatura para alcanzar el temperatura de inflamación de una forma homogénea o insuficiente oxígeno. En este último caso, las llamas vendrán acompañadas de humo oscuro y opaco.
 - Las llamas de forma sostenidas confirman la viabilidad del incendio para mantener un aporte de combustible y aire suficiente.
- Exposición
 - Las llamas constituyen una fuente importante de radiación y contribuyen a la propagación del incendio.
 - Las llamas en el exterior liberan la mayor parte de la energía en el exterior. Tan solo las superficies de la fachada estarán expuestas a la radiación y pluma de convección.
 - Las zonas de llama generalizada deben ser identificadas para realizar su ataque desde una posición segura que evite la radiación sobre el personal.
- Cantidad y distribución
 - La cantidad y distribución de las llamas da idea del alcance del incendio

3. IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES PRIORITARIAS

Durante la fase de valoración de inicial se deberán identificar aquellas situaciones que supongan un riesgo inminente y requieran acciones inmediatas de cara a no agravar la situación existente.

- **Confinamiento de ocupantes.** El confinamiento consiste en aislar a los ocupantes antes de un edificio en sus propias viviendas o el lugar en que se encuentran donde las condiciones de supervivencia son buenas y quedan a salvo del riesgo del incendio.

Cuando esto es posible, se trata de la opción más conveniente ya que no requiere recursos excesivos para llevarla a cabo y se implementa en muy poco tiempo. El mayor de los problemas en estos casos reside en el control de las personas confinadas, que permanezcan en todo momento en las estancias asignadas y no se aventuren a abandonar el edificio o emprender acciones por su cuenta.

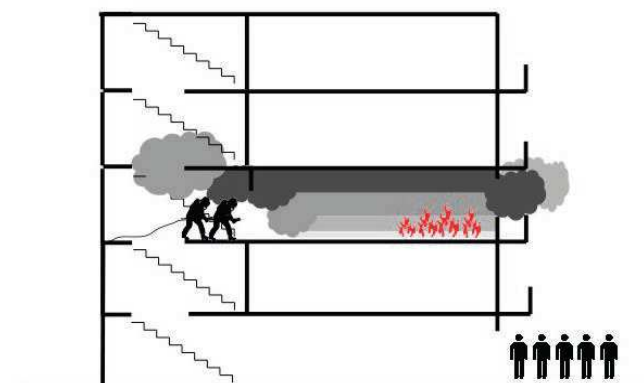
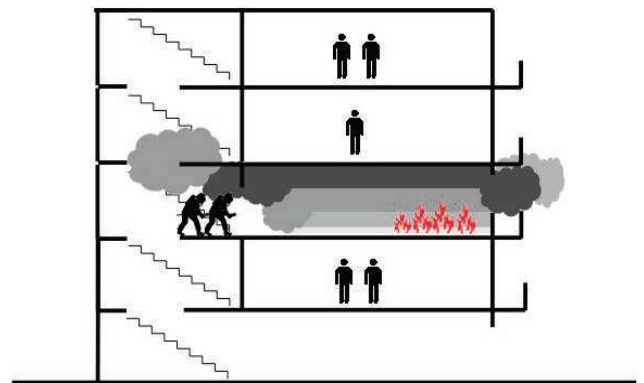


Imagen 177: Confinamiento (arriba) y evacuación (abajo) durante una operación de ataque a incendio

- **Evacuación de ocupantes.** Cuando el riesgo en el edificio no es controlable o no existe certeza de que los ocupantes vayan a permanecer en los lugares de confinamiento (mensaje no recibido, estados nerviosos, etc.) debe optarse por la evacuación.

La evacuación de ocupantes requiere en primer lugar asegurar la viabilidad de la ruta de escape designada mediante

el aislamiento del incendio o la limpieza y presurización de cajas de escaleras con técnicas de ventilación VPP. Esta es una operación que necesita de bastantes recursos humanos y tiempo para ejecutarse.

- Corte de servicios

El suministro eléctrico, de gas y de agua debe suprimirse accediendo a las cajas generales de protección y cuadros de contadores. La presencia de cualquiera de estos suministros durante la operación de incendios puede dificultar la intervención suponiendo un riesgo adicional.

