

Trabajo Fin de Grado

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

Autor: Manuel Alonso Herrerías

Tutor: Ramón Pons Vicente

Escuela Politécnica Superior de Alcoi

Grado en Ingeniería Química

Curso 2014-2015



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

**Departamento de Ingeniería
Hidráulica y Medio Ambiente**

RESUMEN

En los cuerpos de bomberos existe actualmente una polémica real sobre la valoración del caudal de agua necesario para la extinción de incendios de interior. La definición de dicho caudal así como el modo de trabajo que permita obtenerlo, es materia de debate. Existe un consenso en algunos aspectos fundamentales: debe ser un caudal manejable y suficiente para realizar una extinción segura y eficaz. A partir de este punto de encuentro común, la polémica está servida. Existe un caudal máximo manejable por una pareja de bomberos. Existe un caudal mínimo necesario para extinguir un incendio concreto. Existen dos posibles modos de operar una bomba centrífuga de extinción: alta presión y baja presión. Existen diferentes tipos de mangueras para transportar el agente extintor, en este caso el agua, desde la autobomba hasta el incendio. Definir ese caudal ideal que permita extinguir un incendio de interior con eficacia y seguridad es la clave para resolver el debate.

Este estudio, a través de una revisión de líneas de investigación y trabajos realizados por diferentes organismos, asigna un valor numérico a ese caudal ideal. Por otra parte, para la redacción de este trabajo, se han realizado pruebas reales específicas en las que se ha estudiado hasta qué punto, con los materiales y equipos disponibles actualmente, es posible aproximarse a lo que se ha dado en llamar caudal ideal.

De los resultados de este estudio puede concluirse que, si se quiere disponer o al menos aproximarnos a ese caudal ideal, manejable, que ofrezca la máxima eficacia y seguridad en caso de producirse una situación de emergencia grave, es necesario utilizar líneas de ataque y seguridad de al menos 38 mm, operando la autobomba en modo baja presión.

Palabras clave: Alta presión, baja presión, caudal, dinámica de incendios, extinción, incendio de interior, instalación, flashover

ABSTRACT

For firefighters the estimation about the water flow rate necessary to extinguish enclosure fires is nowadays controversial. This flow rate definition, as well as the way to obtain it, is the subject of ongoing discussions. There is consensus on some essential aspects: the flow rate has to be manageable and enough to make a secure and effective fire suppression. From this point of agreement, the controversy starts. There is a maximum manageable flow rate for a pair of firefighters. There is a minimum flow rate to extinguish a given fire. There are two possible ways to operate a centrifugal pump for fire protection: high pressure or low pressure. There are different types of hoses to transport the extinguishing agent, water in this case, from the fire rescue trucks to the fire. Defining that ideal flow rate which allows extinguishing an enclosure fire effectively and securely is the key to solving the discussion.

This study, through the revision of different lines of research and studies made by different organizations, gives that ideal flow rate a numeric value. Moreover, to write this dissertation, specific real tests have been made in order to study to what extent it is possible to approximate the so called ideal flow rate with the available materials and equipment.

From the results of this study it could be concluded that, if a manageable ideal flow rate that allows maximum effectivity and security in case of a serious emergency situation wants to be achieved, or at least approximated, it is necessary to use attack and security hose lines of at least 38 mm, operating the fire rescue trucks at a low pressure mode.

keywords: enclosure fire, flashover, fire suppression, fire dynamics, flow rate, high pressure, lay flat hose line, low pressure

*“Un fuego pequeño, se apaga con los pies;
si se deja crecer, ni con ríos podrá extinguirse”*

Enrique VI, parte 3ª, acto 4, escena 8
William Shakespeare

ÍNDICE

1	JUSTIFICACIÓN.....	1
2	INTRODUCCIÓN.....	4
2.1	DESARROLLO DE INCENDIOS EN RECINTOS CERRADOS.....	4
2.2	POSIBLES SITUACIONES DE RIESGO.....	9
2.2.1	<i>Backdraft</i>	9
2.2.2	Explosiones de gases de incendio	11
2.3	CONSIDERACIONES SOBRE LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS.....	12
2.3.1	Generalidades.....	12
2.3.2	Temperatura y presión en un recinto incendiado.....	13
2.3.3	El agua como agente extintor.....	14
2.3.4	Métodos de extinción.....	14
2.3.5	Técnica de ataque ofensivo	19
2.4	CAUDAL ÓPTIMO.....	20
2.4.1	Caudal máximo aceptable	21
2.4.2	Caudal para extinción	26
2.5	FACTORES LIMITANTES	38
2.5.1	Prestaciones de la bomba	38
2.5.2	Presión de trabajo de las mangueras	39
2.5.3	Instalación con línea de ataque y línea de seguridad	39
2.5.4	Definición de caudales.....	40
2.6	PROPUESTA DE POSIBLES INSTALACIONES EN ALTA Y BAJA PRESIÓN.....	40
3	MATERIAL.....	41
3.1	BOMBAS.....	41
3.1.1	Bomba centrífuga Rosenbauer NH 30.....	42
3.1.2	Bomba centrífuga GODIVA GMA 2700.....	43
3.2	MANGUERAS.....	47
3.2.1	Mangueras de cuatro capas	47
3.2.2	Mangueras de tres capas.....	49
3.3	LANZAS	50
3.3.1	Lanzas de caudal regulable.....	50
3.3.2	Lanza automática.....	51
3.4	BIFUCACIONES Y REDUCCIONES.....	52
3.5	PESATOMAS	53

3.6	ELEMENTOS DE TRANSPORTE	55
3.6.1	Bolsa portamangueras tipo trineo.....	55
3.6.2	Cesta de transporte	56
3.6.3	Arnés de transporte para línea de ataque o seguridad	56
3.6.4	Bolsa de transporte para línea de ataque o seguridad	57
4	MÉTODO.....	59
4.1	PRUEBA 1.....	59
4.2	PRUEBA 2.....	60
4.3	PRUEBA 3.....	61
4.4	PRUEBA 4.....	61
4.5	PRUEBA 5.....	61
4.6	PRUEBA 6.....	62
4.7	PRUEBA 7.....	63
4.8	PRUEBA 8.....	64
5	RESULTADOS	65
5.1	RESULTADOS PRUEBA 1	65
5.2	RESULTADOS PRUEBA 2	66
5.3	RESULTADOS PRUEBA 3	67
5.4	RESULTADOS PRUEBA 4	68
5.5	RESULTADOS PRUEBA 5	69
5.6	RESULTADOS PRUEBA 6	70
5.7	RESULTADOS PRUEBA 7	71
5.8	RESULTADOS PRUEBA 8	72
6	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	73
6.1	INSTALACIÓN 1 VS. INSTALACIÓN 2	73
6.2	INSTALACIÓN 1 VS. INSTALACIÓN 3	75
6.3	INSTALACIÓN 1 VS INSTALACIÓN 4	77
6.4	CONCLUSIONES	78
7	SUMARIO.....	81

“Señor caballero, los caballeros andantes han de acometer las aventuras que prometen esperanzas de salir bien dellas, y no de aquellas que de todo en todo la quitan; porque la valentía que se entra en la jurisdicción de la temeridad, más tiene de locura que de fortaleza.”

El Ingenioso Hidalgo Don Quijote de la Mancha, segunda parte, cap. XXVII, Miguel de Cervantes Saavedra

1 JUSTIFICACIÓN

Alimentarse, protegerse de las inclemencias del tiempo y la seguridad. Esas fueron las necesidades básicas que el hombre ha intentado cubrir desde su origen como especie. La satisfacción de estas necesidades ha sido la motivación que le ha impulsado a aplicar su esfuerzo e ingenio para conseguir un estado de bienestar satisfactorio. La necesidad de sentirse seguro es un hecho que se observa en la sociedad desde épocas antiguas. Muchas eran las amenazas que pesaban sobre la humanidad: hambrunas, epidemias, guerras.

En la medida en la que las sociedades se han ido desarrollando, han intentado eliminar, o al menos atenuar todas esas amenazas. El establecimiento de las sociedades en núcleos más o menos estables condujo al desarrollo de urbes y supuso la aparición de nuevos riesgos, entre otros, los incendios de viviendas. Para hacer frente a estas nuevas amenazas algunas sociedades crearon lo que fueron los precursores de los actuales cuerpos de bomberos.

Así, después del devastador incendio del año 6 d.c. en Roma, Augusto decidió crear el cuerpo de *Vigiles* que hoy lo podríamos considerar como el primer cuerpo de bomberos profesionales de la Historia.

Desde ese momento hasta la actualidad, la cantidad de tareas encomendadas a los cuerpos de bomberos no ha hecho más que crecer. Extinción de incendios, salvamentos acuáticos o en altura, accidentes de tráfico, rescates de todo tipo, siniestros con productos químicos, biológicos o radiológicos, asesoramientos técnicos, inspecciones de instalaciones, no son más que una muestra de los muchos tipos de servicios que prestan a la sociedad los cuerpos de bomberos.

Sin embargo, a pesar de la variedad en las intervenciones, existe un tipo de actuación a la que la sociedad siempre los vincula: los incendios de viviendas, o de manera más general, los incendios de interiores.

La ley 7/1985 Reguladora de las Bases del Régimen Local, en su artículo 25 establece como competencia propia de los municipios la prestación del servicio de prevención y extinción de incendios. El artículo 26 matiza la obligación de prestar dicho servicio los municipios con una población superior a 20.000 habitantes. La ley también contempla la posibilidad de prestar este servicio de manera consorciada.

Si a lo anterior añadimos que no existe ninguna ley que regule a nivel nacional la organización de los cuerpos de bomberos, podemos encontrarnos con tantos modelos organizativos como cuerpos de bomberos existen. El hecho de que la competencia sea municipal y no existiendo ninguna regulación común a todos los cuerpos de bomberos a nivel nacional, implica la inexistencia de un organismo que, por ejemplo, regule o redacte procedimientos de intervención comunes.

Esto se traduce en que ante un mismo problema, por ejemplo un incendio de vivienda, la respuesta en la intervención puede ser diferente dependiendo del cuerpo de bomberos que preste el servicio. No existiendo ley, norma u organismos que regule o redacte métodos de intervención comunes, nos encontramos en una situación en la que “todo vale” siempre y cuando se cumplan unas premisas mínimas: se debe trabajar con seguridad y eficacia.

