

DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

PARA INTERVENCIONES EN INCENDIOS ESTRUCTURALES



GRUPO DE INCENDIOS ESTRUCTURALES

Febrero de 2026

Este documento ha sido elaborado por el GT1. Conceptos básicos y dinámica de incendios.

- Arturo Arnalich
- Daniel Garcés
- David Ruíz
- Jabi Elorza. Coordinador de grupo
- Pablo Boj G^a. Coordinador de la edición
- Pedro Fuentes

ISBN: 978-84-09-38752-6

Deposito legal MA 409/2022

Control de actualizaciones

Fecha	Actualización
Febrero de 2022	Primera versión editada.
Febrero de 2026	Inclusión del control de actualizaciones. Modificación del contenido del apartado <i>Tramo de seguridad (SOS)</i> .

La idea del Grupo de Incendios Estructurales (GIE) surge en varias reuniones tras el I Workshop Nacional de Incendios Estructurales celebrado en Salamanca en 2018, en las que se puso de manifiesto la necesidad de establecer unos parámetros mínimos en aspectos de seguridad, eficiencia y formación que fueran comunes y asumibles para todos los servicios de bomberos en el ámbito de las intervenciones en incendios estructurales.

El GIE nace con la vocación de servir como punto de encuentro dirigido a mejorar y hacer estas intervenciones más seguras, reuniendo los avances científicos y realizando una labor activa de divulgación y homogenización mediante propuestas como esta *Documentación de referencia*.

Para ello, el GIE se organiza en 5 grupos de trabajo:

- GT1. Conceptos básicos y dinámica de incendios.
- GT2. Consideraciones tácticas.
- GT3. Técnicas hidráulicas
- GT4. Consideraciones orientadas al rescate.
- GT5. Consideraciones orientadas al incendio.

En estos grupos se integran 37 profesionales pertenecientes a 27 servicios de bomberos de toda España.

Agustín de la Herrán

Jefe del Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid. Miembro del GIE.

Febrero de 2022.

El uso de un lenguaje técnico unificado, claro y conciso, es un indicador del nivel de desarrollo de una profesión, siendo este uno de los objetivos del GIE.

Este documento es el fruto de muchas horas de discusiones, consultas y trabajo en el seno del GT1, en los que se ha tratado de concretar la terminología ya existente, bajo parámetros de utilidad, racionalización y rigor científico, y cuyo resultado fue presentado al resto de grupos para que realizaran sus aportaciones. Este es un proceso continuo en el que ya se está trabajando en más contenidos y en la revisión de los ya existentes de forma que los profesionales de la extinción de incendios podamos contar con un lenguaje técnico cada vez más robusto, coherente y unificado.

Pablo J. Boj G^a.

Coordinador de la edición.

Febrero de 2022.

Desde aquella primera reunión celebrada en Salamanca en 2018, y tras varios Workshop Nacionales de Incendios Estructurales, los miembros del GIE fuimos constatando la necesidad de dotarnos de una estructura legal propia. Esta Asociación debía convertirse en un espacio de encuentro estable, capaz de reforzar nuestra capacidad de actuación y asegurar la continuidad del trabajo iniciado, manteniendo intacto el espíritu original de colaboración, así como la voluntad de establecer criterios mínimos comunes de seguridad y eficiencia que sirvieran de referencia para los profesionales de los Servicios de Bomberos a nivel nacional, para lo que en el año 2025 nos constituimos como asociación.

Juan Carlos Campaña.

Presidente de la Asociación Grupo de Incendios Estructurales.

Febrero de 2026.

Aviso importante

La realidad de la intervención en incendios sobrepasa el alcance de una documentación de referencia: la urgencia, la incertidumbre, las condiciones cambiantes y la complejidad del entorno hacen que los equipos de intervención afronten situaciones difícilmente reproducibles en un texto.

La documentación GIE esta destinada a profesionales de los servicios de extinción que en base a su formación y experiencia deben interpretarla con la cautela y circunspección necesarias.

La documentación GIE no es un texto científico ni un manual técnico exhaustivo. Si bien los contenidos manan del conocimiento científico y técnico disponible en la materia, ciertas simplificaciones han sido adoptadas para hacerlo accesible a un público más extenso y representativo de los servicios de extinción.

AVISO, GARANTÍA y RESPONSABILIDAD: La documentación del GIE se distribuye "tal cual". El GIE y sus colaboradores no proveen garantía alguna sobre la exactitud de su documentación o la ausencia de errores. La responsabilidad derivada por el uso de documentación del GIE recae en exclusiva sobre el usuario o la organización que hace uso de la misma.

Licencia

Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por el Grupo de Incendios Estructurales (GIE).

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.

En caso de obras derivadas, debe reconocer el crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo del GIE.



Tabla de contenidos

<u>INCENDIO CONFINADO</u>	8
TERMINOLOGÍA ASOCIADA	9
<u>MOTOR DE INCENDIO</u>	10
<u>PLANO NEUTRO</u>	11
CASUÍSTICA	11
<u>EVOLUCIÓN DE UN INCENDIO CONFINADO</u>	13
INCENDIO LIMITADO POR EL COMBUSTIBLE (ILC)	13
INCENDIO LIMITADO POR LA VENTILACIÓN (ILV)	15
<u>FASES DE UN INCENDIO</u>	18
<u>INCENDIO LIMITADO POR EL COMBUSTIBLE</u>	20
EVOLUCIÓN	20
CASUÍSTICA	20
POTENCIA DE INCENDIO	20
<u>INCENDIO LIMITADO POR LA VENTILACIÓN</u>	22
EVOLUCIÓN	22
CASUÍSTICA	22
POTENCIA DE INCENDIO	22
<u>POTENCIA DE INCENDIO</u>	24
CÁLCULO DE LA TLC EN INCENDIOS LIMITADOS POR EL COMBUSTIBLE (ILC)	24
CÁLCULO DE LA TLC EN INCENDIOS LIMITADOS POR LA VENTILACIÓN (ILV)	25
CÁLCULO DE LA TLC UTILIZANDO LA REGLA DE THORNTON	26
POTENCIA MÁXIMA ESPERADA	27
<u>REGLA DE THORNTON</u>	28
<u>CORRELACIÓN DE KAWAGOE</u>	29

<u>CAUDAL DE EXTINCIÓN</u>	31
EFFECTOS DEL CAUDAL DE AGUA EN LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS	31
CAUDAL CRÍTICO	31
CAUDAL ÓPTIMO	31
CAUDAL MANEJABLE	32
CAUDAL TÁCTICO	32
VALORES DE CAUDAL TÁCTICO	34
CAUDAL DISPONIBLE	36
CAUDAL OPERATIVO	36
<u>TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE AGUA</u>	37
OBJETIVOS DE LAS TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE AGUA	37
EFICACIA EN LA EXTINCIÓN VS EFICIENCIA EN EL ENFRIAMIENTO	37
SEGURIDAD EN LA ELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE APLICACIÓN	37
TÉCNICAS	38
ATAQUE DIRECTO	38
ATENUACIÓN DE LLAMAS	39
CONTROL DE GASES	40
PULSACIONES PARA EL CONTROL DE GASES O LA EXTINCIÓN DE LLAMAS	40
ATAQUE INDIRECTO	41
ROCIADO DE SUPERFICIES	41
ATAQUE OFENSIVO EXTERIOR	42
CONTROL DE LA ESCORRENTÍA	43
<u>TENDIDOS DE EXTINCIÓN</u>	44
LÍNEA DE ATAQUE	44
TRAMO DE ACOMETIDA	44
TRAMO DE TRANSPORTE	44
TRAMO DE ATAQUE	44
TRAMO DE SEGURIDAD (SOS)	45
LÍNEA DE VEHÍCULO DE ALTURA	45
TRAMO DE ACOMETIDA	45
TRAMO DE TRANSPORTE	45
TRAMO DE CESTA	46
LÍNEA DE ACCIÓN INMEDIATA (LAI)	46
LÍNEA DE ABASTECIMIENTO	46

Incendio confinado

Un **incendio confinado** es un incendio que se desarrolla en un recinto que impide la libre disipación de los productos de la combustión a la atmósfera, principalmente por la existencia de una cubierta que contenga el efluente del fuego. Este escenario es objeto de estudio por la forma en la que condiciona el desarrollo del incendio, pudiendo dar lugar a fenómenos como el flashover, backdraft y otros.

Uno de los factores que determinan el desarrollo de estos incendios es la relación que se establece entre la tasa de combustión del incendio y la disponibilidad de aire, ya sea por el volumen total del recinto o por la existencia de aberturas que permitan el intercambio de gases con el exterior, dando lugar a los conceptos:

- **Incendio ventilado** es aquel incendio confinado en el que la geometría del recinto no limita de forma significativa ni la disponibilidad de aire para el desarrollo del incendio ni el intercambio de los gases generados en la combustión con el exterior. El régimen de combustión habitual en estos escenarios es de Incendio limitado por el combustible o ILC.



Fig 1. Incendio ventilado.

Pudieran existir aberturas al exterior o no. En este caso se trata de un incendio confinado ventilado

- **Incendio infraventilado** es aquel incendio confinado en el que la geometría del recinto limita de forma significativa la disponibilidad de aire para el desarrollo del incendio, así como el intercambio de gases generados en la combustión con el exterior. Siempre que exista una carga de combustible suficiente, el régimen de combustión habitual en estos escenarios es de Incendio limitado por la ventilación o ILV.



Fig 2. Incendio confinado infraventilado.

- **Incendio no ventilado** es aquel incendio confinado sin abertura alguna al exterior. Si bien el régimen de combustión habitual en estos incendios es ILV (se da por hecho la presencia de suficiente combustible), los recintos de gran volumen como atrios, naves o hangares pueden presentar un régimen de combustión de tipo ILC.



Fig 3. Incendio confinado no ventilado.

Hay que tener en cuenta que estos conceptos son de aplicación a un momento de la evolución del incendio, pudiendo el incendio cambiar de uno a otro como consecuencia de su propio desarrollo, o por la modificación de alguno de los factores limitantes.

Terminología asociada

La norma ISO 13943 define fuego confinado, como aquel que tiene lugar y ha sido prendido dentro de una envolvente, entendiendo envolvente como un volumen definido por superficies limitantes, que pueden tener una o más aberturas.¹

La norma NFPA 921 recoge el término incendio en recintos cerrados.²

En el ámbito de la lucha contra incendios se manejan de forma casi indistinta los términos incendio de interior, incendio compartimentado e incendio estructural en referencia al incendio confinado. Casi todos vienen de la traducción más o menos literal de los términos anglosajones structural fire, enclosed fire, interior fire, compartment fire o enclosure fire. Este último ha dado título a algunos de los manuales de referencia sobre el tema.³⁴

Algunos textos se refieren al incendio confinado sin aberturas al exterior como incendio confinado.⁵

¹ Varios autores (2017). NFPA 921: Guía para la investigación de incendios y explosiones. National Fire Protection Association. [ISBN 9781455916023](#).

² Varios autores (2017). NFPA 921: Guía para la investigación de incendios y explosiones. National Fire Protection Association. [ISBN 9781455916023](#).

³ Bengtsson, Lars-Goran (2001). Enclosure Fires (en inglés). [ISBN 91-7253-263-7](#).

⁴ Karlsson, Quintiere (2000). CRC Press LLC, ed. Enclosure Fire Dynamics (en inglés). [ISBN 0-8493-1300-7](#).