- Colapsos estructurales

La evaluación estructural durante la valoración inicial debe poder identificar zonas de riesgo inminente donde caben varias opciones: abandonar la zona y restringir el paso, realizar una demolición controlada o colocar elementos de apoyo que permitan asegurar el recinto.

La colocación de puntales en la planta de incendio y en la inmediatamente inferior permite reducir el riesgo de colapso y garantizar el acceso del equipo interior. En muchas ocasiones acelerar el proceso de colapso parcial puede ser una opción más conveniente.

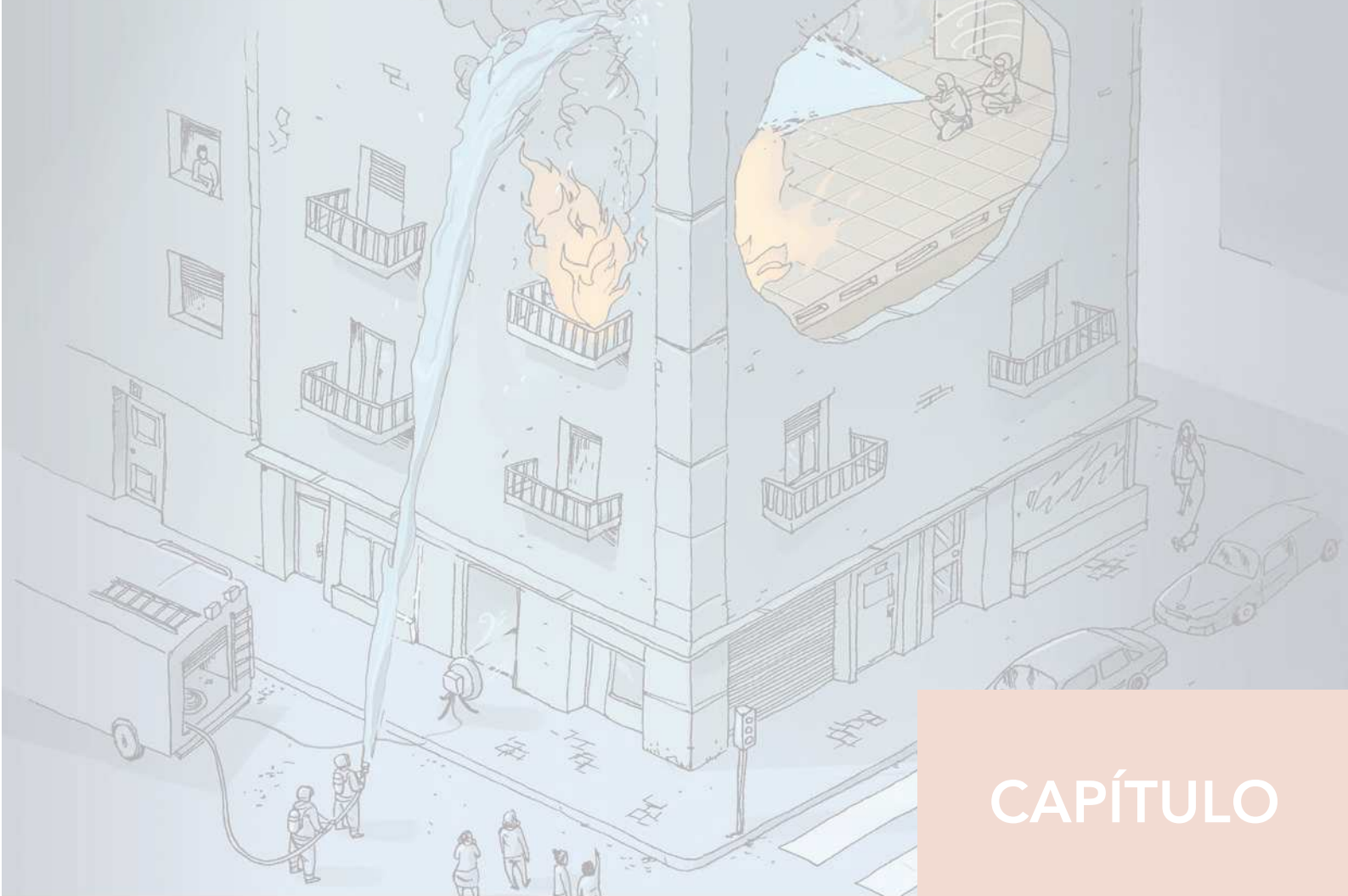
- Rescates inminentes

La situación confirmada de víctimas en situación crítica puede priorizar su rescate a cualquier otra acción incluyendo la propia valoración inicial del incidente.