Seguridad y eficacia, esas son las dos palabras claves cuando se habla de extinguir un incendio. Si se habla de seguridad, se deben considerar las diferentes situaciones de riesgo que se pueden dar durante la extinción de incendios de interior. Además del calor, la falta de visibilidad, la presencia de atmósferas tóxicas y la falta de oxígeno, se debe tener en cuenta la posible aparición de fenómenos súbitos como son el *flashover*, el *backdraft* o las explosiones de gases de incendio. Estos fenómenos, que estudiaremos en el siguiente punto, suponen una amenaza grave y real para los intervinientes. Para hacer frente a estas situaciones, se requiere una buena formación que permita, en la medida de lo posible, adelantarse a los acontecimientos a través de la interpretación de los signos previos. Esta formación debe incluir técnicas sobre lo que ha venido llamándose buceo en humos así como métodos de extinción. Pero a pesar de todo, estas situaciones de riesgo pueden presentarse de manera súbita, y en ese caso, la única herramienta de la que dispone el bombero para hacer frente a esas amenazas es el agua y los medios utilizados para disponer de ella.

Pero no basta con disponer de agua. Se requiere agua en cierta cantidad, es decir, caudal. Además se necesita calidad. Se debe disponer de agua con cierto alcance y con un tamaño de gota que permita la evaporación eficaz de la misma.

¿Y qué se entiende por eficacia? Este término está relacionado con el tiempo necesario para realizar la extinción. Generalmente, cuanto menor sea el tiempo de control o extinción, menores serán los daños causados por el fuego, menor será el riesgo de colapso estructural, menor será el esfuerzo físico y mayor la probabilidad de realizar un salvamento con éxito.

¿Cómo se aumenta la eficacia? Como en el caso de la seguridad, con una buena formación y con agua de suficiente calidad y cantidad.

Por tanto, la seguridad y la eficacia, aunque depende de diferentes cuestiones, están íntimamente ligadas al caudal y a la calidad del mismo.

¿Y cómo consiguen los equipos de intervención agua en cantidad y calidad suficiente para atacar un incendio con seguridad y eficacia? Pues normalmente, mediante el empleo de bombas centrífugas acopladas en sus vehículos así como el uso de todos los complementos para su transporte desde el vehículo, hasta el lugar del incendio: mangueras de diferentes diámetros, reducciones, bifurcaciones, lanzas, etc. El planteamiento del problema, es simple. Todos los cuerpos de bomberos quieren hacer frente a los incendios de interiores con la máxima seguridad y eficacia. Sin embargo diferentes cuerpos de bomberos emplean métodos distintos para transportar el agua desde el punto de abastecimiento (normalmente un vehículo autobomba) hasta el lugar del incendio.

Los diferentes cuerpos de bomberos tiene la posibilidad de emplear sus bombas en dos modos de funcionamiento, alta presión (AP, caudales bajos y presiones altas) y baja presión (BP, caudales altos y presiones bajas). Además, para el transporte se pueden utilizar mangueras de diferentes diámetros. Las de diámetro menor ofrecen presiones nominales altas y pérdidas de carga elevadas. Las de diámetro mayor ofrecen menores pérdidas de carga y una presión nominal también menor.

Por lo tanto la cuestión es ¿la cantidad y calidad del agua suministrada hasta el lugar del incendio es la misma independientemente del método empleado para su transporte? Con este trabajo pretendemos demostrar que la cantidad y calidad del agua disponible para la extinción de incendios es diferente dependiendo del método de transporte utilizado. Se quiere apoyar este hecho en datos y pruebas y poner esta información al alcance de cualquier cuerpo de bomberos con el fin de aumentar la seguridad y la eficacia de los intervinientes en este tipo de emergencia.

Este hecho justifica suficientemente el esfuerzo realizado para la elaboración de este trabajo. Si además el conocimiento de estos datos marcara una tendencia unificadora en cuanto a métodos de trabajo de los diferentes cuerpos de bomberos, la justificación sería doble y podría servir como documento de partida para posteriores estudios que mejoren lo concluido en este trabajo.

“Ni el infierno ni el fuego y el dolor, son eternos.”
León Felipe

2 INTRODUCCIÓN

2.1 DESARROLLO DE INCENDIOS EN RECINTOS CERRADOS

Cuatro son los elementos que han de coincidir en el espacio y en el tiempo para que pueda desarrollarse un incendio: combustible, comburente, energía de activación y reacción en cadena.

Inicialmente el combustible, en presencia del comburente, necesita una energía de activación que le haga alcanzar unas condiciones en las que pueda arder. Para que la reacción continúe, se necesita energía suficiente para provocar la reacción en cadena. Esta energía se obtiene de la propia combustión. Para que un incendio se desarrolle y llegue a ser algo más que un simple conato es necesario que el calor generado en el punto de inicio, se transmita hacia otro material combustible próximo de forma que haga aumentar su temperatura hasta que esté en disposición de arder. De esta manera, siempre que haya comburente suficiente, en nuestro caso el oxígeno del aire, el incendio progresará hasta el agotamiento del combustible.

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

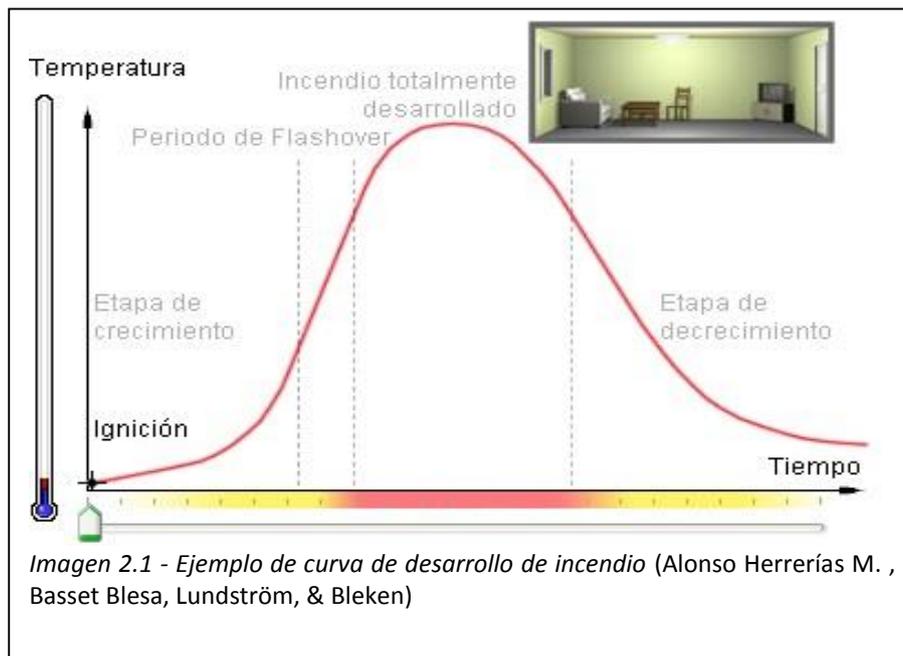
El desarrollo de incendios en recintos cerrados es mucho más complejo que los declarados en espacios abiertos. Consideraremos como recinto cerrado a una habitación o espacio cerrado en el interior de un edificio. Se define como incendio de interior al incendio que transcurre en un espacio como el definido. El crecimiento y desarrollo de un incendio de interior está habitualmente controlado por la disponibilidad de combustible y de comburente, normalmente el oxígeno del aire.

Si la cantidad de combustible disponible para ser quemado es limitada, se dice que el incendio está **controlado por el combustible**. En este caso el volumen de comburente es suficiente y es la cantidad de combustible disponible lo que limita la velocidad de desarrollo del incendio.

Si por el contrario, el aporte de oxígeno es limitado, se dice que el incendio está **controlado por el comburente** o **controlado por ventilación**. En este caso el combustible es suficiente pero es el oxígeno el que limita la capacidad de desarrollo del incendio.

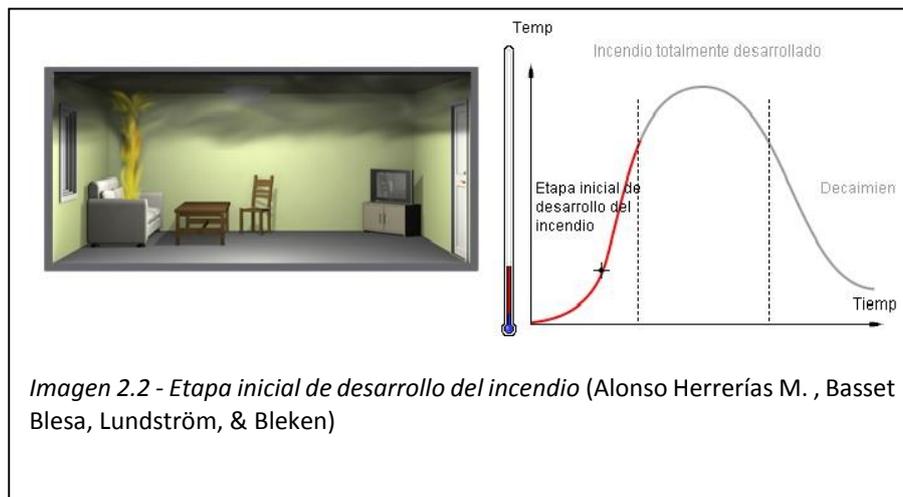
De manera general, el desarrollo de un incendio en un recinto cerrado puede describirse en 5 etapas:

- Ignición
- Etapa inicial o de crecimiento
- Etapa de desarrollo del incendio
- *Flashover*
- Incendio totalmente desarrollado
- Decaimiento



Ignición: Para que se inicie la combustión, es necesario que exista la cantidad adecuada de combustible, una fuente de calor y aire. Cuando estos tres elementos concurren en las proporciones adecuadas, puede producirse un incendio. La probabilidad de que se produzca la ignición en una habitación o un recinto depende de una serie de parámetros, por ejemplo: características de inflamabilidad de los combustibles que están próximos a fuentes de calor, separación o disposición de los combustibles y a las propias fuentes de calor.

Etapa inicial o de crecimiento: Después de producirse la ignición, el incendio crece y se extiende sobre el objeto incendiado, y puede también afectar a otros objetos. En esta fase de la evolución del incendio la concentración de oxígeno y la temperatura del recinto no son muy diferentes a las condiciones del exterior. El comportamiento del incendio es en muchos aspectos similar al que tendría al aire libre. Aparte de desprender energía, se producen una serie de gases tóxicos y no tóxicos. Los gases calientes de la llama están rodeados por gases más fríos, y en consecuencia, la parte más caliente y menos densa de la masa ascenderá por flotabilidad. En la medida en que los gases calientes ascienden, entrará aire frío de forma lateral al cojín de gases y llamas. Esta mezcla de productos de la combustión y aire chocará con el techo del recinto incendiado y formará una capa de gases calientes.