⁵ Arnalich, Arturo (2014). [Manual de Incendios: Parte 3 Incendios de Interior. Ventilación de Incendios](#). CEIS Guadalajara y Grupo TRAGSA.

Motor de incendio

El **motor de incendio** es el conjunto de combustibles involucrados en el incendio que aportan la mayor parte de la energía liberada por el mismo y que debe entenderse como el principal contribuyente a la dinámica del incendio.

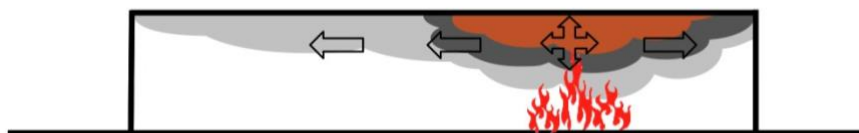


Fig 4. Motor de incendio en un recinto.

En la fase inicial del incendio, la ubicación del motor de incendio coincide con la del del foco primario del incendio. A lo largo del desarrollo del incendio, el motor de incendio se puede desplazar debido a la propagación y al agotamiento del combustible disponible. Por tanto el concepto de motor de incendio está referido a un instante concreto en la evolución del mismo.

En el ámbito de la lucha contra incendios habitualmente se emplea el término **foco de incendio** para referirse al área de mayor actividad de un incendio, lo cual sería equivalente al término motor de incendio. No se debe confundir foco del incendio con origen del incendio.

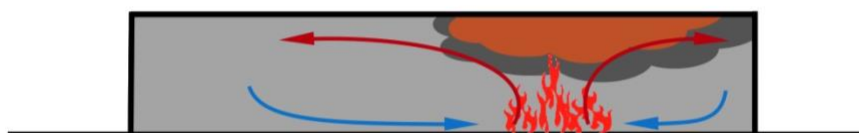


Fig 5. Dinámica de fluidos. Desde un punto de vista barométrico en el motor del incendio se produce el mayor salto barométrico. Hacia él se encamina la ruta fría, y de él parte la ruta caliente de gases.

El motor de incendio es, a falta de elementos externos de ventilación, el principal responsable del movimiento de gases. Desde un punto de vista manométrico, en él se produce el mayor salto de presión dentro del incendio:

1. En el motor de incendio se encuentra el punto de menor presión dentro del recinto del incendio, que actúa a modo de pozo o sumidero, y al que se encamina la ruta fría del flujo de gases.
2. El aporte de oxígeno de la ruta fría de gases sobre el motor del incendio permite la combustión, y por tanto la liberación de calor.
3. Los gases suben de temperatura de forma rápida, bajan su densidad al expandirse y experimentan un empuje ascendente (flotabilidad) provocando un salto manométrico.
4. Los gases calientes parten del motor del incendio buscando zonas de menor presión y constituyendo la ruta caliente del flujo de gases.

Plano neutro

El **plano neutro** de un incendio confinado es la frontera entre el volumen de gases calientes generados en el motor del incendio, que se aleja de este en la parte superior del recinto, y el volumen de gases fríos que, ocupando la parte inferior, se dirige hacia la zona de menor presión generada por el motor del incendio.

Desde un punto de vista manométrico, el plano neutro es la superficie definida por los puntos en los que el diferencial de presión con respecto a un punto a la misma altura fuera del recinto es igual a cero. Visualmente es asimilable al plano por encima del cual hay humo en una densidad óptica creciente, y por debajo del cuál hay todavía visibilidad.

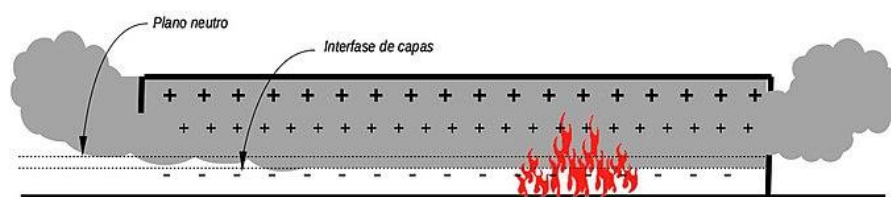


Fig 6. Distribución de gases en un incendio.

Por encima del plano neutro encontramos la capa caliente o capa de gases de incendio y por debajo una capa de aire a temperaturas mas bajas que denominamos capa fría. La primera en sobre-presión y la segunda en depresión con respecto al exterior.

A efectos de simplificación en el contexto de bomberos, el plano neutro se asimila a la interfase de capas (interphase layer), definido como la frontera entre el volumen de aire limpio y el estrato de humo.^{6 7} En realidad, el plano de interfase suele situarse por debajo del plano neutro debido a la turbulencia y a los efectos de fricción entre las dos capas. A efectos prácticos esta simplificación no tiene consecuencias tácticas para bomberos.

Casuística

En general el plano neutro se asimila a un plano horizontal, si bien:

- En recintos completamente cerrados y de tamaño reducido como la habitación o el salón de una vivienda, el plano neutro es un plano casi horizontal solo perturbado por la pluma del incendio. A medida que el incendio evoluciona, el plano neutro desciende manteniéndose horizontal.
- En recintos completamente cerrados y de gran tamaño como naves industriales, salones o túneles el plano neutro se encuentra a mucha altura en la proximidad de la pluma de incendio y desciende a medida que se aleja del foco y los gases se enfrían. La superficie se asemeja a una bóveda convexa con su punto mas alto situado sobre la pluma del incendio.

⁶ Varios autores (2017). *NFPA 921: Guía para la investigación de incendios y explosiones*. §5.10.3.3: National Fire Protection Association. ISBN 9781455916023.

⁷ *Structural Firefighting - FD203 Enclosure Fires*. §3.3.16-17: FKTP From Knowledge To Practice.

- En recintos de tamaño reducido y ventilados, el plano neutro presenta una forma cuasi-horizontal que se eleva en la proximidad de las aberturas al exterior.

Las inevitables turbulencias que se generan en el interior y en la interfaz de las dos capas hacen que, en la práctica, no sea un plano sino una capa o franja de algunos centímetros de espesor.

Evolución de un incendio confinado

La **evolución de un incendio confinado**, sigue un modelo de desarrollo en función de sus condiciones de ventilación y disponibilidad de combustible, pasando por las distintas fases típicas de cualquier otro incendio.



Fig 7. Simulador a escala para la recreación de combustión súbita generalizada.

Para su estudio consideraremos un salón convencional como escenario teórico, cuya evolución estará caracterizada por el régimen de combustión, que dependerá de la naturaleza del factor limitante para su desarrollo; en unos casos la disponibilidad de combustible, dando lugar a un incendio limitado por el combustible (ILC) y en otros la ventilación, dando lugar a un incendio limitado por la ventilación (ILV).

Incendio limitado por el combustible (ILC)

El incendio comienza con una llama laminar que crea una columna convectiva adosada a las superficies verticales al alcance y que emite gases y vapor de agua apenas visibles.

Conforme la llama aumenta de tamaño va transformándose en una llama turbulenta, con una peor combustión y produciendo un humo más visible. En estos primeros momentos, la mayor transferencia de calor se produce por el mecanismo de convección.

Al ir creciendo el incendio, va aumentando la producción de gases y la temperatura, formándose una capa de gases y partículas en suspensión: es la denominada capa caliente o capa de gases de incendio. Por debajo se sitúa una capa de aire a temperaturas mas bajas que denominamos capa fría. Entre ambas capas se establece un plano casi horizontal de frontera denominado plano neutro.

El motor del incendio genera una diferencia de temperaturas y con ello una diferencia de densidad, que fuerza el movimiento de los gases. En la capa fría un flujo de aire alimenta el foco del incendio, del cual se eleva una pluma de gases a temperatura elevada que se distribuyen horizontalmente a lo largo de la capa caliente. Si observamos los diferenciales de presión con respecto a un punto a la misma altura fuera del recinto de incendio, encontramos diferenciales de presión positivos por encima del plano neutro, y negativos por debajo de éste.

Evolución de un incendio limitado por el combustible (ILC)

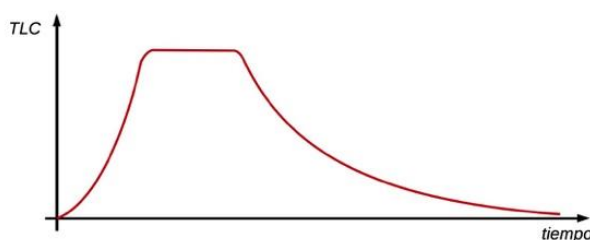


Fig 8. Evolución de la tasa de liberación de calor (TLC) en un incendio limitado por el combustible (ILC) según el modelo de curva cuadrática doble. En este caso el incendio no alcanza el flashover.

El crecimiento del incendio continúa, y con él la producción de gases, el descenso del plano neutro y el aumento en altura de la capa caliente. En un momento dado, la capa caliente habrá descendido hasta alcanzar el dintel de una puerta o de una ventana abierta; si la cantidad de humo generado es mayor que la que se evacua por la abertura, el plano neutro continuará descendiendo. En caso contrario el plano neutro permanece estable a la altura del dintel, habiendo encontrado un punto de equilibrio en la dinámica de gases del recinto.

Desde su constitución, la capa caliente transfiere calor hacia las paredes y el techo por radiación y convección. Los objetos y paredes situados en la capa fría se calientan por radiación. Los gases que finalmente escapan del recinto desde la capa caliente por las aberturas transfieren calor por convección hacia las zonas a las que se desplazan.

Si la cantidad de combustible es suficiente, el fuego continúa propagándose por los elementos combustibles del recinto pudiendo elevar la temperatura de la capa de gases por encima de los 600 °C. En este rango de temperaturas la capa de gases de incendio se inflama en forma de rollover, disparando la radiación desde la capa superior hacia los elementos que no participan en el incendio. La temperatura de inflamación de la capa caliente dependerá de la naturaleza y concentración de los gases que lo componen. Tradicionalmente se venía considerando que al alcanzarse la temperatura de autoignición del monóxido de carbono (CO) (605 °C según su ficha FISQ)⁸ es cuando se producía el rollover, pero los estudios más recientes han comprobado que la concentración de CO en incendios confinados limitados por el combustible raramente supera el 5%, quedando por debajo de su LII. La mezcla de gases en la capa caliente no solo contiene CO sino también otros productos de la combustión y gases provenientes de la pirólisis de los combustibles, siendo su inflamabilidad difícil de determinar y dependiente de factores ligados al combustible y al desarrollo del incendio hasta ese momento.

La propagación de las llamas por el techo aumenta sustancialmente la superficie radiante y con ella la transferencia de calor a los combustibles presentes en el recinto, hasta alcanzar su temperatura de ignición. Esto provocará la combustión súbita generalizada de todos los combustibles presentes en la estancia o flashover, ocupando las llamas toda la estancia. La

⁸ [«Monóxido de carbono». Fichas Internacionales de Seguridad Química \(FISQ\). International Programme on Chemical Safety.](#)

mayoría de los estudios asocian a este fenómeno un nivel de radiación de unos 20 kW/m² a nivel del suelo y una temperatura de los gases cercana a los 600 °C.⁹¹⁰

Es importante indicar que no todos los incendios limitados por el combustible evolucionan hasta esta fase de flashover. En muchos casos la escasez de combustible o las pérdidas de calor impiden que la capa de gases caliente consiga temperaturas lo suficientemente elevadas como para producir la combustión súbita generalizada.