- Propagación

A la llegada a siniestro un control temprano de la propagación puede ser necesario. Si el riesgo de propagación es inminente, un equipo debiera comenzar en su control hasta que se concluya la valoración y se establezca el Plan de Acción completo.





CAPÍTULO

4

Tácticas de intervención



1. PLANTEAMIENTO TÁCTICO

Una táctica de intervención es el conjunto coordinado y planificado de herramientas y técnicas de intervención cuyo objetivo es hacer frente a una intervención. El planteamiento táctico es la decisión más crítica en una intervención de bomberos. Ya sean tácticas en modo ofensivo o defensivo, la elección supone asumir un riesgo y unas pérdidas. Las decisiones son en muchos casos irreversibles y encaminan la intervención en un sentido u otro.

Para determinar el planteamiento táctico, el mando de intervención debe basarse en cuatro elementos:

- Experiencia profesional
- Conocimiento técnico científico.
- Abanico de técnicas disponibles.
- Valoración del incidente.

1.1. FASES DE UNA INTERVENCIÓN

La cronología de una intervención general en incendios puede quedar definida con la secuencia descrita en el cuadro siguiente. Nótese que la numeración de las tareas puede no atender al orden real de ejecución según los casos. Muchas de ellas se realizan de forma simultánea por distintos miembros de la dotación. Las acciones para mitigar riesgos inminentes pueden ordenarse en cualquier momento en función de las necesidades.

FASE	Tarea	Observaciones
FASE 0 MOVILIZACIÓN	1 Recepción del Aviso	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos relativo al aviso • Confirmación de movilización de otros servicios requeridos (sanitarios, FF.OO.) • Determinación del tren ordinario de salida • Información a mando superior y activación de medios adicionales
	2 Movilización a siniestro	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento del tren de primera salida • Desplazamiento de dotaciones adicionales • Desplazamiento de mando de intervención
FASE 1 VALORACIÓN TAREAS PRE- VIAS	3 Llegada a siniestro	<ul style="list-style-type: none"> • Emplazamiento de vehículos • Preparación del material de 1ª intervención • Toma de hidrante
	4 Valoración exterior y valoración interior	<ul style="list-style-type: none"> • Lectura del incendio (B-SAHF) • Análisis de riesgos inminentes • Elaboración de un plan de acción • Sectorizar el incidente • Zonificar el incidente
	5 Acciones inminentes	<ul style="list-style-type: none"> • Acciones para mitigar riesgos inminentes <ul style="list-style-type: none"> · Confinamiento / evacuación · Corte de servicios · Estabilidad estructural · Rescates inminentes · Control de propagación
FASE 2 CONTROL	6 Búsqueda y rescate	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda y rastreo de víctimas con técnicas de rastreo interior, VEIS o ventilación defensiva
	7 Control de la propagación	<ul style="list-style-type: none"> • Control del incendio limitando la propagación interior y exterior
	8 Valoración continua	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración continua por parte del mando de intervención de la lectura del incendio, estado de recursos y éxito de las acciones emprendidas.
FASE 3 MITIGACION	9 Extinción	
	8 Valoración continua	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración continua por parte del mando de intervención de la lectura del incendio, estado de recursos y éxito de las acciones emprendidas.
FASE 4 RESTITUCION	10 Desescombro y estabilización	<ul style="list-style-type: none"> • Restitución de la situación previa al incendio en la medida de lo posibles
	11 Valoración final	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidad estructural • Ausencia de puntos calientes • Consideraciones de seguridad para el beneficiario
	12 Vuelta a base	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación de la operatividad • Análisis colectivo de la intervención • Parte de intervención

1.2. SECTORIZACIÓN

Debemos entender la sectorización de incidente como la división del mismo en intervenciones más pequeñas según su ubicación o basándose en tareas concretas. La máxima romana “Divide y vencerás” de Julio Cesar llevada al campo de la intervención de bomberos. La intervención requiere en cada uno de los sectores un planteamiento táctico distinto, con objetivos diferenciados y recursos a la medida de los objetivos establecidos. El mando de intervención realizará una evaluación continua de cada uno de ellos pudiendo movilizar recursos de unos a otros en base a las necesidades.