Flashover: Cuando se produce el *flashover*, las condiciones del incendio experimentan un aumento drástico debido a su confinamiento. El *flashover* marca la transición de un incendio desde la fase de crecimiento a la etapa de desarrollo total, en la que todo el combustible del recinto arde y la temperatura aumenta. Puede ocurrir que, debido a la limitación en el aporte de aire en el recinto, no todos los gases inflamables se quemen. Cuando se da la condición de incendio controlado por ventilación, la producción de CO y humo alcanzan sus valores más altos. También la concentración de oxígeno en el cojín de gases de incendio se aproxima a cero. El *flashover* marca una transición en la que un incendio que se está desarrollando inicialmente en base a la disponibilidad de los materiales combustibles existentes (controlado por combustible), pasa a estar posteriormente condicionado por la cantidad de aire que es capaz de obtener (controlado por ventilación) en función de las condiciones de ventilación que definen el recinto y la propia geometría del edificio.

Una posible definición de *Flashover* es la establecida por la norma ISO (International Standrad organisation):

“Transición rápida a un estado donde todas las superficies de los materiales combustibles contenidos en un compartimento se ven involucrados en un incendio”.

Indicadores de *flashover*

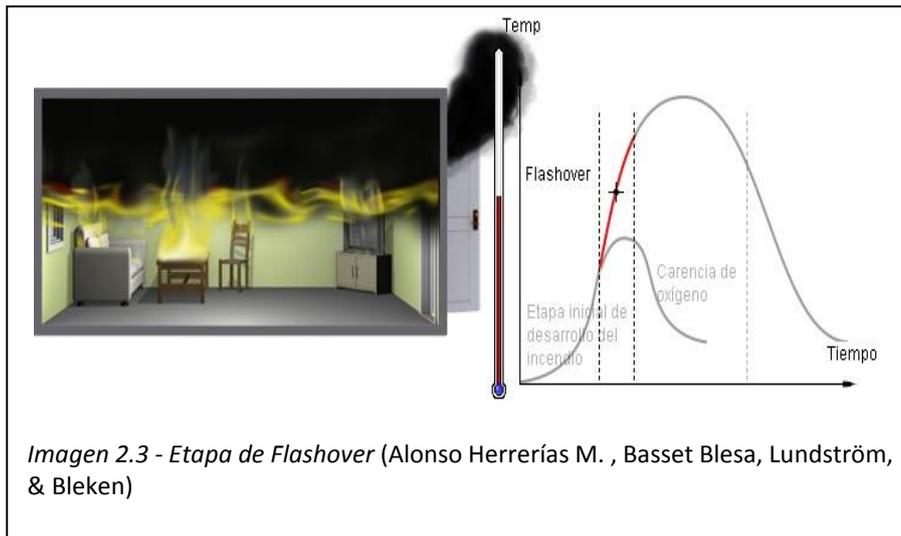
Los siguientes factores pueden actuar como indicadores para alertar al personal que se encuentre **en el interior de un edificio**, que se puede producir un *flashover* de forma inminente:

- Cambios rápidos en el color de los gases de la combustión, de negro denso a amarillo o gris amarillento.
- Gases de la combustión con los siguientes colores: negros y densos, amarillos; gases de incendio fríos y blancos (de espumas de caucho incandescentes).
- El plano neutro desciende rápidamente. Aumento de la pirólisis en el recinto incendiado.
- Aumento de la temperatura en la capa superior de los gases, y en el recinto como tal.
- Se ven llamas en la zona más alta y caliente de la capa de gases.
- Se pueden observar movimientos ondulatorios en la capa superior de gases.

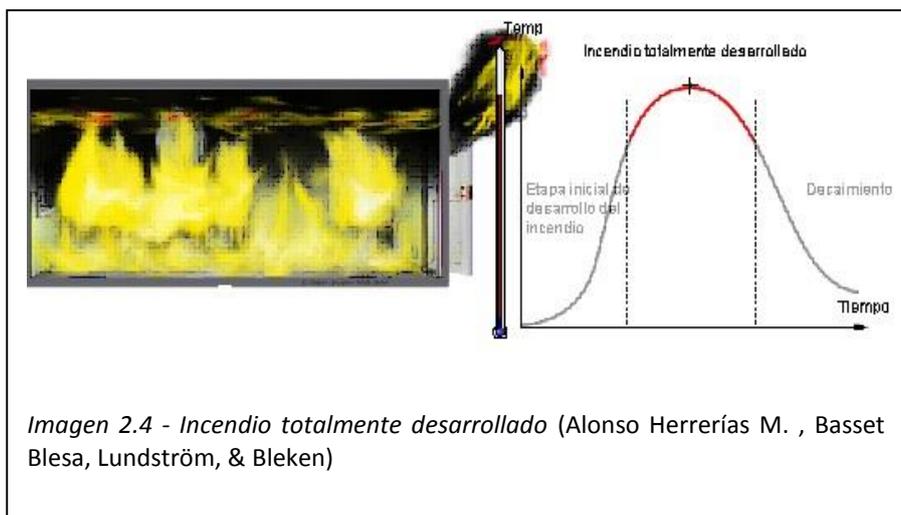
Los siguientes factores pueden actuar como indicadores para alertar al personal que se encuentre **en el exterior de un edificio**, que se puede producir un *flashover* en cualquier momento:

- El fuego es muy intenso y se propaga constantemente.
- Cambios rápidos de color de los gases de combustión de negro denso a amarillo o gris amarillento.
- Gases de combustión con los siguientes colores: negros y densos, amarillos; gases de incendio fríos y blancos (de espumas de caucho incandescentes).
- El plano neutro desciende rápidamente. Aumento de la pirólisis en el recinto incendiado.
- Se ven llamas en la zona más alta y caliente de la capa de gases.
- Intensificación de las turbulencias entre los gases de combustión y el aire en los huecos.
- Aumento de la velocidad de entrada de aire a través de los huecos.

Existen varios indicadores que muestran la inminencia de un *flashover*. Cuando se intenta evaluar si hay riesgo de *flashover* no es suficiente con observar uno solo de estos indicadores, como puede ser un cambio repentino en el color de los gases de combustión, sino que hay que observar el mayor número de indicadores posible. En el cuadro que se muestra a continuación se mencionan algunos de los posibles indicadores que informan sobre la posibilidad de que se produzca un *flashover*.



Incendio totalmente desarrollado: Esta fase viene determinada por la presencia de llamas en todo el recinto, y posiblemente llamas que salen al exterior por ventanas y puertas. Todos los materiales susceptibles de arder, participan en el proceso de combustión alcanzando en esta fase su máximo potencial, lo cual se traduce en un fuerte aumento de la temperatura. Dependiendo de la posibilidad de aporte de aire, está fase estará o no controlada por la ventilación. El incendio totalmente desarrollado puede seguir durante un tiempo, mientras haya suficiente combustible y oxígeno disponible para la combustión.



Decaimiento: Según se va consumiendo el combustible, la tasa de desprendimiento de energía disminuye y por lo tanto la temperatura media del recinto comienza a disminuir. El incendio decrece. En esta etapa el incendio puede pasar de estar controlado por ventilación a estar nuevamente controlado por combustible.

2.2 POSIBLES SITUACIONES DE RIESGO

La intervención en incendios de interiores es una labor que implica riesgos. Debe tenerse en cuenta que estos trabajos se desarrollan en ambientes hostiles en los que lo normal es una falta de visibilidad a veces absoluta, lo que implica un riesgo de desorientación.

A lo anterior debemos añadir las elevadas temperaturas que pueden alcanzarse, sometiendo a los bomberos a un fuerte estrés físico. Estas temperaturas obligan a la utilización de pesados equipos de protección personal.

Además, las labores de extinción en un incendio de interiores se desarrollan en atmósferas con falta de oxígeno y presencia de múltiples gases tóxicos. Para hacer frente a este riesgo se utilizan equipos de protección respiratoria, también conocidos como ERA (Equipo de Respiración Autónoma). Estos equipos tienen una autonomía limitada que depende de su capacidad, la presión de llenado y del esfuerzo físico realizado.

La lista de peligros no acaba aquí. Existe además riesgo de colapso de estructuras, presencia de productos peligrosos en los recintos incendiados y otros que quedarían fuera del alcance de este trabajo.

No obstante, al peligro de *flashover* nombrado en el punto anterior, deberíamos añadir dos situaciones merecen un tratamiento especial:

- Las explosiones de gases de incendio
- El *Backdraft*

Ambos fenómenos parten de una misma realidad. Los gases de combustión y de pirolisis que se producen durante el incendio no están por lo general, totalmente oxidados. Ello implica que bajo ciertas condiciones, pueden todavía inflamarse provocando situaciones de riesgo y, en algunos casos, graves accidentes.

2.2.1 Backdraft

En el caso de un incendio controlado por ventilación, puede tener lugar un *backdraft*. En algunos casos un *backdraft* puede ser muy violento debido a una velocidad de combustión muy alta de los gases del incendio en un recinto, tan rápido que no hay tiempo para reaccionar. Por eso es muy importante saber identificar los indicadores que determinan la posibilidad de que se produzca un *backdraft*.

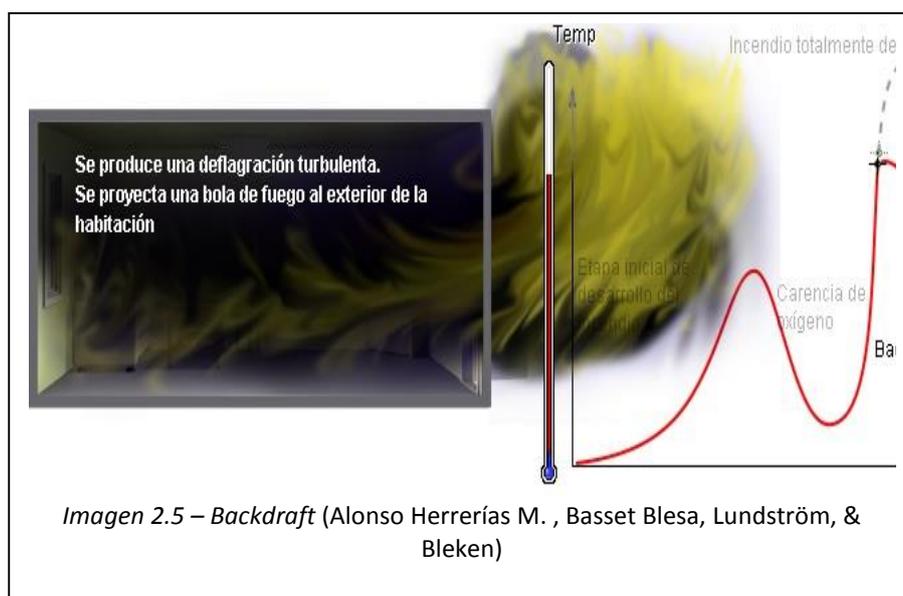
Un *backdraft* se puede describir de la siguiente manera: En un incendio que ha estado controlado por ventilación (comburente escaso) pero que, por ejemplo, no haya podido

alcanzar el estado de desarrollado total debido a que los huecos de ventilación son pequeños, da lugar a la acumulación de gases en el recinto incendiado. Tras la apertura de una puerta, ventana, etc., se producirá una succión de aire hacia el interior del recinto. Este aire provocará una premezcla con los gases del incendio en algunos lugares del recinto. La ubicación de la fuente de ignición es crucial en este caso, ya que determina qué cantidad de gases se mezclarán con el aire antes de que se produzca la ignición. Al producirse la ignición se generarán llamas de difusión y premezcladas. En la zona de premezcla la llama se extenderá rápidamente. Detrás de esta llama los productos calientes de la pirólisis se verán empujados hacia abajo y mezclados con la capa que contiene más aire, produciendo una llama de difusión. La rápida combustión y expansión del incendio en el recinto, provocará que los gases que no se han incendiado sean expulsados al exterior donde posteriormente se encenderán, produciéndose una *bola de fuego*. Un *backdraft* puede llevar a un incendio a su etapa de desarrollo total, pero en ocasiones el recinto tras la expulsión de la mayor parte de los gases de combustión queda vacío de éstos permaneciendo sólo pequeños focos en su interior.