Una vez que el incendio ha alcanzado su máximo desarrollo irá decayendo en intensidad hasta que, una vez consumida la mayor parte del combustible, solo queden rescoldos con combustión incandescente. Esta última etapa se caracteriza por la elevada producción de CO, en la cual se alcanzan concentraciones de hasta un 5%.

Debido a la gran demanda de oxígeno que genera la combustión generalizada, en general se asocia la aparición del flashover con un cambio de régimen del incendio, pasando de limitado por el combustible (ILC) a limitado por la ventilación (ILV).

Incendio limitado por la ventilación (ILV)

Evolución de la tasa de liberación de calor (TLC) de un incendio confinado en un recinto totalmente cerrado en el que se produce una apertura de ventilación.

Las condiciones en las que se desarrolla el incendio pueden condicionar la disponibilidad de oxígeno, convirtiéndolo en el agente limitante para mantener la combustión. La falta de renovación de aire, y con ella la de oxígeno, son consecuencia de la falta de equilibrio entre el intercambio de gases del recinto y la producción de gases del incendio:

- Las aberturas existentes (por su ubicación, tamaño, etc.) son insuficientes para permitir la salida de gases de incendio, en la medida en que se generan, o la libre entrada de aire. Es importante recordar que como consecuencia de la ley de la conservación de la materia, la masa de aire que entra en el recinto de incendio es igual a la masa de los gases que salen si despreciamos el efecto de la pirólisis de los combustibles.
- La cantidad de combustible involucrado en el incendio es tan grande que genera un volumen de gases que excede su capacidad de salida.

En estas condiciones, el oxígeno se va consumiendo y desciende en concentración; como consecuencia la tasa de combustión se reduce y la temperatura desciende. El déficit de oxígeno hace que la combustión sea menos completa, incrementándose la concentración de CO. La limitación de evacuación de los gases también provocará un descenso del plano neutro, dificultando la visibilidad.

El desarrollo del incendio encontrará su estado de equilibrio cuando el intercambio de gases entre el recinto y el exterior se iguale con la producción de gases y el consumo de aire. En

⁹ Varios autores. *Fire Protection Handbook* (en inglés) (20 edición). NFPA. ISBN 9780877657583.

¹⁰ Dougal, Drysdale (1999). *An Introduction to fire Dynamics* (en inglés) (2ª edición). Wiley. ISBN 978-0471972914.

estos casos, se puede aproximar la potencia de incendio usando la Correlación de Kawagoe con la circunspección necesaria.¹¹

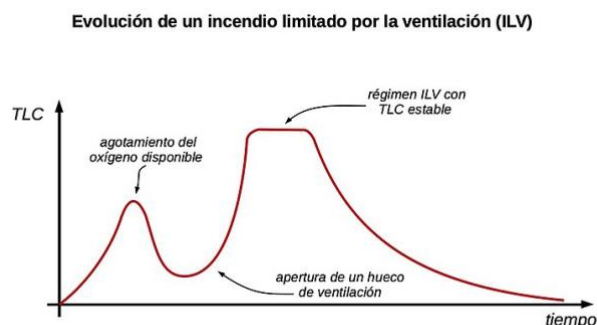


Fig 9. Evolución de la tasa de liberación de calor (TLC) de un incendio confinado en un recinto totalmente cerrado en el que se produce una apertura de ventilación.

Si el plano neutro alcanza los combustibles cesa la combustión con llamas, pero los materiales mantienen una alta temperatura por lo que continúan pirolizando y aumentando la fracción de combustible del colchón de gases.

El ejemplo típico de un ILV es un incendio que se desarrolla en una estancia con la puerta y ventanas cerradas. El incendio seguirá el desarrollo de ILC, pero al no poder evacuarse el colchón de humo, este desciende y la concentración de oxígeno disponible disminuye hasta sofocar el fuego, permitiendo únicamente la persistencia de una combustión de brasas que requiere una concentración de oxígeno menor (fuego latente).

En esta situación, el único intercambio con el exterior es a través de los espacios que pudieran quedar, como rendijas de puertas y ventanas o respiraderos. Observando estos flujos se puede reconocer el comportamiento del incendio: salida de gases durante la fase de crecimiento, entrada de aire con el enfriamiento del recinto debido a la reducción de la tasa de combustión o incluso pulsaciones provocadas por la inestabilidad del régimen de combustión en el recinto.

A partir de esta situación pueden darse varios escenarios:

1. Las condiciones se mantienen y el calor se disipa a través de los materiales que delimitan el recinto, por conducción.
2. Se abre un hueco de ventilación que aporta una entrada de aire; frecuentemente es la apertura de una puerta o la rotura de un ventanal. Parte de los gases de incendio salen al exterior mientras que el aire entra por la parte inferior hasta alcanzar las brasas. Esto va a acelerar el desarrollo del incendio y, eventualmente, avivar las llamas que pueden servir de fuente de ignición para la capa de gases. En las nuevas condiciones de ventilación, el incendio crece hasta alcanzar un nuevo equilibrio como se ha descrito previamente.

¹¹ [Kawagoe, Kunio \(1958\). «Fire behaviour in rooms». Report nº27. Building Research Institute, Tokyo.](#)

3. Si el intercambio de gases es suficiente, el incendio podrá crecer hasta alcanzar una combustión súbita generalizada de todos los combustibles. En este caso hablamos de un flashover inducido por la ventilación.
4. Con menos frecuencia, la capa de gases ha podido acumular una fracción de combustible y guardar una temperatura suficiente, como para provocar una deflagración conocida como backdraft.

Fases de un incendio

Las **fases del incendio** son los distintos estadios por los que pasa un incendio en su desarrollo normal, es decir, sin intervención de agentes externos como pueden ser un equipo de extinción.

De forma general, la NFPA establece las siguientes fases de incendio basadas en la potencia o tasa de liberación de calor (TLC):¹²

- **Fuego incipiente.** Caracterizada por una potencia de incendio muy reducida y un crecimiento lento.
- **Fase de crecimiento.** La potencia de incendio crece rápidamente a medida que aumenta la cantidad de combustible involucrado en el incendio.
- **Fase de estabilización.** La potencia de incendio se estabiliza ya sea porque no aumenta la cantidad de combustible involucrado en el incendio o porque el acceso al oxígeno queda limitado por las condiciones de ventilación.
- **Fase de declive (o decaimiento).** La potencia de incendio decae debido al agotamiento del combustible involucrado.

Estas fases no se corresponden con unos valores concretos, ya que estos varían de unos incendios a otros. El factor que determina el paso de una fase a otra es la forma que adopta la curva de potencia de incendio frente al tiempo.

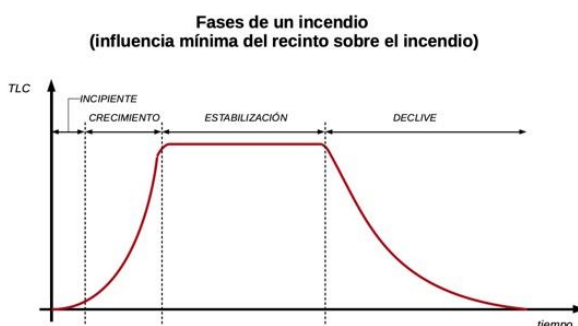


Fig 10. Identificación de las fases de incendio en un incendio en el que el recinto ejerce una influencia despreciable sobre el mismo.

Es importante no considerar estas fases como lineales o secuenciales, ya que un incendio que se encuentra en fase de declive puede volver a su fase de crecimiento si alcanza un combustible que hasta ese momento no estaba involucrado, o si cambian las condiciones de ventilación.

En un incendio confinado, si se dan las condiciones necesarias de cantidad de combustible, geometría y factor de ventilación, el tránsito entre las fases de crecimiento y estabilización suele estar provocado por el fenómeno denominado combustión súbita generalizada o *flashover*.

¹² Varios autores. *Fire Protection Handbook* (en inglés) (20 edición). NFPA.

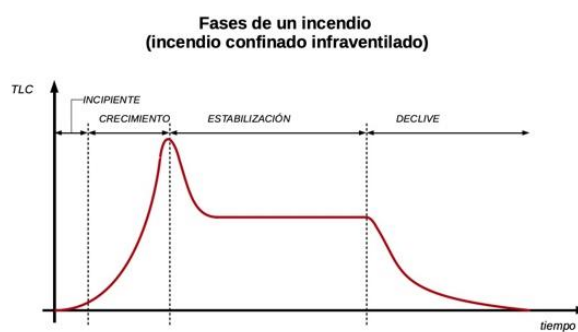


Fig 11. Ejemplo de un posible desarrollo de incendio en el que el recinto ejerce una influencia importante sobre el incendio: la potencia del mismo está limitada por la capacidad de intercambio de gases. En la gráfica se identifican las fases típicas.

Incendio limitado por el combustible

Un **incendio limitado por el combustible** es aquél en que la emisión de calor y su crecimiento están limitados por las características del combustible involucrado (poder calorífico, cantidad, disgregación y distribución) y en que la disponibilidad de aire es suficiente para mantener una proporción adecuada para la libre combustión.¹³

Evolución

Ver [Incendio limitado por el combustible \(ILC\)](#).

Casuística

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

- Incendios que se desarrollan al exterior.
- Incendios confinados en su etapa de desarrollo inicial.
- Incendios confinados con amplia ventilación.
- Incendios confinados tras las primeras fases de la intervención de bomberos, debido a la aplicación de agua sobre los combustibles, al barrido inicial de gases utilizando tácticas de ventilación, o a ambas.
- Incendios confinados en grandes volúmenes (naves industriales o hangares) donde el tamaño del incendio en relación al volumen del mismo es pequeño.

Potencia de incendio

En un ILC, la potencia o tasa de liberación de calor (TLC) en un momento dado, expresada por en MW viene determinada por la cantidad de combustible que entra en combustión por unidad de tiempo, expresada por en kg/s, y el poder calorífico, expresado en MJ/kg.¹⁴

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

Ejemplo:

Un bloque de poliestireno, en el momento en que se consume a razón de 50g por segundo en un lugar abierto (ILC) da lugar a un incendio con una potencia de 2 MW aproximadamente.

$$\dot{Q} = 0,05 \text{ kg/s} \cdot 39,85 \text{ MJ/kg} = 1,99 \text{ MW}$$

¹³ NFPA 921: *Guía para la investigación de incendios y explosiones*. National Fire Protection Association. 2017. ISBN 9781455916023.

¹⁴ Dougal, Drysdale (1999). *An Introduction to fire Dynamics* (en inglés) (2ª edición). Wiley. ISBN 978-0471972914.

Evolución de un incendio limitado por el combustible (ILC)

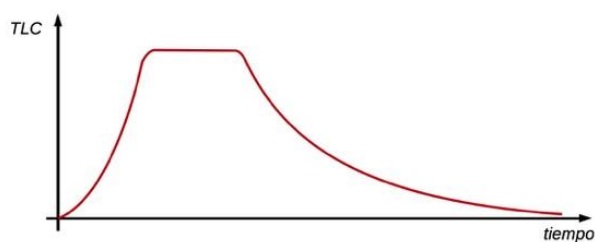


Fig 12. Evolución de la tasa de liberación de calor (TLC) en un incendio limitado por el combustible (ILC) según el modelo de curva cuadrática doble.