Tomando un incidente complejo de edificio en altura con incendio afectando a dos viviendas se podría establecer la siguiente sectorización. Claro está que la sectorización debe ser acorde al personal disponible.

- Sector 1 – Propagación exterior por fachada
- Sector 2 – Progresión interior a vivienda incendiada 1
- Sector 3 – Progresión interior a vivienda incendiada 2
- Sector 4 – Limpieza y presurización de caja de escalera
- Sector 5 – Rescate interior

1.3. MODO TÁCTICO: OFENSIVO O DEFENSIVO

En cada sector de la intervención debe establecerse el modo táctico que derivará en la elección de una serie de planteamientos tácticos u otros. El modo táctico define el tipo de acciones que se realizan sobre el incendio.

Planteamientos ofensivos

- El incendio es atacado directamente con objeto de su extinción.
- Es propio de la fase 3 “Mitigación” de una intervención.
- Asume mayores riesgos personales por lo que exige una ponderación del binomio riesgo-beneficio.
- Requiere garantías de éxito antes de acometerse.
- Entre otros:
 - Control Exterior de Propagación.
 - Ataque en Presión Positiva para el Rescate.
 - Ataque en Presión Positiva contra la Propagación.
 - Ataque en Presión Positiva para la Progresión.

Planteamientos defensivos

- No hay acción directa sobre el propio incendio sino sobre las zonas donde éste está generando daños por propagación o acumulación de humo.
- Es propio de la fase 2 “Control” de una intervención.
- Representa un nivel de riesgo inferior para el personal.
- Mientras no exista garantías de éxito para un planteamiento ofensivo, el equilibrio riesgo-beneficio no sea favorable o no haya recursos suficientes, el planteamiento debe ser defensivo.

Entre otros:

- Ataque Exterior Ofensivo
- Ataque Interior con Antiventilación
- Ataque Interior con Ventilación Natural
- Ataque en Presión Positiva para la Extinción
- Ataque Combinado (Ataque Exterior Ofensivo + Ataque Indirecto + APP)

2. CONTROL EXTERIOR DE PROPAGACIÓN

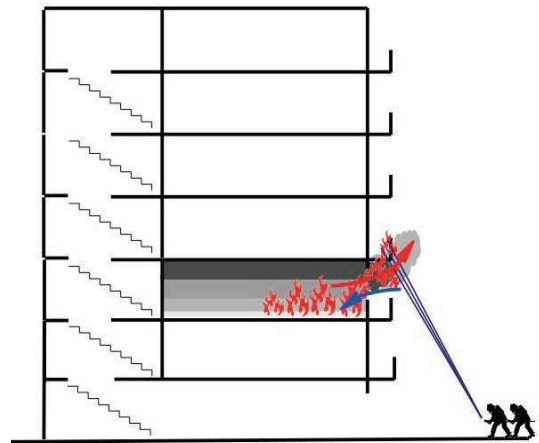


Imagen 178: Control exterior de propagación

Objetivo

- ~~Control de la propagación desde una posición exterior.~~
- ~~Limitar el alcance de daños de incendio.~~
- ~~Humedecer zonas de exposición al incendio.~~

Técnicas de referencia

- ~~Ataque defensivo contra la propagación.~~
- ~~Ataque exterior ofensivo o “ablado”.~~

Indicaciones

- ~~Simultaneable con cualquier otra operación interior o exterior.~~
- ~~Aplicable desde el inicio de la intervención como táctica para el control inminente del riesgo de propagación.~~
- ~~Se puede combinar fácilmente con un ataque ofensivo exterior “ablado” para reducir el potencial del incendio.~~
- ~~De aplicarse técnicas de ataque exterior ofensivo “ablado”, ésta debe coordinarse con las operaciones de progresión interior.~~

Ejecución

- a) ~~Ataque defensivo contra la propagación a las fachadas de mayor exposición desde nivel de suelo, cesta de escala o posición elevada.~~