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

En casos extremos donde existe una muy buena premezcla de aire y gases de incendio se puede producir lo que denominamos una explosión de gases de incendio, acompañado de un fuerte incremento de la presión. Afortunadamente es un fenómeno muy poco común.

Ante un incendio la evaluación exhaustiva de los riesgos resulta de gran importancia. A continuación se enumeran algunos de los posibles indicadores ante la aparición de un *backdraft*.



Indicadores de *Backdraft*

Los siguientes factores pueden alertar al personal que se encuentra en el exterior del edificio, sobre la posibilidad de que se produzca un *backdraft*:

- Incendios en espacios confinados donde la ventilación es mínima.
- Ventanas con aspecto aceitoso y negro, que indican productos condensados de la pirólisis en la superficie fría de la ventana.
- Puertas y ventanas calientes, que indican que el incendio lleva activo un tiempo.
- Gases pulsantes por pequeñas aberturas de la habitación incendiada. Síntoma claro de una ventilación deficiente.
- Sonidos silbantes en las aberturas.

2.2.2 Explosiones de gases de incendio

Además de los dos fenómenos diferentes vistos hasta el momento, *flashover* y *backdraft*, existen situaciones donde se pueden producir explosiones de gases de incendio en el interior de recintos. Aunque las explosiones de gases de incendio no se ajustan a los fenómenos anteriores en términos de definición, las consecuencias son similares, al menos en lo que se refiere a rápida propagación del incendio.

Es importante para los bomberos tener un conocimiento básico de las dos situaciones principales que pueden llevar a tales igniciones bajo las condiciones variables en las que una estructura se ve afectada por un incendio:

- La formación de llamas de tamaño variable de gases de incendio puede ocurrir en el interior de un edificio. Éstas pueden existir en el propio compartimento incendiado, o en los compartimentos adyacentes, vestíbulos de entrada y corredores. También pueden trasladarse a cierta distancia de la fuente de ignición a través de huecos estructurales o falsos techos. El aporte de aire y/o una fuente de calor no es un requisito para la ignición de estos gases, los cuales ya han alcanzado un estado de premezcla, simplemente esperando una fuente de ignición. Si en este punto aparece una fuente de ignición, entonces la deflagración resultante se

parecerá a un *backdraft* pero en términos reales, lo que ocurre es una explosión de humo o gases de incendio.

- Puede ocurrir una ignición extensa de gases de incendio calentados en el lugar donde estos se mezclan con el aire, en la salida del recinto. Esto puede tener lugar en una puerta o ventana y el fuego resultante puede provocar un retroceso de la llama hacia el interior del compartimento a través de las capas de gas, algo similar a un retroceso de llama en un quemador Bunsen.

Aunque puede ser difícil diferenciar entre explosión de gases y *backdraft*, existen 3 razones principales que hacen de las explosiones de gas de incendio, fenómenos diferentes:

Conducción

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

Filtración

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

Tipo de Construcción

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

2.3 CONSIDERACIONES SOBRE LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS

2.3.1 Generalidades

Como ya se ha dicho al principio de este trabajo, todas las acciones encaminadas a la extinción de un incendio de interior, deben basarse en dos premisas: la seguridad y la eficacia. Ya se ha comentado que la cantidad (caudal) y la calidad (tamaño de gota/alcance) del agua disponible son dos factores fundamentales, pero no suficientes.

Se necesitan conocimientos sólidos sobre técnicas de extinción para poder obtener el máximo rendimiento de un agente extintor, el agua, que debemos disponer en cantidad y calidad suficiente.

Las técnicas de extinción han evolucionado a lo largo de la historia. Los estudios sistemáticos y la calidad de los materiales y equipos empleados han supuesto mejoras que han permitido aumentar los niveles de seguridad y eficacia.

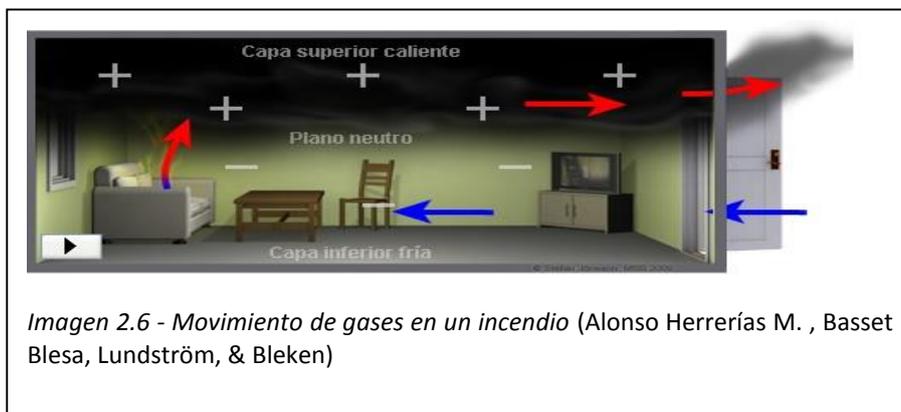
Si se analizan todos los factores que influyen en la evolución de un incendio, se observa que son muchos los aspectos con los que se puede interactuar para influir en su desarrollo y poderse así conseguir el objetivo que no es otro que el de minimizar los daños, sean estos materiales o personales. Esta capacidad de influir positivamente en el desarrollo de un incendio se adquiere mediante la disposición de buenos materiales y un alto nivel de entrenamiento.

Aunque es cierto que no existen dos incendios iguales, también es innegable que existen circunstancias que se repiten en la gran mayoría de ellos. Son estos puntos en común los que permiten utilizar técnicas de extinción generales cuya aplicación dependerá del criterio del personal interviniente.

2.3.2 Temperatura y presión en un recinto incendiado

Los diferentes ensayos efectuados sobre el comportamiento de incendios en espacios cerrados, demuestran que es razonable asumir que el recinto quedará dividido en dos zonas diferenciadas: una zona caliente en la parte superior compuesta por la mezcla de productos de la combustión y el aire introducido, y una zona más fría en la parte inferior compuesta principalmente de aire. Además, las propiedades de los gases en cada zona cambian con el tiempo pero se puede asumir que son uniformes en la totalidad de cada una de las zonas. El límite entre estas dos zonas se denomina plano neutro.

El incendio dará lugar a un movimiento de aire/gases que será indicativo de las condiciones de presión. Los gases siempre fluyen de la zona de mayor presión hacia la zona de menor presión. El flujo de entrada y salida de gases en un recinto incendiado viene determinado por la diferencia de presiones entre el interior del recinto y el exterior. Esto puede esquematizarse mediante la siguiente figura:



2.3.3 El agua como agente extintor

Son varias las características que hacen del agua un agente extintor ideal para combustibles sólidos. El agua es barata, de fácil disponibilidad y además influye sobre los factores principales que permite la existencia de un incendio.

En primer lugar, el agua disminuye el combustible; la conversión del agua líquida a vapor y su posterior expansión, diluye los gases inflamables existentes en el recinto y reduce la producción al influir sobre la pirolisis, ya que reduce el calor. La expansión producida al pasar de líquido a vapor empuja al exterior algunos de los gases existentes. Además, debido al alto calor latente de evaporación, absorbe gran cantidad de calor del incendio cuando pasa de líquido a vapor. A estos dos efectos se debe añadir un tercero; el vapor generado limita el acceso del comburente (oxígeno del aire) al combustible, actuando por tanto también por sofocación.

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

2.3.4 Métodos de extinción

Cuando se habla de extinción de incendio de interiores resulta evidente que una de las formas de incrementar la seguridad es evitando fenómenos como el *flashover*, el *backdraft* o las explosiones de gases de incendio. Estos objetivos, se pueden alcanzar si se es capaz de reducir la temperatura e inflamabilidad de los gases de incendio mediante la puesta en práctica de una técnica adecuada de aplicación del agua.

La extinción de unas llamas mediante la aplicación directa de agua resulta más eficaz si se es capaz de generar gotas suficientemente pequeñas como para favorecer la evaporación total. Cuanto menores son las gotas, mejor es el rendimiento desde el punto de vista de la evaporación. Pero un tamaño excesivamente pequeño reduce la eficacia ya que al tener poca masa, disminuye el alcance y las gotas quedan a merced de las corrientes y turbulencias propias de un incendio. Si la gota es excesivamente pequeña, se evaporará muy cerca del bombero que la aplica, lo que aumentará la humedad ambiente incrementando el estrés físico y la posibilidad de quemaduras en los intervinientes. Según Krister Gilselsson y Mats Rosander un diámetro de gota de alrededor de 0,3 mm ofrece una capacidad de evaporación y un alcance suficiente.

Lo dicho en el párrafo anterior se aplica también cuando en lugar de extinguir una llama, se quiere enfriar el cojín de gases de incendio. El paso de las gotas a través del cojín de gases genera unos "surcos" que enfrían, y por tanto contraen dicho colchón. Si la aplicación es correcta, esta contracción supondrá la elevación del plano neutro mejorando las condiciones de confort y visibilidad en los intervinientes.