Incendio limitado por la ventilación

Un **incendio limitado por la ventilación** o ILV es aquél en el que su crecimiento y potencia queda limitado por la cantidad de oxígeno disponible.¹⁵

Evolución

Ver [Incendio limitado por la ventilación \(ILV\)](#).

Casuística

Dando por hecho la existencia de combustible suficiente para hacer evolucionar el incendio, se pueden encontrar incendios limitados por la ventilación en:

- Incendios confinados en recintos completamente cerrados.
- Incendios confinados en recintos con aberturas de ventilación en los que la producción de gases supera la capacidad de intercambio de gases con el exterior.

Potencia de incendio

En un ILV, la potencia de incendio en su fase de estabilización puede estimarse empleando las correlaciones de Kawagoe,¹⁶ o MQH de McCaffrey, Quintiere and Harkleroad,¹⁷ que relacionan la tasa de liberación de calor (TLC) con el tamaño y la geometría de la abertura del recinto al exterior, teniendo en cuenta que cada metodología responde a escenarios de ensayo específicos. Utilizando la primera de estas (Kawagoe), la tasa de liberación de calor expresada por $\dot{Q}$ en MW viene determinada por la altura de la abertura en m, su sección transversal en m² y el poder calorífico Δh_c expresado en MJ/kg

$$\dot{Q} = k \Delta h_c A h^{0,5}$$

con $k = 0,092$ para el sistema de unidades propuesto.

Ejemplo:

Un ILV alimentado a través de la apertura de una puerta de 2 x 0,8 m con un combustible con poder calorífico $\Delta h_c = 20 \text{ MJ/kg}$, da lugar a un incendio con una potencia de 4,16 MW.

$$A = 2 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} = 1,6 \text{ m}^2; \dot{Q} = 0,092 \cdot 20 \text{ MJ/kg} \cdot 1,6 \text{ m}^2 \cdot (2 \text{ m})^{0,5} = 4,16 \text{ M}$$

Ese mismo incendio con una puerta entornada para el paso de una manguera (10 cm de anchura) da lugar a un incendio con una potencia de tan solo 0,52 MW.

¹⁵ *NFPA 921: Guía para la investigación de incendios y explosiones*. National Fire Protection Association. 2017. ISBN 9781455916023.

¹⁶ [Kawagoe, Kunio \(1958\). «Fire behaviour in rooms». *Report nº27, Building Research Institute, Tokyo*.](#)

¹⁷ McCaffrey, B. J.; Quintiere; Harkleroad (05/1981). «Estimating room temperatures and the likelihood of flashover using fire test data correlations». *Fire Technology*.

$$A = 2 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,2 \text{ m}^2; \dot{Q} = 0,092 \cdot 20 \text{ MJ/kg} \cdot 0,2 \text{ m}^2 \cdot (2 \text{ m})^{0,5} = 0,52 \text{ MW}$$

Evolución de un incendio limitado por la ventilación (ILV)

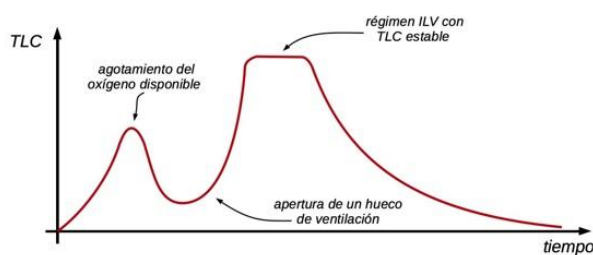


Fig 13. Evolución de la tasa de liberación de calor (TLC) de un incendio confinado en un recinto totalmente cerrado en el que se produce una apertura de ventilación. Los cálculos de TLC propuestos corresponden a la fase con régimen ILV estable.

Potencia de incendio

La **potencia de un incendio** o **tasa de liberación de calor (TLC)** es la cantidad de calor liberada por el incendio en la unidad de tiempo. Habitualmente representada por $\dot{Q}$ en las ecuaciones, otros términos pueden también referirse al mismo concepto: tasa de emisión de calor (TEC), *Heat Release Rate (HRR)*, *Rate of Heat Release (RHR)* o *débit calorifique*.¹⁸ La TLC se mide en vatios (W) en el sistema internacional de unidades que equivale a un julio (J) por segundo (s). En el ámbito de los incendios estructurales la unidad comúnmente utilizada es el megavatio (MW).

Ejemplos de TLC (máx) obtenidos en distintos incendios ^{19 20 21}

Incendio	TLC (MW)	Régimen
Papelera	0,1	ILC
Manto de gasolina de 1 m ²	2.5	ILC
Pila de 3 m de altura de palets de madera	7	ILC
Recintos de incendios de estancias representativas del medio residencial	8,8 a 11,5	ILV

Cálculo de la TLC en incendios limitados por el combustible (ILC)

En un ILC, la potencia o tasa de liberación de calor (TLC) en un momento dado, expresada por $\dot{Q}_b$ en MW viene determinada por la cantidad de combustible que entra en combustión por la unidad de tiempo expresada por $\dot{m}_b$ en kg/s y el poder calorífico expresado en MJ/kg.²²

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

¹⁸ Varios autores (2018). «Seguridad contra incendios. Vocabulario. (ISO 13943:2017).». *Normas generales relativas a la protección contra incendios* (ISO).

¹⁹ Quintiere, James G.; Karlsson, Bjorn (1999). *Enclosure fire dynamics* (en inglés). CRC Press.

²⁰ Zebotek, Robin; Kerber, Stephen (2016). [Study of the Effectiveness of Fire Service Positive Pressure Ventilation During Fire Attack in Single Family Homes Incorporating Modern Construction Practices](#). UL Firefighter Safety Research Institute.

²¹ [Kerber, Stephen \(2013\). Study of the Effectiveness of Fire Service Vertical Ventilation and Suppression Tactics in Single Family Homes](#). UL Firefighter Safety Research Institute.

²² Dougal, Drysdale (1999). *An Introduction to fire Dynamics* (en inglés) (2ª edición). Wiley. ISBN 978-0471972914.

Ejemplo:

Un bloque de poliestireno, en el momento en que se consume a razón de 50 g por segundo en un lugar abierto (ILC) da lugar a un incendio con una potencia de 2 MW aproximadamente.

$$\dot{Q} = 0,05 \text{ kg/s} \cdot 39,85 \text{ MJ/kg} = 1,99 \text{ MW}$$

Cálculo de la TLC en incendios limitados por la ventilación (ILV)

En un ILV, la potencia de incendio en su fase de estabilización puede estimarse empleando las correlaciones de Kawagoe²³ o MQH de McCaffrey, Quintiere and Harkleroad,²⁴ que relacionan la tasa de liberación de calor (TLC) con el tamaño y la geometría de la abertura del recinto al exterior.

Estas correlaciones tienen valor a la hora de hacer una aproximación de la TLC. Sin embargo, es necesario tener presente que no se trata de valores de carácter determinista, sino de expresiones de correlación estadística entre variables obtenidas en un escenario de ensayo concreto, condicionadas por la incertidumbre propia de la instrumentación de ensayo y los errores asumidos en el proceso de correlación. No obstante, los valores obtenidos con estas correlaciones se consideran suficientemente aproximados para los escenarios residenciales, a los que los equipos de intervención se enfrentan y para las consideraciones tácticas que conllevan, como la determinación del caudal táctico.

Utilizando la primera de estas correlaciones (Kawagoe), la tasa de liberación de calor expresada por $\dot{Q}$ en MW viene determinada por la altura de la abertura h en m, el área de su sección transversal A en m^2 y el poder calorífico Δh_c expresado en MJ/kg

$$\dot{Q} = k \Delta h_c A h^{0,5}$$

con $k = 0,092$ para el sistema de unidades propuesto.

Ejemplo:

Un ILV alimentado a través de la apertura de una puerta de 2 x 0,8 m con un combustible con poder calorífico Δh_c , da lugar a un incendio con una potencia de 4,16 MW.

$$A = 2 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} = 1,6 \text{ m}^2;$$

$$\dot{Q} = 0,092 \cdot 20 \text{ MJ/kg} \cdot 1,6 \text{ m}^2 \cdot (2 \text{ m})^{0,5} = 4,16 \text{ MW}$$

²³ Kawagoe, K (1958). «Fire behaviour in rooms». *Report nº27, Building Research Institute, Tokyo*.

²⁴ McCaffrey, B. J.; Quintiere; Harkleroad (05/1981). «Estimating room temperatures and the likelihood of flashover using fire test data correlations». *Fire Technology*.

Ese mismo incendio con una puerta entornada para el paso de una manguera (10 cm de anchura) da lugar a un incendio con una potencia de tan solo 0,52 MW.

$$A = 2 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,2 \text{ m}^2; \dot{Q} = 0,092 \cdot 20 \text{ MJ/kg} \cdot 0,2 \text{ m}^2 \cdot (2 \text{ m})^{0,5} = 0,52 \text{ MW}$$

Cálculo de la TLC utilizando la regla de Thornton

Otra aproximación a la potencia de un incendio, ya sea limitado por el combustible o por la ventilación, puede realizarse empleando la regla de Thornton que establece la cantidad de energía $\dot{Q}$ liberada en la combustión de compuestos orgánicos en función del consumo de oxígeno O_2 .²⁵

$$Q = m_{O_2} \cdot 13.1 \text{ kJ/g}$$

La TLC $\dot{Q}$, viene determinada por:

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = 13.1 \text{ kJ/g} \cdot \frac{dm_{O_2}}{dt}$$

Este método es frecuentemente empleado en campanas calorimétricas de laboratorio para medir la TLC de un incendio.

Ejemplo:

Calcular la potencia media de un incendio confinado y no ventilado que consigue reducir la concentración de oxígeno de un 21% a un 5% en 5 minutos en un recinto de 80 m³.

$$m_{O_2} = 80 \text{ m}^3 \cdot (21\% - 5\%) \frac{O_2}{\text{aire}} \cdot 1429 \frac{g_{O_2}}{\text{m}^3} = 18291 \text{ g}_{O_2}$$

$$t = 300 \text{ s}$$

$$\dot{Q} = 13.1 \text{ kJ/g} \cdot \frac{dm_{O_2}}{dt} = 13.1 \text{ kJ/g} \cdot \frac{18291 \text{ g}_{O_2}}{300 \text{ s}} = 799 \text{ kW} = 0,799 \text{ MW}$$

²⁵ Varios autores (2016). Morgan J. Hurley, ed. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Springer. ISBN 978-1-4939-2564-3.

Potencia máxima esperada

La **potencia máxima esperada** $\dot{Q}_{max}$, también referida como *peak HRR* en inglés es la TLC máxima que puede alcanzar el incendio si no modificamos sustancialmente sus condiciones de desarrollo. Este concepto es fundamental para definir el caudal táctico.

Desde una óptica operativa, la potencia máxima esperada es el máximo desarrollo de incendio al que los equipos de intervención podrían tener que hacer frente en un escenario determinado y que se encuentra muy cercana a la potencia esperada en el momento del *flashover*.