Una incorrecta aplicación del agua puede provocar el efecto contrario, es decir el descenso del plano neutro. Para entender este fenómeno, se debe tener en cuenta que el agua aplicada en un recinto incendiado puede evaporarse tomando calor del cojín de gases del incendio, o de las paredes y superficies calientes. Un equipo bien entrenado

con la destreza suficiente para utilizar los materiales disponibles, podrá decidir cómo aplica el agua en función del efecto que quiera obtener. Si se va a realizar la extinción desde dentro del recinto, interesará subir el plano neutro, por lo que se deberá aplicar el agua de forma que se evapore en su mayor parte absorbiendo el calor del cojín de gases del incendio. Si por el contrario, se va a extinguir sin penetrar en el local, es posible que interese como labor inicial inundar la zona con vapor de agua. En este último caso, se puede aprovechar el calor de los cerramientos para evaporar el agua de extinción y generar suficiente vapor como para diluir los gases de incendio.

Vamos a intentar comprender mejor estos efectos a través de un caso práctico (Särdqvist, Water and other extinguishing agents, 2002).

Se supone que en un recinto cerrado incendiado, antes de aplicar agua, se cumple la condición:

$$P_0 \cdot V_0 = n_0 \cdot R \cdot T_0$$

Después de aplicar agua la situación será:

$$P_1 \cdot V_1 = n_1 \cdot R \cdot T_1$$

Como la presión se mantiene prácticamente constante en un incendio normal, la relación de volúmenes antes y después de aplicar agua será:

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{n_1 \cdot T_1}{n_0 \cdot T_0} \quad [0]$$

La evaporación de agua en el recinto implica:

- El humo y los gases de incendio se enfrían ya que se utiliza su calor para evaporar agua, disminuyendo la temperatura y también el volumen de humo
- El volumen de gases aumenta ya que al evaporar agua se ha introducido vapor

¿Cuál de los dos factores predomina? Depende de dónde toma el agua el calor para evaporarse.

Dos aspectos a considerar, muy importantes:

Si el volumen total se reduce, los gases se contraen; sube el plano neutro; entra aire fresco por la parte baja del incendio que es donde están los intervinientes y aumenta la visibilidad

- Si el volumen total aumenta, los gases tenderán a salir del recinto; ocuparán el espacio; bajará el plano neutro con gases con una elevada humedad (mejor transmisión de calor y mayor facilidad para sufrir quemaduras) y se reduce la visibilidad. Esto no es un problema en el supuesto de no haber personas en el interior, sean estas intervinientes o víctimas.

El calor para evaporar agua se puede tomar:

- De los humos y gases calientes
- De las superficies o cerramientos calientes

La energía necesaria para calentar el vapor de agua generado se toma siempre del humo independientemente del lugar donde se haya evaporado. Si se ha evaporado en las superficies calientes, el vapor sale de las mismas y toma calor del humo.

La energía que se quita a los gases de incendio es la misma que se emplea para evaporar el agua y aumentar la temperatura del vapor hasta igualarla a la del humo.

Suponiendo un proceso suficientemente rápido como para poderlo considerar adiabático, se tiene:

$$n_0 \cdot C_{pg} \cdot (T_0 - T_1) = (n_1 - n_0) \cdot (b \cdot PM_a \cdot L_{v.a} + C_{p.a} \cdot (T_1 - 373)) \quad [1]$$

$n_0 \cdot C_{pg} \cdot (T_0 - T_1)$ calor que ceden los gases de incendio hasta llegar a T_1

$(n_1 - n_0)$ moles de vapor de agua
 $b \cdot PM_a \cdot L_{v.a}$ calor para evaporar el agua
 $C_{p.a} \cdot (T_1 - 373)$ calor para llevar el agua a 100 °C
 $C_{pg} [J/mol \cdot K]$ Calor específico de los gases de incendio, aproximadamente igual al del aire (33.2 va 1000 K)
 b Proporción de agua que se evapora en el humo
 PM_a Peso molecular del agua (28 uma)
 $L_{v.a} [J/gr]$ Calor latente de vaporización del agua (40.68 KJ/mol)

A partir de [1], se obtiene:

$$\frac{(n_1 - n_0)}{n_0} = \frac{C_{pg} \cdot (T_0 - T_1)}{b \cdot PM_a \cdot L_{v.a} + C_{p.a} \cdot (T_1 - 373)} \quad [2]$$

Como:

$$\frac{(n_1)}{n_0} = \frac{(n_1 - n_0)}{n_0} + 1 \quad [3]$$

Aplicando [3] en [0]:

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{n_1 \cdot T_1}{n_0 \cdot T_0} = \left(\frac{(n_1 - n_0)}{n_0} + 1 \right) \cdot \frac{T_1}{T_2} \quad [4]$$

Sustituyendo en [4], [2]:

$$\frac{V_1}{V_0} = \left(\frac{C_{pg} \cdot (T_0 - T_1)}{b \cdot PM_a \cdot L_{v.a} + C_{p.a} \cdot (T_1 - 373)} + 1 \right) \cdot \frac{T_1}{T_2} \quad [5]$$

Cuando se enfría el humo, el agua se evapora en él y le quita energía. En ese caso, b toma el valor 1 (toda el agua se evapora en el humo sin llegar a las superficies calientes). Cuando se evapora en las superficies calientes, b toma el valor 0 y el calor de vaporización se toma de esas superficies (pueden ser combustibles o no) y el vapor a 373 K se suma al humo.

Si la temperatura del humo al principio es de 873 K y por enfriamiento del combustible o de las superficies calientes la reducimos a 573 K, el volumen del gas, aumenta:

$$\frac{V_1}{V_0} = \left(\frac{34.0(873 - 573)}{41.2(573 - 373)} + 1 \right) \cdot \frac{573}{873} = 1.47$$

Si el agua se evapora en el humo:

$$\frac{V_1}{V_0} = \left(\frac{34.0(873 - 573)}{1 \times 18 \times 2260 + 41.2(573 - 373)} + 1 \right) \cdot \frac{573}{873} = 0.79$$

En este caso, el volumen del humo de la habitación se reduce un 21%.

Cuando el 70% del agua se evapora en las superficies calientes y el 30 % en el humo a 600 °C, los dos efectos se compensan y el volumen permanece constante.

Con una cantidad de agua evaporada en los gases relativamente pequeña, se puede reducir el volumen.

En algunos casos, la reducción del volumen supone la entrada de aire fresco por la parte baja del recinto y puede provocar un aumento de la intensidad del incendio.

Ahora que se entiende cómo afecta a las condiciones del incendio la forma en que se aplica nuestro agente extintor, el agua, se está en condiciones de explicar los tres métodos básico de extinción.

El **método de extinción directa** consiste en dirigir el chorro de agua directamente a las superficies que arden; así se enfriará el material incendiado y disminuirá o interrumpirá la emisión de gases inflamables desde el material combustible.



Imagen 2.7 - Método de extinción directa (Alonso Herrerías M. , Basset Blesa, Lundström, & Bleken)

Esta técnica es muy efectiva cuando el incendio afecta a pocos objetos y la accesibilidad al foco del incendio lo permite. Esta técnica puede utilizarse de manera que se proyecte agua sobre las superficies que no están ardiendo; la intención es entonces evitar que las mismas puedan comenzar a arder o a pirolizar.

El **método de extinción indirecta** supone que el agua es proyectada sobre las superficies calientes para producir su evaporación y así extinguir el incendio mediante la sofocación y el enfriamiento.

La cantidad de agua evaporada dependerá del tipo de material con el que están construidas las superficies del recinto (muy eficiente en estructuras metálicas como en los barcos). La utilización de una proyección de agua fina es más eficiente que el chorro directo, puesto que se generará mayor cantidad de vapor. La utilización de esta técnica puede producir una importante cantidad de vapor en el interior del recinto, que tendrá como resultado un aumento repentino de la presión y un mayor riesgo de sufrir quemaduras por parte del personal que se encuentre en el interior del recinto por lo que no resulta recomendable la permanencia del personal en el interior de la habitación cuando se utiliza el método de extinción indirecta. Como se puede observar en la Imagen 2.8, la expansión del vapor es función de la temperatura y la cantidad de vapor producida aumenta considerablemente con la temperatura.



Imagen 2.8 - Método de extinción indirecta (Alonso Herrerías M. , Basset Blesa, Lundström, & Bleken)

Una tercera posibilidad es el **método de enfriamiento de los gases de incendio**, también conocido como método 3D, por afectar a las tres dimensiones de espacio. Este método, supone la proyección de agua sobre los gases del incendio con el objetivo de reducir su temperatura, extinguir las llamas y evitar la propagación del incendio.

El tamaño de las gotas no debe ser muy grande, aproximadamente 0.3 mm. De este modo absorberán calor y se transformarán en vapor más rápidamente que en el caso de proyectar gotas de mayor tamaño (como consecuencia de la mayor superficie de agua expuesta al calor). Por otra parte, el tamaño de las gotas no debe ser demasiado pequeño, puesto que podrían no penetrar suficientemente en el interior de los gases calientes del incendio. Cuando un bombero enfría los gases del incendio, ha de mantener una actitud activa que le permita cubrir el mayor volumen de gases calientes



posible. Una diferencia de resultado entre el método de extinción indirecta y el enfriamiento de los gases del incendio es que la visibilidad será mucho mejor en este último caso, generando un entorno de trabajo seguro para los bomberos. En caso de una actuación ideal, si se utiliza la técnica del enfriamiento de los gases de incendio, el plano neutro no descenderá y permanecerá en el mismo nivel, incluso puede ser elevado.

2.3.5 Técnica de ataque ofensivo

Esta técnica de extinción supone una combinación de los métodos vistos anteriormente. Se debe tener en cuenta que los gases del incendio pueden tener un contenido energético medio o elevado y pueden encontrarse inflamados o no, dentro o fuera de su rango de inflamabilidad. Esta técnica es especialmente agresiva con los gases de incendio, pero se puede combinar con los otros métodos con el objetivo de ejecutar una actuación más segura y eficaz.

El método de ataque ofensivo se puede resumir en 5 pasos:

1. **Asegurar el acceso:** El binomio de bomberos (binomio de buceadores en humo) que va a introducirse en el recinto, debe de observar la cantidad de humos, el color, la densidad y la forma en que los gases de incendio se desarrollan en el exterior a través de las puertas y ventanas, pues éste es un indicador del estado de la temperatura y concentración de los gases, dando así una idea aproximada en cuanto a la posibilidad de que el incendio evolucione hacia un *backdraft* al abrir la puerta y que la concentración de los gases cambie desde el límite superior de inflamabilidad hacia el rango de inflamabilidad, o bien una explosión de gases de incendio o en general cualquier otro de los fenómenos que se han descrito. Para evitarlo, se *“aseguran”* el acceso y salida del personal, mediante la proyección de agua pulverizada sobre la puerta y los gases que ya se encuentren en el exterior enfriándolos. Cuando los dos acceden al interior del recinto, en el lugar por donde penetran debe permanecer otro miembro del equipo de ataque (jefe de buceadores en humo) para asegurar que los gases que saldrán al exterior no se autoinflamen y observar su evolución con el fin de hacer salir al equipo del interior o reforzarlo en caso de ser necesario.

2. **Control de temperatura:** El binomio entra y cierra la puerta evitando así aporte de oxígeno al incendio. Proyectan agua sobre la zona de presión positiva (parte superior) enfriando y diluyendo los gases del incendio. Esta acción se efectúa sobre los gases que se encuentren nada más entrar en el recinto, mediante pulsaciones cortas y muy rápidas. Si el agua proyectada se gasifica de forma rápida, significa que existen altas temperaturas de los gases de combustión y se debe actuar rápidamente refrescando y diluyendo estos gases, si es preciso mediante pulsaciones algo más largas aunque no menos frecuentes.
3. **Enfriamiento de los gases de incendio:** En la medida en que se avanza, se deben efectuar pulsaciones de agua con el fin de enfriar y diluir los gases de combustión. Cuando se encuentren con el frente de llamas donde los gases de combustión están en su pleno desarrollo, se actuará de forma *“ofensiva”* aumentando el efecto de las pulsaciones, prolongando si es preciso el tiempo de la pulsación y reduciendo el tiempo entre ellas, teniendo en cuenta que no se debe aplicar más cantidad de agua de la necesaria, ya que de lo contrario se rompería el equilibrio entre los volúmenes de gases generados, provocando un fuerte incremento de la cantidad de vapor de agua, el cual a una temperatura superior a los 100º C ocuparía la mayor parte del volumen del recinto provocando quemaduras y anulando así mismo el efecto deseado de enfriamiento y aumento de visibilidad como consecuencia de la contracción de los gases de combustión.
4. **Control de la pirólisis:** Si se ataca a los gases de combustión se cortará la propagación del incendio y quedará activo el foco primario, además de los vapores y gases que destilan los materiales inflamables como consecuencia de la pirólisis.
En este punto se procede a “pintar paredes”, lo cual consiste en aplicar un caudal muy pequeño de agua en las superficies calientes (como si se estuviese pintando) de tal forma que el proceso de pirólisis se interrumpa.
5. **Ataque directo:** Cumplidos los pasos anteriores, se procede a finalizar la extinción mediante un ataque directo al foco o focos primarios. Normalmente, llegados a este punto no es necesario emplear un caudal elevado.

2.4 CAUDAL ÓPTIMO

Hablar de un caudal óptimo para extinción de incendio de interiores resulta complicado teniendo en cuenta la variedad de escenarios posibles a los que se debe hacer frente en estas situaciones. Además, un mismo escenario inicial puede cambiar de manera que el caudal que podría considerarse apropiado en un primer momento no sea suficiente al evolucionar el incendio hacia un estado de mayor desarrollo. El caudal ideal también varía dependiendo de la técnica de extinción que se esté empleado. El caudal necesario, es diferente si se utiliza la extinción directa, el ataque indirecto y el enfriamiento del cojín de gases.

Existe una cantidad importante de textos técnicos que afrontan el problema de determinar el caudal necesario que debe estar disponible para tener una adecuada protección contra incendios. En estos textos, aparecen diferentes métodos para calcular los requerimientos de agua en función, principalmente, del tipo y uso del edificio a proteger. Es esa línea cabe destacar el estudio (SFPN, 2007) en el que se describen 11 métodos para calcular el caudal de agua necesario para la lucha contra incendios.

En la misma línea el informe de la The Fire Protection Research Foundation (Benfer & Scheffey, 2014) analiza 17 métodos diferentes de cálculo de caudales, también desde el punto de vista del diseño y la protección contra incendios.

La mayor parte de estos métodos hacen referencia a los caudales que las redes de extinción y sistemas de protección contra incendios, deben disponer. Sobre este asunto también resulta interesante la lectura de (CNPP, 2001). En él se hace referencia a las necesidades de caudal en edificios de uso vivienda, locales de pública concurrencia e instalaciones industriales.

El informe de Särqvist (Särqvist, Demand for Extinguishing Media in Manual Fire Fighting, 2000) describe el uso de diferentes agentes extintores pero en el punto referente al agua, no hace mención explícita a caudales.

¿Qué características debería cumplir un supuesto caudal óptimo? Para dar respuesta a esta pregunta son varias las cuestiones que se deben tener en consideración. Un caudal óptimo debería ser suficiente para extinguir un incendio, supongamos en una vivienda, con seguridad y eficacia.

Si el caudal es bajo, el tiempo de control del incendio será alto, con lo que habrá mayores pérdidas, mayor riesgo y menor posibilidad de realizar rescates con éxito. Además, el caudal deberá de obtenerse con una presión en lanza que permita aprovechar las características de las lanzas de última generación. Esta presión deberá ser próxima a la de diseño recomendada por el fabricante, en general, 6 – 7 bar, pudiendo así obtener un tamaño de gota ideal y un alcance suficiente.

Además, el caudal y la calidad obtenida deberán ser también suficiente para poder hacer frente a situaciones de riesgo sobrevenido, como puede ser un *flashover*, un *backdraft* o una explosión de gases de incendio. En estas situaciones, los requerimientos de caudal son muy superiores a aquellos necesarios para hacer frente a un incendio en su fase inicial o de decaimiento.

2.4.1 Caudal máximo aceptable

Resulta muy complicado cuantificar cual sería el caudal que puede garantizar una intervención segura en el supuesto que se produzca alguna de las tres situaciones nombradas en el párrafo anterior. Cualquier profesional de la extinción, desearía de disponer en una situación así del caudal máximo manejable. Y se habla de caudal manejable porque aunque a mayor caudal mayor posibilidad de salir bien parado, un binomio de intervención no puede manejar un caudal ilimitado.

Grimwood (Grimwood, Firefighting nozzle reaction, 1992) trata este asunto a partir de un trabajo de investigación sobre la capacidad operativa de las líneas de ataque utilizadas por la London Fire Brigade. En ese trabajo, se utilizaron mangueras de 45 mm y lanzas con diámetros equivalentes de salida de 12'5 mm y mangueras de 70 mm con lanzas de diámetros equivalentes de 20 mm y 25 mm.

Una de las leyes básicas de la física, la tercera ley de Newton, establece que para cada fuerza de acción, existe una de reacción de la misma intensidad y de sentido contrario. Sencillamente, para el bombero significa que cuando su lanza proyecta un chorro pleno o un abanico nebulizado, 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 tiene lugar en el momento en el que el agua abandona la lanza, y no es necesario que el chorro golpee algún objeto próximo.

Se ha evaluado cual 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 se ha observado que hay una fuerza de reacción máxima de la lanza que puede ser manejada por uno, dos y tres bomberos:

Un bombero	266 N
Dos bomberos	333 N
Tres bomberos	422 N

Tabla 2.1 – Fuerza de reacción soportable

Por otro lado, se sabe que la fuerza de reacción ejercida contra el sistema cuando el agua sale de un orificio es:

$$F_R = 2.S.P \text{ [ec.2.4 – 1]}$$

Estos datos permiten establecer una base sobre la que calcular cuáles son los caudales máximos a utilizar por un binomio en las operaciones de extinción de un incendio de interior. Los resultados concretos fueron 277 lpm en líneas de 45 mm con lanzas de diámetro de salida de 12'5 mm, 650 lpm en líneas de 70 mm con lanzas diámetro de salida de 20 mm y 750 lpm en líneas de 70 mm con lanzas diámetro de salida de 25 mm, para un equipo de dos bomberos.

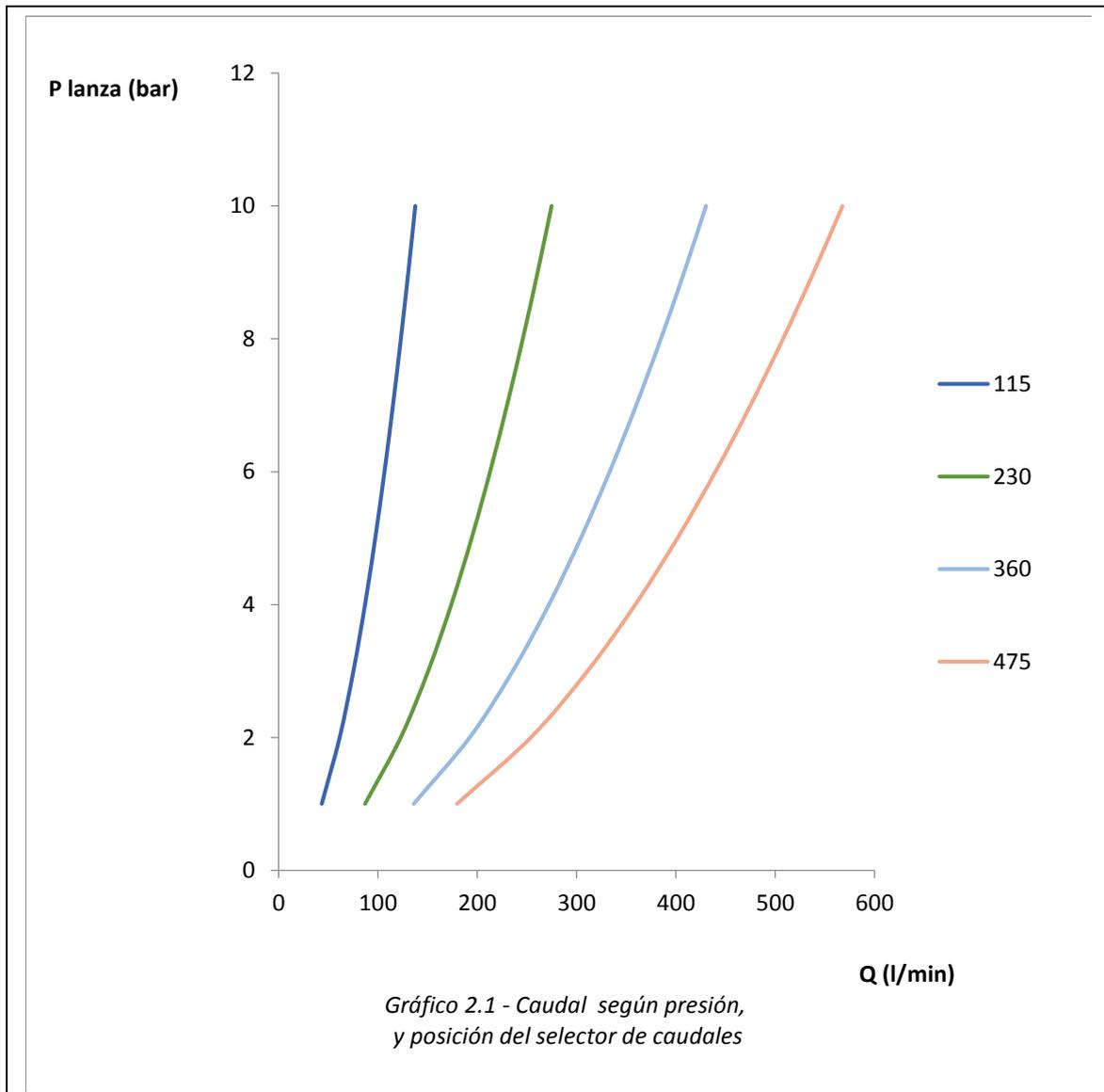
Investigaciones similares llevadas a cabo por otros cuerpos de bomberos, principalmente San Francisco, Los Ángeles y Chicago propusieron un caudal de 550 lpm como máximo para ser utilizado con seguridad y eficacia por parte de un binomio de intervención. Más reciente, en 1996, la ciudad de St. Petersburg, en Florida (USA) estableció como caudal de base 600 lpm utilizando una lanza con un diámetro de salida de 22 mm a 3'5 bar con manguera de 45 mm. Esta configuración produce una fuerza de reacción aceptable de 266 N y permite avanzar y maniobrar sin excesiva dificultad. Sin embargo, las lanzas utilizadas actualmente, sean automáticas o no, necesitan una presión mayor para obtener los mismos caudales. Normalmente entre 6 y 7 bar. Esto supone un aumento en la fuerza de reacción.