Es frecuente encontrar curvas de referencia de TLC frente al tiempo para distintos elementos de mobiliario obtenidas en ensayos de laboratorio. De ellas se puede obtener el valor para la potencia máxima esperada $\dot{Q}_{max}$ en condiciones de ILC. Sin embargo, no hay que caer en el error de calcular la potencia máxima esperada $\dot{Q}_{max}$ de un recinto mediante la suma de las $\dot{Q}_{max}$ de cada uno de sus elementos, por dos razones:

- A partir de que el incendio entra en la fase de ILV los elementos involucrados no llegarán casi nunca a la $\dot{Q}_{max}$ que habrían alcanzado en un ensayo que se desarrolla sin límite en la ventilación periférica, por falta de suficiente concentración de oxígeno.
- La $\dot{Q}_{max}$ se da en un momento determinado, y puesto que las configuraciones de los diferentes elementos presentes y el momento en el que empiezan a arder son diferentes, los picos individuales se producen también en momentos diferentes por lo que no se pueden sumar.

Regla de Thornton

La **regla de Thornton** establece la cantidad de energía liberada en la combustión de compuestos orgánicos en función del consumo de oxígeno.²⁶

$$Q = m_{O_2} \cdot 13.1 \text{ kJ/g}$$

Esta equivalencia, establecida en 1917 por W.M. Thornton tras una serie de experimentos, se cumple independientemente de la naturaleza del compuesto orgánico. En los años 70, el investigador del NIST C. Huggett validó la Regla de Thornton experimentalmente mediante calorimetría de consumo de oxígeno.²⁷ Hoy en día este principio es la base de funcionamiento de las campanas calorimétricas utilizadas en laboratorio.

Una aplicación práctica de esta regla es el cálculo de la tasa de liberación de calor (TLC) de incendios, ya sea limitado por el combustible o por la ventilación. Así, viene determinada por:²⁸

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = 13.1 \text{ kJ/g} \cdot \frac{dm_{O_2}}{dt}$$

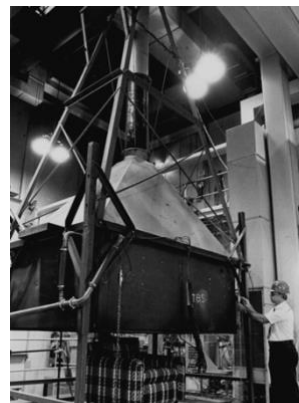


Fig 14. Bomba calorimétrica desarrollada por el NIST para medir la TLC en la combustión de muebles (1983).

²⁶ Varios autores (2016). Morgan J. Hurley, ed. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Springer. ISBN 978-1-4939-2564-3.

²⁷ Janssens, M.L. (1991). «Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements». *Fire Technology* (27). doi:10.1007/BF01038449.

²⁸ Thornton, W.M. (1917). «The relation of oxygen to the heat of combustion of organic compounds». *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* **33**. doi:10.1080/14786440208635627.

Correlación de Kawagoe

La **correlación de Kawagoe** es una expresión matemática que permite la estimación de la potencia o tasa de liberación de calor (TLC) de un incendio limitado por la ventilación (ILV) en función del tamaño y la geometría de la abertura del recinto al exterior.²⁹ La aplicación de las correlaciones tiene su excepción cuando el incendio está sobreventilado por la acción del viento, de fuertes corrientes de convección o de ventiladores mecánicos.

Como para otras correlaciones similares, la correlación de Kawagoe nos permite una aproximación al valor de la TLC en incendio confinado ventilado, limitado por la ventilación y en fase post flashover en volúmenes domésticos. Sin embargo, es necesario tener presente que no se trata de valores de carácter determinista, sino de expresiones de correlación estadística entre variables obtenidas en un escenario de ensayo concreto, condicionadas por la incertidumbre propia de la instrumentación de ensayo y por los errores asumidos en el proceso de correlación. No obstante, los valores obtenidos con estas correlaciones se consideran suficientemente aproximados para los escenarios residenciales, a los que los equipos de intervención se enfrentan y para las consideraciones tácticas que conllevan, como la determinación del caudal táctico.

Según esta correlación, la tasa de liberación de calor expresada por $\dot{Q}_{max}$ en MW viene determinada por la altura h de la abertura en m, su sección transversal A en m² y el poder calorífico Δh_c expresado en MJ/kg.

$$\dot{Q} = k \Delta h_c A h^{0,5}$$

con $k = 0,092$ para el sistema de unidades propuesto.

Es también frecuente encontrar en distintas referencias la expresión $\dot{Q} = 1500 A h^{0,5}$ (en kJ) fruto de incorporar el valor k y como valores de referencia.

Cuando existen n múltiples huecos de ventilación de sección $A_1, A_2, A_3, \dots$ con alturas $h_1, h_2, h_3, \dots$ de abertura el valor de A corresponderá a la suma de todas las secciones transversales y el h de a la altura ponderada:

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

$$h = \frac{(A_1 h_1 + A_2 h_2 + \dots + A_n h_n)}{A}$$

Es importante reseñar que la correlación de Kawagoe no considera la cota z a la que se encuentra el hueco de ventilación sino sólo su altura h : el valor de la TLC estimada es similar, ya esté el hueco situado en la parte superior o en la parte inferior del recinto.

²⁹ Kawagoe, Kunio (1958). «Fire behaviour in rooms». *Report nº27, Building Research Institute, Tokyo*.

Ejemplos:

Un ILV alimentado a través de la apertura de una puerta de 2 x 0,8 m con un combustible con poder calorífico $\Delta h_c = 20 \text{ MJ/kg}$, da lugar a un incendio con una potencia de 4,16 MW.

$$A = 2 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} = 1,6 \text{ m}^2; \dot{Q} = 0,092 \cdot 20 \text{ MJ/kg} \cdot 1,6 \text{ m}^2 \cdot (2 \text{ m})^{0,5} = 4,16 \text{ MW}$$

Ese mismo incendio con una puerta entornada para el paso de una manguera (10 cm de anchura) da lugar a un incendio con una potencia de tan solo 0,52 MW.

$$A = 2 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,2 \text{ m}^2; \dot{Q} = 0,092 \cdot 20 \text{ MJ/kg} \cdot 0,2 \text{ m}^2 \cdot (2 \text{ m})^{0,5} = 0,52 \text{ MW}$$

En un momento dado se abre un ventanal de 1,40 x 3 m además de la puerta de 2 x 0,8 m dando lugar a un incendio de potencia:

$$A = 2 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} + 3 \text{ m} \cdot 1,4 \text{ m} = 1,6 \text{ m}^2 + 4,2 \text{ m}^2 = 5,8 \text{ m}^2$$

$$h = (1,6 \cdot 2 + 4,2 \cdot 1,4) / 5,8 = 1,57 \text{ m}$$

$$\dot{Q} = 0,092 \cdot 20 \text{ MJ/kg} \cdot 5,8 \text{ m}^2 \cdot (1,57 \text{ m})^{0,5} = 13,35 \text{ MW}$$

Caudal de extinción

El **caudal de extinción de incendios** es la cantidad de agua por unidad de tiempo empleada en la extinción de un incendio en un momento dado. Se expresa normalmente en litros por minuto (Lpm), L/min .

Efectos del caudal de agua en la extinción de incendios

La aplicación de agua al incendio con una técnica determinada, con objeto de lograr su extinción, puede tener uno de los siguientes resultados:

- El caudal es insuficiente frente a la potencia que desarrolla el incendio, por lo que el agua se evapora antes de alcanzar el combustible y/o no es capaz de absorber la suficiente energía del entorno para que tenga un efecto significativo en el desarrollo del incendio.
- El caudal es suficiente para lograr un control de un incendio, provoca que no aumente ni la cantidad de combustibles implicados en el incendio ni la potencia del mismo, aunque tampoco consigue reducirlo.
- El caudal es suficiente para lograr la **extinción de un incendio**, provocando la reducción hasta cero de la cantidad de combustible implicado en el incendio y la potencia del mismo.

Caudal crítico

El **caudal crítico** es el mínimo caudal de agua necesario para controlar un incendio en un momento determinado.³⁰

Por tanto, el caudal crítico está en relación con la tasa de liberación de calor del incendio en cada una de sus fases, e implica que el tiempo y el gasto de agua necesarios para la extinción tienden al infinito cuando el caudal de extinción empleado es igual o inferior al caudal crítico.³¹

Caudal óptimo

El **caudal óptimo** es el caudal que permite extinguir un incendio con un gasto de agua mínimo, entendiendo como **gasto de agua** la cantidad total de agua empleada en la extinción de un incendio.³⁰

Un caudal superior al óptimo reduciría el tiempo de extinción pero supondría un mayor gasto de agua. Un caudal por debajo del valor del caudal óptimo supone un aumento del tiempo de extinción, y conlleva también un aumento del gasto de agua.

El caudal óptimo es un caudal teórico que dependería de la técnica de aplicación de agua y de otros factores, y cuya aplicación práctica está fuertemente condicionada por recursos necesarios.

³⁰ [Grimwood, P.; Barnett, C. \(enero 2005\). «Fire-fighting Flow-rate: Barnett \(NZ\) Grimwood \(UK\) Formulae». *Firetactics*.](#)

³¹ Särdisqt, Stefan (1999). «Fire brigade use of water». *INTERFLAM '99: Fire science and engineering conference* (en inglés) (Interscience Communications Limited).

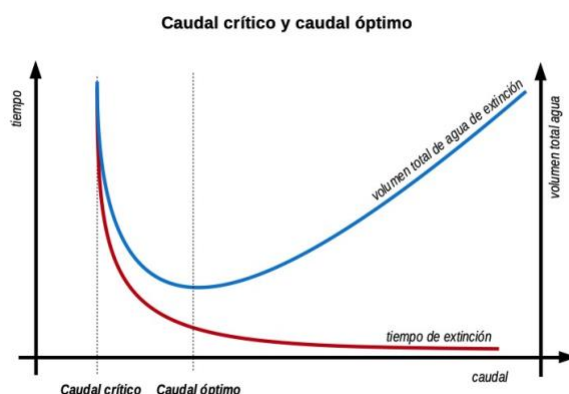


Fig 15. Caudal crítico y caudal óptimo.

Caudal manejable

El caudal que puede manejar un equipo de extinción está limitado por la reacción que produce la lanza. Cuando la lanza proyecta agua, ésta tiende a desplazarse en sentido contrario al agua. Este efecto, conocido como reacción de la lanza, exige del bombero un esfuerzo físico extra para contrarrestar esa fuerza.

Esta reacción viene condicionada por dos factores principales, el caudal que se proyecta y la presión en lanza a la que se consigue ese caudal.

Las diferentes investigaciones realizadas con el objeto de determinar el caudal máximo manejable han llegado a conclusiones similares. Ciertos departamentos de bomberos, principalmente San Francisco, Los Ángeles y Chicago propusieron un caudal de 550 Lpm como máximo manejable para ser utilizado por un binomio de intervención.

Debe considerarse que el equipo de extinción, en posición estática, puede soportar reacciones mayores que cuando lanza agua mientras avanza, con lo que los estudios se han hecho con líneas de 45 mm y 52 mm que son las líneas habituales de progresión.

Un trabajo de investigación sobre la capacidad operativa de las líneas de ataque utilizadas por la London Fire Brigade,³² evaluó cuál es el caudal que puede circular por una manguera de manera que la línea se pueda utilizar con efectividad y seguridad mientras se avanza en el interior de un recinto incendiado a la vez que se realiza la extinción y estableciendo una fuerza de reacción máxima de la lanza que puede ser manejada por uno, dos y tres bomberos:

- 266 N para un bombero
- 333 N para dos bomberos
- 422 N para tres bomberos

Al no matizar las características físicas del binomio, estos datos deben entenderse como promedio.