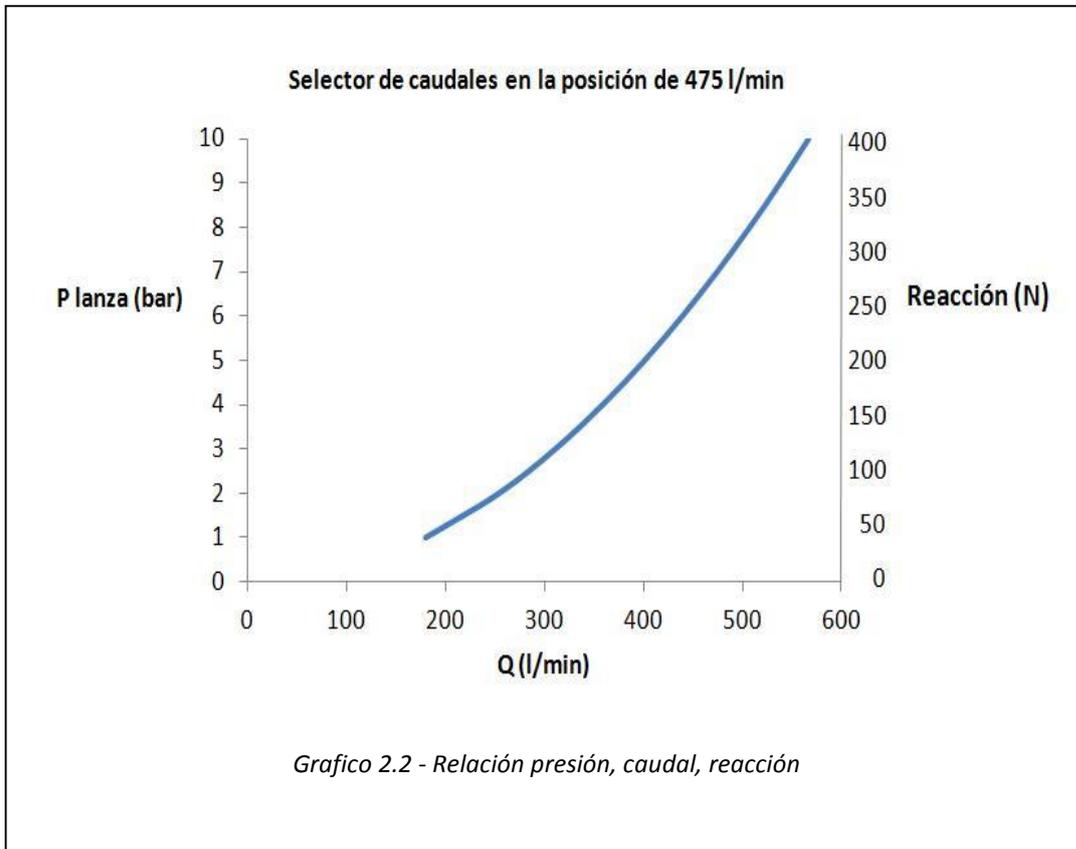
Una lanza moderna que trabaje a 7 bar, si suministra un caudal de 600 lpm producirá una reacción de 356 N. Esta reacción puede ser excesiva para ser manejada por un equipo de dos bomberos. Existen diferentes fórmulas para calcular la reacción de una lanza. A la anterior, podemos añadir:

$$F_R = 0'22563 \cdot lpm \cdot \sqrt{P_L} \quad [ec. 2.4 - 2]$$

F_R en N
 P_L en bar

¿Cuál es entonces el caudal máximo manejable por un binomio? Si aplicamos la ecuación anterior, podemos observar que una reacción de 333 N, máximo manejable por un binomio, será producida por un caudal de 560 lpm con una presión en lanza de 7 bar.





			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

Tabla 2.2 - Reacción de la lanza y caudales en función de presión en lanza y posición del selector de caudales

2.4.2 Caudal para extinción

El problema de definir el caudal del que debe disponer un equipo de extinción, en este caso un binomio de buceadores en humo, cuando hace frente a un incendio de interior, ha sido abordado en numerosas ocasiones por diferentes organismos: servicios de bomberos, administración, universidades.

Existe un acuerdo general en que se debe diferenciar el caudal normalmente suficiente para afrontar las labores de extinción, y el caudal necesario en caso de emergencia, es decir, en el supuesto de que un binomio se encuentre en el interior de un recinto en el momento en el que se produce un *flashover*, un *backdraft* o una explosión de gases de incendio. En este último caso también deberíamos añadir aquellas situaciones que pueden desembocar en un cambio drástico y desfavorable de las condiciones en el interior como pueden ser modificaciones de las condiciones de ventilación. En estos casos, lo deseable sería que el binomio dispusiese del mayor caudal manejable, es decir, aquel que produzca una reacción no superior a los 333 N.

Como se ha visto en el punto anterior, este caudal sería de aproximadamente 560 lpm. La bomba utilizada y todos los elementos conectados a ella, desde la primera manguera a la lanza, deberían garantizar, en caso de necesidad, un caudal próximo a los 560 lpm. Ello no significa que el binomio de ataque vaya a extinguir cualquier incendio con ese caudal.

La mayoría de las situaciones las podrá resolver con caudales menores, pero en el supuesto de tener que hacer frente a una situación de riesgo, debería de disponerse del máximo caudal que sea capaz de manejar. Con las lanzas actuales en las que es posible regular el caudal disponible, un bombero puede utilizar su caudal máximo manejable o, con un simple movimiento del anillo selector de caudales, pasar a un caudal muy inferior.

La eficacia en la extinción de un incendio no solo reside en el caudal disponible. Se debe tener en cuenta que cuando se aplica agua a un incendio se puede estar persiguiendo diferentes objetivos. Ya se han visto las diferencias entre un ataque directo, un ataque indirecto y un ataque al cojín de gases. Son tres técnicas diferentes con objetivos distintos, aunque con un fin común.

Además de la cantidad (caudal) se debe considerar la calidad del agua proyectada. Para que el agua sea eficaz, debe ser capaz de hacer que se evapore en el seno del incendio. Considerando su calor específico y su calor latente de evaporación, es fácil entender que cuanto mayor cantidad de agua se evapore, más se reducirá la temperatura.

La eficacia en la evaporación, depende en buena medida del tamaño de la gota generada. Las gotas más pequeñas se evaporan con más facilidad que las grandes. Por otra parte, una gota excesivamente pequeña no facilita la proyección de la misma en el lugar adecuado ya que una masa excesivamente pequeña hace que estas gotas sean

transportadas o desviadas por las corrientes de convección que se generan en un incendio.

Refiriéndose al caudal, Grinwood y Barnett (Barnett & Grimwood) hacen referencia a dos conceptos: *Critical flow-rate* (CFR) o caudal crítico y *Tactical flow-rate* (TFR) o caudal táctico. El concepto CFR se refiere “al caudal mínimo (lpm/m^2) necesario para extinguir un incendio en su fase de desarrollo o decaimiento”.

En un incendio de interior que se encuentra en su fase de crecimiento el calor liberado aumentará constantemente y la cantidad de agua necesaria para extinguirlo con eficacia será mucho mayor que en el caso en que se encuentre en su fase de decaimiento.

Se han realizado varios estudios de investigación internacionales en los que se ha tratado de calcular los caudales de extinción y los caudales críticos. Es importante tener en consideración que el CFR puede variar dependiendo del estilo de ataque empleado. El CFR para un ataque directo sobre la superficie del combustible será diferente al necesario para un ataque al cojín de gases de combustión.

Del mismo modo, la tasa de generación de calor de un incendio puede verse influida por el perfil de ventilación y esto a su vez puede afectar al CFR en un recinto específico. Por lo tanto, es igualmente importante abordar diversas fórmulas utilizadas para calcular los caudales en incendios teniendo lo anterior en mente. Cuando se comparan fórmulas para cálculo de caudales también es importante considerar cual es el origen y los objetivos de las mismas. Cada fórmula intenta abordar un rango específico de condiciones de incendio y posiblemente unos mecanismos o técnicas de extinción diferentes.

Sería interesante que los servicios de bomberos dispusiesen de una fórmula que les permitiese calcular los caudales necesarios para planificar una actuación táctica concreta, o incluso para la redacción de procedimientos de intervención. Existen desde hace tiempo diferentes fórmulas para el cálculo de caudales aunque algunas abarcan campos demasiado amplios o son demasiado teóricas y complicadas como para poderlas emplear en un caso práctico.

Barnett y Grimwood han intentado elaborar una fórmula de campo fácil de utilizar basada en una investigación sobre datos empíricos registrados a partir de cientos de incendios reales. En 1999, Grimwood introdujo y definió el concepto de *Tactical Flow-Rate* (TFR) o caudal táctico como el caudal objetivo para intervenciones generales de extinción. Esa estimación de campo resulta apropiada para incendios de una superficie entre $50 m^2$ y $600 m^2$.

En diciembre de 2004, el neozelandés Cliff Barnett utilizó la investigación y la fórmula de Grimwood para actualizar los conocidos *factores de eficiencia* de la Sociedad de Ingenieros de Protección Contra Incendios (NZ) para calcular caudales en aplicaciones de diseño ingenieril. El documento resultante, SFPE(NZ) TP 2004 – 1, ofrece

posiblemente los requisitos de caudal más precisos y útiles tanto para los bomberos como para los ingenieros que diseñan instalaciones de protección.