³² Grimwood, P. (1992). *Firefighting nozzle reaction*. www.firetactics.com

Para determinar la fuerza de reacción que se produce para un determinado caudal a una determinada presión, podemos utilizar:

$$F_R = 0'226Q\sqrt{P_L}$$

Donde es F_R es la fuerza de reacción en Newtons, Q caudal en Lpm, P_L presión en lanza en bar.

Para establecer el caudal manejable debe considerarse que un mismo caudal puede obtenerse con una presión menor y un orificio mayor o viceversa. Siendo el mismo caudal, la reacción no es la misma, ya que será mayor cuanto mayor sea la presión en lanza.

Por ejemplo, un modelo concreto de lanza de 45 mm puede dar un caudal de 360 Lpm a 7 bar con una reacción de 215 N. Sin embargo, para conseguir el mismo caudal con una lanza de 25 mm la instalación debe trabajar a una presión de 17 bar, lo que supondrá una reacción de 335 N.

De esta forma, el cálculo del caudal máximo manejable debe realizarse atendiendo a cada instalación concreta aplicando la ecuación anterior. De esta forma, para el ejemplo anterior y para un binomio y ese modelo de lanza de 45 mm, se alcanzarán el máximo caudal manejable de 333 N con un caudal de 560 Lpm con una presión de 7 bar.³³

Tabla 1. Reacción de la lanza y caudales en función de presión en lanza y posición del selector de caudales para una lanza determinada de 45 mm.³⁴

			Presión en lanza (bar)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Selector caudales	115	Q (l/min)	43	61	75	87	97	106	115	123	130	137
		R (N)	10	20	29	39	49	59	69	78	88	98
	230	Q (l/min)	87	123	151	174	194	213	230	246	261	275
		R (N)	20	39	59	78	98	118	137	157	177	196
	360	Q (l/min)	136	192	236	272	304	333	360	385	408	430
		R (N)	31	61	92	123	154	184	215	246	276	307
	475	Q (l/min)	180	254	311	359	401	440	475	508	539	568
		R (N)	41	81	122	162	203	243	284	324	365	405

A diferencia de otros conceptos de caudal aplicables a la extinción de incendios estructurales, el caudal máximo manejable, no depende de las características propias del incendio, como es ventilación, carga térmica o disponibilidad del combustible entre otras, no requiriendo de ningún cálculo basado en superficie incendiada o posibilidades de ventilación.

³³ Alonso, Basset, Ibáñez, Mora (2017). «Caudal para extinción de incendios de interiores.» Emergencia 112. Magazine nº 18

³⁴ [Alonso, Manuel. \(2015\). Análisis de diferentes tipos de instalaciones para la extinción, por parte de los servicios de bomberos, de incendios de interior utilizando bombas de alta y baja presión. Universidad Politécnica de Valencia. Trabajo fin de Grado.](#)

Puede establecerse que el caudal máximo manejable de una instalación determina la máxima capacidad de extinción, y el máximo nivel de seguridad con el que pueden contar en caso de una evolución desfavorable del incendio.

Caudal táctico

El **caudal táctico** es un caudal que permite la extinción del incendio con unos niveles aceptables de seguridad para los intervinientes, reduciendo el tiempo de extinción y permitiendo disponer de un margen de seguridad para hacer frente a un empeoramiento de las condiciones del incendio.

El caudal táctico es una elección del mando de la intervención en función de las condiciones del incendio atendiendo a la doctrina operativa de su servicio, cuyos criterios se fijan en función de la formación de su personal y de sus materiales y recursos.

La aplicación de una táctica de lucha contra incendios debe incorporar un margen de seguridad que permita compensar errores de diseño o circunstancias accidentales. El caudal táctico otorga este margen de seguridad para la potencia máxima esperada, permitiendo hacer frente a los fenómenos de rápido desarrollo. También permite extinguir el incendio más rápido, reduciendo con ello los tiempos de exposición. En la práctica existe un límite para el aumento de caudal: la manejabilidad en base a los recursos y medios disponibles.³⁴

Valores de caudal táctico

Establecer un valor para el caudal táctico es objeto de discusión entre distintos autores y servicios de extinción. Existe cierta heterogeneidad debido a las diferentes metodologías empleadas para su estimación y a las diferencias operativas, de formación y del entorno constructivo en el que el servicio de extinción de incendios desarrolla su labor. La decisión del caudal táctico a adoptar en las operaciones de extinción de un incendio corresponde al mando de dicha intervención sobre la base de la doctrina operativa de su servicio.

S. Sardqvist (Water and other extinguishing agents. pag 20) propone un caudal táctico entre el doble y cuatro veces el caudal crítico, si bien esta relación, desde el punto de vista operativo no aporta mucho porque en un incendio real nunca vamos a conocer el caudal crítico.

En la literatura técnica al respecto se proponen diferentes valores; para recintos de pequeña superficie los autores prefieren establecer el valor del caudal táctico en función de la potencia del incendio expresándose en litros por minuto por megavatio (Lpm/MW) $L\ min^{-1}MW^{-1}$ si bien en recintos de gran superficie como naves industriales, auditorios o atrios, es más común encontrar valores referidos a la superficie involucrada expresados en litros por minuto por m^2 (Lpm/m^2), $L\ min^{-1}m^{-2}$. En este último caso los incendios se desarrollan mayoritariamente en un régimen de incendio limitado por el combustible donde la potencia a fin de cuentas depende de la superficie involucrada en el incendio.

- En un estudio de investigación de carácter empírico llevado a término en Suecia en 2001, Svensson y Särdisqt, con equipos de intervención bien entrenados en escenarios de incendio para la formación, consiguieron valores de 11,4 y 14,4 Lpm/MW

utilizando sistemas de alta y baja presión respectivamente. El incremento del caudal hasta 23,4 Lpm/MW permitió reducir los tiempos de intervención en un 50%.³⁵

- Grimwood propone un valor de 22,8 Lpm/MW basándose en el seguimiento estadístico de los caudales empleados intervenciones reales.³⁶
- Barnett propone un valor de 23,1 Lpm/MW utilizando una metodología analítica de ingeniería de incendios y una serie de hipótesis relativas a la eficiencia en la aplicación de agua.^{37 38}
- Barnett también propone una expresión basada en la superficie involucrada y la densidad de combustible que ofrece valores similares a los propuestos por Grimwood para locales de mas de 100 m² y Särdisqt para incendios estructurales no residenciales. El valor de referencia es de 5 Lpm/m² de superficie involucrada.³⁸
- Arnalich propone una formulación simplificada para los servicios de extinción basada en la correlación de Kawagoe para ILV y los valores expuestos por Grimwood y Barnett. El caudal se expresa en función del tamaño del hueco de ventilación asumiendo las geometrías habituales de puertas y ventanas. El valor de referencia es 50 Lpm por m² de ventanas o puertas abiertas al recinto del incendio.^{39 40}

En un incendio real en el se utilizan varias lanzas, el caudal de agua requerido es proporcional a la raíz cuadrada del área del incendio. El volumen total de agua de extinción es proporcional al área del incendio. El tiempo necesario para la extinción es también proporcional al cuadrado del área del incendio. Esto significa que cuanto más grande sea un incendio se tardará más tiempo en extinguirlo, si bien un incendio debe ser cuatro veces mayor en superficie para tardar el doble de tiempo en extinguirlo.
S. Särdisqt⁴¹

³⁵ Särdisqt, Stefan; Svensson, Stefan (2001). «Fire tests in a large hall, using manually applied high-and low-pressure water sprays». *Fire Science & Tecnology* (Vol.21 No.1 (1~17)2001).

³⁶ Grimwood, Paul (30 November 2014). «The County/Metro research into fire-fighting suppressive capacity and the impact on building fire damage at 45000 UK building fires, 2009–2012». *Fire Safety Journal* (71 (2015) 238–247).

³⁷ [Barnett, C \(2004\). «Calculation Methods for Water Flows used for Fire-fighting Purposes». *SFPE \(NZ\)* \(Report TP 2004/1\).](#)

³⁸ Särdisqt, Stefan. «Real fire data: Fires in non-residential premises in London 1994-1997». *Lund University*.

³⁹ [Arnalich, Arturo \(2014\). *Manual de Incendios: Parte 3 Incendios de Interior. Ventilación de Incendios*. CEIS Guadalajara y Grupo TRAGSA.](#)

⁴⁰ «Protocolo de Intervención en Incendios de Edificación. CEIS Guadalajara.».

⁴¹ [Särdisqt, Stefan \(2002\). *Water and other extinguishing agents*. Swedish Rescue Services Agency. ISBN 9172532653.](#)

Caudal disponible

El **caudal disponible** es el caudal que puede suministrar una instalación hidráulica de extinción de incendios. Este caudal viene determinado por las características concretas de la instalación hidráulica en ese momento, desde la presión en la bomba de impulsión y las características de ésta, el diámetro de las mangueras, la longitud total de la instalación, la diferencia de altura entre el punto de impulsión y el de proyección, hasta el tipo de lanza y el uso que se haga de ella. Existen varias metodologías de trabajo, como el empleo de tablas de pérdidas de carga, que permiten a una dotación preparar la instalación para disponer aproximadamente de un caudal disponible que cubra las posibles necesidades de caudal táctico.

Caudal operativo

El caudal operativo es el caudal disponible mínimo para determinados incendios tipo, fijando en la práctica el caudal táctico para estas intervenciones.

- Francia establece un caudal de 500 Lpm para incendios confinados.⁴²
- La norma NFPA 1710, de referencia en EEUU y en muchos países sudamericanos, establece las condiciones mínimas de organización para los Servicios de Bomberos profesionales establece una instalación mínima de dos líneas con un caudal mínimo conjunto de 1140 Lpm (300 gpm) y con un mínimo de 380 Lpm (100 gpm) en cualquiera de ellas.⁴³
- El Grupo de Incendios Estructurales (GIE), en base a la dinámica actual de los incendios estructurales y con el fin de obtener unos niveles mínimos de seguridad, recomienda realizar una instalación hidráulica que ofrezca un caudal disponible superior a 400 Lpm a una presión no superior a 7 bar en punta de lanza.⁴⁴

⁴² [«Note D'Information Operationnelle». Ministère de L'Interieur. 22 de octubre de 2009.](#)

⁴³ «NFPA 1710. Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Career Fire Departments». NFPA. 2020.

⁴⁴ [Alonso Herrerías, Manuel \(26 de noviembre de 2021\). «Potencia de incendio y caudales». *WNIE*.](#)

Técnicas de aplicación de agua

Las **técnicas de aplicación de agua** son las diferentes formas en la que los servicios de extinción pueden emplear el agua como agente extintor para cambiar la dinámica del incendio con objeto de controlarlo o extinguirlo.

Existen otras técnicas de aplicación de agua utilizadas por los servicios de extinción en intervenciones de incendio, con objeto de sanear elementos constructivos o refrigerar elementos estructurales, que no interfieren en la dinámica del incendio y que por tanto no son tratadas en este artículo.

Objetivos de las técnicas de aplicación de agua

Las técnicas con las que se aplica el agua pueden perseguir uno de los siguientes objetivos:

- El **control de la propagación**. Se consigue cuando la superficie involucrada en el mismo no aumenta.
- El **control de la capa de gases**. Se consigue cuando esta deja de encontrarse en un estado potencialmente inflamable; ya sea por enfriamiento o por inertización, normalmente evitando la rotura de la estratificación térmica.
- La **atenuación o supresión de un incendio**. Se consigue cuando se lleva la potencia del incendio a un valor próximo a cero, si bien la presencia de combustibles activos podría reactivar el crecimiento del incendio si no continúan las tareas de extinción. Esta situación puede darse cuando la técnica no permite alcanzar todas las superficies involucradas en el incendio, como en el caso del ataque ofensivo exterior.
- La **extinción de un incendio**. Se consigue cuando la potencia del incendio es cero debido a la ausencia total de procesos de combustión, no existiendo posibilidad para un rebrote del mismo. Puede considerarse como el final las tareas de extinción.

Eficacia en la extinción vs eficiencia en el enfriamiento

La eficacia de una determinada aplicación de agua se establece en base a la capacidad de lograr el objetivo que persigue la aplicación concreta, mientras que la eficiencia con respecto a la capacidad de enfriamiento está relacionada con la cantidad de agua necesaria para lograr ese objetivo.

La eficacia y la eficiencia de una aplicación dependen del objetivo que se persiga, de las condiciones del incendio y del escenario, así como del caudal utilizado, de la técnica empleada y de la posición del operador en el mismo.

Seguridad en la elección de la técnica de aplicación

La elección de la forma de aplicación de agua debe realizarse en base los principios generales de actuación en las operaciones de extinción de incendios, lo que supone que la elección de la técnica debe anteponer la seguridad del equipo de extinción a otras cuestiones como puede ser evitar posibles daños derivados del uso del agua.

Técnicas

La aplicación de agua en operaciones de extinción de incendios se realiza mediante instalaciones hidráulicas generalmente compuestas por una fuente de presión (bomba o red presurizada), manguera flexible y una lanza de uso manual que proporciona alcance, diversos niveles de pulverización y que permite modificar la forma del cono proyectado.

El operador en punta de lanza tiene la tarea de decidir la dirección, cantidad y apertura de chorro en la aplicación de agua en el incendio, en función de la presión y caudal de que dispone. Las lanzas más utilizadas en la extinción de incendios son las lanzas de caudal variable que permiten: abrir o cerrar el flujo de agua mediante una válvula de cierre, variar la apertura o ángulo del cono de salida y regular el caudal.

La mayoría de las referencias coinciden en describir las siguientes técnicas de aplicación de agua:

- Ataque directo
- Atenuación de llamas
- Control de gases
- Ataque indirecto
- Rociado de superficies
- Ataque ofensivo exterior

En el desarrollo de una operación de extinción de incendios, suelen emplearse distintas técnicas en función de las condiciones de incendio y la situación de la intervención. La extinción definitiva requiere en la mayoría de los casos de un ataque directo, si bien en determinadas condiciones, un ataque indirecto contundente puede conseguir la supresión del incendio.

La atenuación de llamas y el control de gases son empleados para mejorar las condiciones de seguridad, permitiendo a los equipos de intervención interior progresar hasta poder emplear un ataque directo o indirecto sobre el motor del incendio. En ningún caso sirven para extinguir el incendio y no siempre son necesarias.

Por su parte el rociado de superficies evita la extensión del incendio a otras superficies y la contribución de estas al mismo.

Hay otras formas de utilización del agua en los incendios confinados con fines diferentes a la mera extinción, como por ejemplo: la extracción de humos, el enfriamiento de elementos estructurales o de rescoldos, o el saneado de elementos inestables.

Ataque directo

El **ataque directo** consiste en la aplicación de agua directamente sobre las superficies que están ardiendo con la finalidad de enfriar rápidamente el combustible, detener el proceso de pirólisis y con ello la aportación de gases a la combustión. El objetivo de esta técnica puede ser controlar la propagación, controlar el incendio, atenuarlo o simplemente y de manera mas frecuente la extinción.

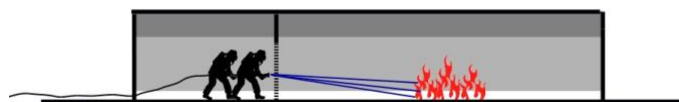


Fig 16. Ataque directo.

La eficiencia de extinción empleando el ataque directo es muy alta ya que con poca agua se reduce mucho el tamaño del incendio. Se emplea habitualmente en la fase final de la operación para conseguir una extinción total. Presenta como limitación la necesidad de posicionarse con seguridad cerca del motor del incendio y con alcance de agua directo sobre los combustibles involucrados. En determinadas ocasiones no es viable hasta haber obtenido cierto control sobre el incendio.

El ataque directo exige un cono de agua adecuado para conseguir penetración y alcance y, en los incendios en los que es necesario evitar los daños por agua, caudales limitados. En general se trata de una aplicación continua, cuya duración dependerá de la superficie involucrada, el caudal utilizado y las condiciones de aplicación. El chorro deberá moverse barriendo la totalidad de las superficies hasta conseguir detener la totalidad de la pirólisis.

En gran medida el ataque exterior ofensivo AEO, se puede considerar una forma de ataque directo aprovechando el rebote y el deslizamiento del agua a lo largo del techo. También involucra las otras técnicas de aplicación de agua, afectando a todos los lados del triángulo del fuego.

Atenuación de llamas

La **atenuación de llamas** es una técnica ofensiva eminentemente interior, que consiste en la aplicación de agua pulverizada sobre las zonas del colchón de gases que se encuentran en llamas con la finalidad de reducir su tamaño y de aplacarlas. El objetivo buscado es la atenuación de la radiación y el control de la inflamación de la capa de gases.

Esta técnica permite reducir el calor irradiado hacia el combustible, disminuyendo su pirólisis y con ello la aportación de gases combustibles al recinto de incendio. Por otro lado también reduce la irradiación recibida por el personal de extinción otorgando una mayor seguridad, permitiendo el avance de los equipos hacia el motor del incendio y alargando el tiempo de intervención aceptable.

Esta técnica requiere una buena pulverización y penetración, con un cono más cerrado en la medida que aumenta la distancia entre el operador de punta de lanza y las llamas. Se utilizarán diferentes modos de aplicación de agua en función del caudal utilizado, el volumen del recinto, el desarrollo del incendio y las condiciones de aplicación. El cono deberá moverse barriendo el frente de llamas.



Fig 17. Instructor y alumno en un ejercicio de extinción de llamas en contenedor de gas.

Control de gases

El **control de gases** es una técnica defensiva cuyo objetivo es refrigerar los gases del incendio y reducir la inflamabilidad del colchón acumulado bajo el techo, para mantener segura la posición de los equipos de intervención en el interior.

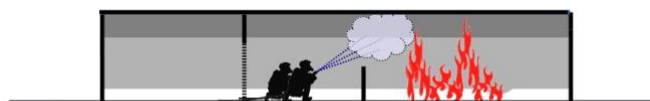


Fig 18. Control de gases.

El agua aplicada para el control de gases, no alcanza el motor del incendio y por tanto no incide sobre la potencia de incendio; no es una técnica que permita extinguir el incendio.

Solo es adecuado cuando existe riesgo identificado de inflamación del colchón de gases. Esto se produce generalmente en la fase de pre-flashover, durante el flashover o incluso en la fase de pleno desarrollo en zonas alejadas.

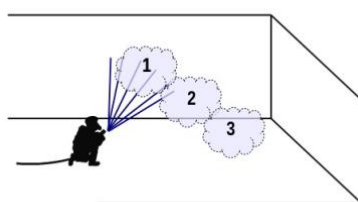


Fig 19. Pulsaciones para el control de gases o la extinción de llamas.

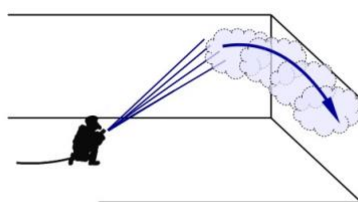


Fig 20. Aplicación de agua mediante barrido para el control de gases o la extinción de llamas.

Pulsaciones para el control de gases o la extinción de llamas.

Para realizar el control de gases, el operador de lanza proyecta agua pulverizada mediante pulsaciones, y por lo tanto en un volumen limitado, sobre el colchón de gases a fin de conseguir su enfriamiento y la dilución de la mezcla de gases, procurando no aumentar su volumen. Es necesario una buena pulverización, con un cono abierto en función del alcance necesario. La duración de las pulsaciones depende del caudal, generalmente son relativamente cortas si bien puede llegar a varios segundos en recintos de gran volumen o cuando se precisa un mayor alcance.

El efecto generado por el control de gases queda limitado a la zona de alcance de la aplicación de agua. Si bien en estancias pequeñas el efecto puede ser global, en recintos de gran volumen el efecto será sólo local.

Esta técnica requiere un buen nivel de entrenamiento, dominio de la técnica y lectura de las condiciones, ya que se debe evitar la desestabilización del plano neutro. Para ello es necesario conseguir un equilibrio entre la contracción de los gases por enfriamiento y la expansión producida por el vapor generado.

Ataque indirecto

El **ataque indirecto** consiste en proyectar agua sobre las superficies calientes para conseguir la saturación con vapor de agua del recinto de incendio con el propósito de enfriar, diluir e introducir un balasto térmico en la mezcla de gases. El objetivo de esta técnica es la atenuación del incendio, pudiendo llegar a la extinción del mismo en ciertas condiciones y escenarios.

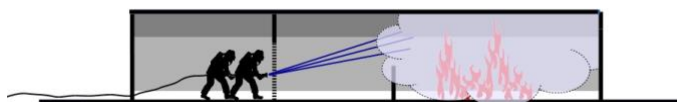


Fig 21. Ataque indirecto.

Para generar las cantidades de vapor de agua necesarias en el ataque indirecto, se utilizará una buena pulverización mediante un cono relativamente abierto, haciendo impactar el chorro contra las superficies calientes del entorno. La duración de la aplicación dependerá del caudal, la técnica aplicada, el volumen del recinto y las condiciones del incendio, y debe mantenerse mientras se produzca evaporación de agua y la escorrentía no sea significativa. Generalmente el operador de lanza se sitúa fuera del recinto del incendio ya sea en el exterior o en el interior; esto aporta una ventaja operativa importante ya que el personal de extinción no se expone directamente a las condiciones del recinto de incendio y tampoco necesita aproximarse hasta tener visual con el motor del incendio.

Las lanzas perforantes de alta presión (*cold cut systems*), las de penetración a baja presión (*piercing nozzles*) o las lanzas rotativas (*high-rise rotary nozzles*) empleadas en incendios dominados por el viento son herramientas que permiten también efectuar un ataque indirecto.

El ataque indirecto se aplica a incendios relativamente desarrollados, con temperaturas en paredes y techo que permitan la evaporación rápida del agua proyectada. Los mejores resultados se obtienen en la medida que la ventilación del recinto está limitada y el vapor de agua permanece en el recinto durante más tiempo.

Aplicado en las condiciones apropiadas y de forma correcta, el impacto sobre la potencia de incendio es importante, provocando la atenuación del mismo en pocos segundos. La extinción es en algunos casos posible, si bien un ataque directo será necesario en la mayoría de las ocasiones.

Rociado de superficies

El **rociado de superficies** persigue refrigerar y cubrir de una película de agua los combustibles cercanos al motor del incendio con la finalidad de retrasar su pirólisis. El objetivo de esta técnica es el control la propagación.

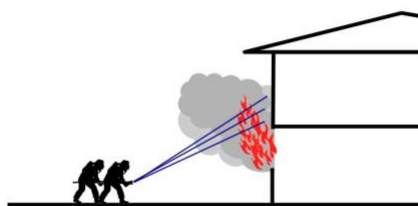


Fig 22. El control de la propagación exterior es un ejemplo de rociado de superficies.

El operador de lanza proyectará una cantidad limitada de agua sobre las superficies combustibles a tratar, evitando los daños por exceso de agua, mediante un cono más o menos abierto en función del alcance necesario. Puede ser necesario repetir la aplicación en la medida que la película de agua desaparece por efecto del calor.

El rociado de superficies se puede realizar en el interior, en proximidad del motor del incendio, y a medida que el equipo de intervención se acerca a este. Es muy común su aplicación desde el exterior para controlar la propagación dentro de un planteamiento táctico defensivo.

Ataque ofensivo exterior

El ataque ofensivo exterior es la aplicación de agua desde el exterior hacia el interior de la estancia incendiada, con el objetivo de reducir la potencia del incendio y mejorar las condiciones de supervivencia en el recinto. Para ello, se proyecta un chorro compacto de agua que entra a través de una abertura en el compartimento del incendio, de forma que golpee el techo y se disgregue en pequeñas gotas que caen sobre el incendio.^{45 46}

La correcta aplicación de esta técnica requiere las siguientes consideraciones:⁴⁷

- Adecuar el caudal a la potencia del incendio, usando preferiblemente instalaciones de mayor diámetro y menor presión frente a otra de menor diámetro y mayor presión.
- Un posicionamiento para la proyección lo más próximo a la fachada hace menos probable que el agua termine como agua de escorrentía en la pared opuesta.
- La proyección debe hacerse mediante un chorro sólido a un punto fijo y sin desplazamiento para evitar bloquear el exutorio y minimizar la ventilación hidráulica hacia el interior del recinto.
- Para alcanzar otras áreas del recinto, el operador debe desplazarse lateralmente entre proyecciones.
- Realizar proyecciones secuenciales, observando el efecto sobre las condiciones del incendio y dejando pausas para evacuar el exceso de vapor. Las proyecciones pueden ser progresivamente más largas.

⁴⁵ Arnalich, Arturo (2015). «Understanding Exterior Attack». *China Fire Bulletin*.

⁴⁶ Boj G^a, Pablo (mayo 2020). «Exterior Water Application: Influence of Nozzle Positioning and Pressure». *Fire Engineering* (en inglés) (Clarion Events) **173** (5).

⁴⁷ [Boj G^a, Pablo \(junio 2016\). «Offensive fire attack – Variables that interfere with the fire gases outlet». *International Firefighting* \(en inglés\) \(50 y 51\).](#)

Control de la escorrentía

El agua aplicada al incendio absorbe energía en la medida que incrementa su temperatura, alcanzando su máxima eficiencia con la evaporación.

El agua que no llega a evaporarse en su trayecto o en el contacto con las superficies muy calientes conservará su estado líquido. Una parte rebotará y continuará su movimiento pendiente abajo. Otra pequeña parte se adhiere a la superficie, pero la mayor parte fluirá hacia abajo por superficies verticales o inclinadas hasta depositarse en planos horizontales.

Este volumen de agua de extinción que se acumula en las partes bajas o que fluye por pendientes y orificios se denomina escorrentía.

Los factores que influyen en el volumen de 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 en 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 de la lanza hasta que impactan con un elemento no es lo suficientemente largo como para que reciban la energía necesaria para evaporarse.
- Impacto con el entorno: cuando una gota de agua impacta con un paramento u objeto 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 incidan posteriormente en esa misma superficie.

La presencia de escorrentía es inevitable. Un exceso de escorrentía puede ser uno de los indicadores de ineficiencia en la aplicación de agua al incendio y una de las principales causas de daño por inundación durante la intervención de los servicios de extinción.

Tendidos de extinción

Los **tendidos** o **líneas** son las instalaciones de mangueras que se realizan en las tareas de extinción de incendios. Las instalaciones deben calcularse atendiendo al escenario y a las necesidades de caudal que requiera el incendio, ya que la longitud de la instalación, altura que deba ganarse y otros factores condicionarán las pérdidas de carga que tendrá la instalación y con ello la presión necesaria en la salida de la bomba.

Se define como **instalación tipo** la establecida en la doctrina operativa de un Servicio por defecto para un siniestro tipo.

Las instalaciones pueden estar compuestas por uno o varios **tramos**, que son el conjunto de mangueras conectados entre sí y que unen dos puntos.

Los **puntos** son lugares característicos de la instalación y que implican una conexión a un elemento o cambio en la instalación. Este cambio puede ser un cambio en el entorno donde se desarrolla la instalación, en la función del tramo y/o donde se conecta un elemento en la línea que cambia sus características.

Línea de ataque

Puede estar compuesta por los siguientes tramos:

Tramo de acometida

Tendido de mangueras fundamentalmente de carácter horizontal, destinado a cubrir el espacio entre el vehículo de impulsión y el acceso de la finca, conectando con el tramo de transporte.

El punto donde se conecta el tramo de acometida y el tramo de transporte se denomina **punto de acometida** y, dependiendo del siniestro tipo para el que esté diseñado, puede contemplar un cambio en la sección de la línea mediante una bifurcación o trifurcación.

Tramo de transporte

Tramo de mangueras destinado a alimentar los tramos de ataque y de seguridad (SOS). En un edificio con varias plantas lo llamaremos “**inclinado**” cuando las mangueras se despliegan siguiendo el recorrido transitable. Cuando cuelga verticalmente por el hueco de escalera, patio o fachada lo denominaremos tramo de tendido “**vertical**”. El punto donde finaliza el tramo de transporte y se prepara el tramo de ataque se denomina **punto base**. Debe ser un lugar seguro y previsiblemente libre de humos durante la intervención. Debe disponer de un mínimo de espacio que permita preparar el tramo de ataque y el de seguridad, si procede, y que suele servir de punto de reunión, para la realización de relevos y acopio de material.

El tramo de transporte conecta el tramo de acometida con el tramo de ataque y/o de seguridad en el punto base.

Tramo de ataque

Tramo de mangueras destinado a la progresión y a la aplicación de agua. Este tramo debe permitir el movimiento y la proyección de agua, por lo que debe contar con un reservorio de mangueras presurizadas que permita su despliegue. Para ello se suelen emplear plegados en paquete circular (Cleveland) o similar.

Tramo de seguridad (SOS)

Línea de mangueras destinada a facilitar una respuesta inmediata ante situaciones de emergencia que comprometan la seguridad, y que se instala de forma adicional al tramo de ataque, normalmente desde una bifurcación conectada al tramo de transporte o incluso desde una bomba independiente.

Idealmente debe ser de las mismas características que el tramo de ataque (diámetro y longitud) y mantener similares características hidráulicas (caudal y presión) de forma que se aproximen ambas al caudal táctico.

Atendiendo a su función, al riesgo existente y al espacio disponible, puede encontrarse conectado y presurizado listo para su uso, o simplemente disponible en el punto base.

Se contemplan los siguientes usos para este tramo

- Línea de ataque adicional.
- **Sustitución del tramo de ataque** por rotura o fallo de esta.
- **Prolongación del tramo de ataque** si fuese necesario, debiendo tener en cuenta la seguridad en cuanto a la distancia de penetración del Equipo de ataque.

En todo caso deberá tenerse en cuenta los cambios hidráulicos que pueden implicar el uso del tramo SOS en el conjunto de la instalación y los ajustes que pudieran ser necesarios para alcanzar los caudales requeridos.

Las líneas de ataque pueden ser:

- **Interiores.** Cuando se despliegan para penetrar en el interior de una edificación.
- **Exteriores.** Cuando se despliegan para proyectar agua desde el exterior. En este caso se prescinde del tramo de transporte.

Línea de vehículo de altura

Puede estar compuesta por los siguientes tramos:

Tramo de acometida

Tramo de mangueras fundamentalmente de carácter horizontal, destinado a cubrir el espacio entre el vehículo de impulsión y el vehículo autoescala, conectando con el tramo de transporte.

Tramo de transporte

Tramo de mangueras destinado a alimentar el tramo de cesta y que normalmente se conecta con la columna seca del último tramo extensible del vehículo. En cualquier caso, este tramo debe permitir el movimiento y despliegue de los elementos móviles de la escala de forma simultánea a la proyección de agua, para lo que se prevé un reservorio de mangueras en la base del vehículo.

Tramo de cesta

Tramo de mangueras destinado a la proyección de agua desde la cesta del vehículo de forma alternativa al monitor. Debido a las reducidas dimensiones, suelen ser tramos de mangueras de 1,5 a 2 metros.

El punto donde se conecta el tramo de acometida y el tramo de transporte se denomina **punto de acometida a escala** y puede contemplar un cambio en la sección de la línea mediante una bifurcación o trifurcación que permita además la descarga de la columna de agua.

Línea de acción inmediata (LAI)

Tendido destinado a realizar un control de la propagación, ataque ofensivo exterior u otra acción inmediata, normalmente compuesto de un único tramo de longitud reducida (una o dos mangueras) y que puede realizar un único bombero de forma rápida.

Línea de abastecimiento

Tendido de mangueras destinado a alimentar el vehículo de impulsión desde un punto de abastecimiento, que puede ser un hidrante, otro vehículo, etc.

Miembros del GIE

Agustín de la Herrán, Comunidad de Madrid.	Jorge Cerezo, Ayto. Burgos.
Agustín Moreno, Ayto. Bilbao.	José Carlos Carrón, Diputación de Cáceres
Alejandro San Vicente, DF Gipuzkoa.	José Leyva, Comunidad de Madrid.
Alfonso Pérez, Consorcio Cuenca.	José Martín Beobide, D.F. Gipuzkoa.
Antonio Fiz, Ayto. Salamanca.	José Miguel Basset, Consorcio Valencia.
Arturo Arnalich, CEIS Guadalajara.	Juan Carlos Campaña, Ayto. Madrid.
Carlos Carvajal, Ayto Granada.	Juan Carlos Muñoz, CEIS Guadalajara.
Carlos López, Consorcio La Rioja.	Juan Soler, Ayto Valencia.
Carmelo Alonso, Ayto. Donostia.	Manuel Alonso, Consorcio Valencia.
Daniel Garcés, Generalitat Catalunya.	Manuel Izquierdo, Consorcio Murcia
David Ruiz de las Heras, Navarra.	Mario Núñez, Ayto Albacete.
David Solana, Consorcio La Rioja.	Miguel Ángel Laguna, Consorcio de Toledo.
Eduardo Loma-Osorio, Ayto. Valencia.	Pablo Boj, Ayto. Málaga.
Enrique Gamero, Ayto Granada.	Pedro Fuentes, Generalitat Catalunya.
Francisco J. Rodríguez, Ayto. A Coruña.	Rafael Alonso, Ayto. Sevilla.
Heliodoro Fernández, Comunidad de Madrid.	Ramón Morín, Consorcio Tenerife.
Javier Elorza, DF Bizkaia.	Roberto Campos, Ayto. Zaragoza.
Joan Carles Guarne, Ayto. Barcelona.	Rodrigo Zamora, Ayto. Sevilla.
Joaquín Pérez, Consorcio Toledo.	

Más información sobre el GIE en

<http://www.grupoincendiosestructurales.com/>