La investigación de Grimwood se hizo de modo independiente sin la influencia de otros métodos de cálculo aceptados internacionalmente, sin embargo, el resultado final no difiere en exceso de los métodos utilizados por la NFPA o IOWA (Método de la Universidad Estatal de IOWA). Estas dos fórmulas abordan el cálculo de caudales desde perspectivas totalmente diferentes.

La aportación más importante de la fórmula de Grimwood es que trata el cálculo del caudal teniendo en cuenta la extinción tanto del combustible sólido como del colchón de gases de incendios y representa los requisitos de caudal en los términos más generales.

Clark (Clark, 1991) define el **caudal crítico** (CFR- Critical Flow-Rate)) como: *“Es el mínimo caudal necesario para extinguir un incendio determinado. Un caudal mayor que el crítico, extinguirá el fuego, pero un caudal menor que el crítico, no podrá”*. Añade que existe un caudal crítico para cada incendio.

En opinión de Särqvist (Särqvist, Fire Brigade Use of Water, 1999), la aplicación del CFR supone un uso inadecuado desde el punto de vista del aprovechamiento del agua ya que supone unos tiempos de extinción muy largos (en teoría infinitos).

Un incremento en el caudal por encima del valor crítico provoca una disminución del volumen total del agua necesaria para extinguir un incendio. Sin embargo, existe un *flujo óptimo* con el que la cantidad de agua empleada sería mínima. Por encima de este caudal, el volumen total de agua aumenta de nuevo. En términos prácticos, cuando pensamos en caudales o en tácticas de extinción, siempre debemos añadir un margen de seguridad o de error.

En general, un aumento del caudal reducirá el tiempo necesario para la extinción. Ahora bien, en un ataque inicial al incendio existe un límite superior de caudal condicionado por el tamaño del incendio y por la cantidad de recurso, entre otros agua, disponibles en el lugar de la intervención.

Para Grimwood, el TFR es el caudal deseable para un ataque inicial. El cálculo del TFR se basa en una amplia investigación empleando datos reales de incendios en diferentes países. El TFR al que se hace referencia en este texto es el caudal necesario para la extinción de un incendio que se encuentra en su fase de crecimiento o que haya alcanzado un estado *post-flashover* sin llegar a la fase de decaimiento.

Desde un punto de vista táctico, siempre es preferible conseguir el control del incendio en la fase de crecimiento. Si superamos esta fase y se llega a la de decaimiento, aumentan los riesgos en la intervención, entre otros, el de colapso estructural del recinto afectado.

Teóricamente, el concepto de caudal de extinción necesario puede fundamentarse en la relación entre caudales requeridos, y tasas de liberación de calor (MW) en incendios de interiores.

Empíricamente el cálculo del TFR también puede basarse en la relación entre la carga térmica y la superficie ocupada por la misma, con el caudal necesario para extinguir un incendio durante las fases de crecimiento o decaimiento. En la fase de decaimiento se asumirá que se trata de una táctica defensiva.

Grimwood combina ambos métodos y obtiene una fórmula para el cálculo del TFR contrastada con datos de incendios reales.

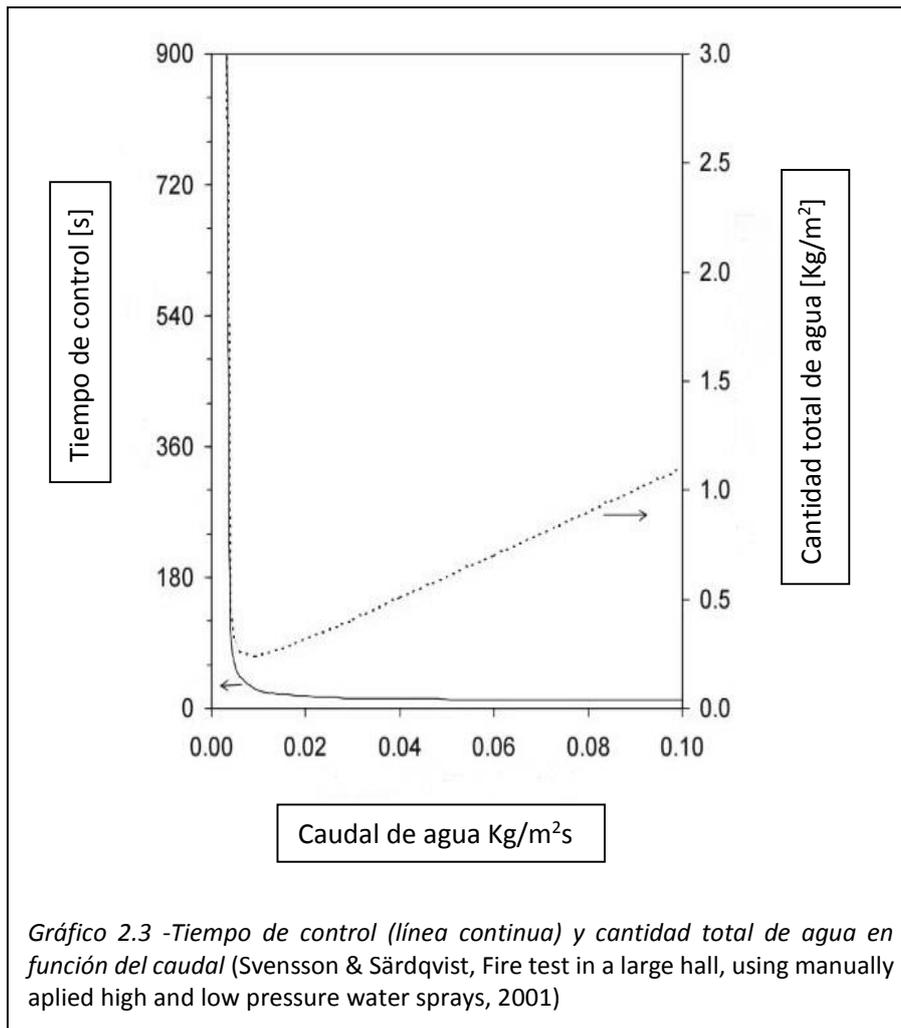
El TFR va más allá del CFR e incorpora un elemento de seguridad y de “exceso” siempre con el objetivo de alcanzar un caudal óptimo con el que poder hacer frente a la mayoría de incendios con una carga térmica normal (una vivienda, una oficina) en su fase de desarrollo sin daños innecesarios por una utilización excesiva de agua.

La aplicación de agua a un recinto en el que se desarrolla un incendio con combustible sólido consigue la extinción por la combinación de tres mecanismos principales ya definidos anteriormente.

La influencia de cada uno de estos mecanismos depende del modo en el que se aplica el agua. Existen diferentes métodos para el cálculo del caudal ideal en incendios de interiores. La National Fire Academy (USA) utiliza una fórmula solo válida si se emplea el método de ataque directo. Por el contrario, Iowa emplea una fórmula diferente pero solo aplicable en el caso de un ataque indirecto.

Como puede observarse, las dos fórmulas anteriores son aplicables a un solo método. Lo normal durante las labores de extinción, es emplear una combinación de los métodos anteriores y esto, generalmente se hace con una única instalación.

Sería deseable disponer de una fórmula versátil que permita calcular un caudal apropiado para cada método de extinción. Evidentemente, si el caudal es diferente dependiendo del método de extinción a utilizar, el conjunto de bomba e instalación deberá ser capaz de proporcionar al binomio de intervención el mayor de ellos. Debe tenerse en cuenta que cuando se inician las labores de extinción, no siempre se sabe que método de extinción se va a utilizar. Lo más probable es que durante la intervención sea necesario utilizar una combinación de los tres métodos por lo que se hace necesario definir antes del inicio de la actuación, cuál va a ser el TFR necesario. Definido éste, y conocida la instalación necesaria para transportar el agua desde el vehículo hasta el punto base, el operador de bomba podrá disponer lo necesario para alcanzar ese caudal. El TFR supone un caudal para la línea de ataque, y no tiene en consideración la utilización de una segunda línea de seguridad.



Cortina de agua pulverizada, niebla y niebla fina

Cuando se habla de extinción de incendios, el tamaño de una gota de agua pulverizada tiene gran importancia sobre todo cuando se consideran ciertos aspectos como es la resistencia ofrecida por el aire a su movimiento. Esta resistencia es proporcional al diámetro de la gota.

Cuando se habla de tamaño de gota, nos referimos al tamaño medio del conjunto de gotas proyectadas cuando se hace una pulsación con una lanza que permita lanzar un chorro pulverizado.

El poder de sustentación y penetración de un chorro de agua pulverizada, depende en gran medida de la distribución del tamaño de las gotas que lo componen.

La eficiencia en la transferencia de calor hacia las gotas de agua, que es fundamental cuando se usa para extinguir incendios, también depende de la geometría de la gota y en particular, de la relación superficie/volumen. Si se maximiza esa relación, se aumenta

la capacidad de absorber rápidamente el calor desde el entorno hacia la gota, y en consecuencia, se facilita su evaporación.

La capacidad de penetración que puede lograr una pulverización determinada está regida por la energía cinética inicial del líquido y por el grado de resistencia aerodinámica ofrecida por el gas sobre el que se proyecta.

Manteniendo todas las variables constantes, la capacidad de penetración de una pulverización es mucho mayor que la de una sola gota. Las primeras gotas dan un impulso al gas circundante reduciendo la fricción entre el gas y el resto del líquido proyectado, de modo que se crean unos canales que dan como resultado una mayor penetración total.

Actualmente, existe un gran interés puesto de manifiesto por el creciente número de líneas de investigación que tienen por objetivo estudiar la interacción entre las gotas de agua y los cojines de gases de incendio y llamas.

Algunos textos (Mawhinney, 1994) sugieren que puede existir una tasa de liberación de calor crítica por encima de la cual un tamaño determinado de gota no contribuirá a la extinción del incendio por no poder alcanzar físicamente el lugar donde debería evaporarse.

Ventajas de las gotas de tamaño óptimo y de una velocidad de circulación alta

En 1998, en la conferencia anual sobre investigación de incendios del Building Fire Research Laboratory (BFRL) se presentó por parte del NIST un interesante documento (Ewan, 1998). El objetivo principal de ese estudio, era tratar la interacción entre las proyecciones de agua pulverizada y las capas de gases de incendio próximas al techo de un recinto, en un incendio controlado por ventilación, prestando especial atención a la eficacia de los diferentes ángulos de pulverización, así como al tamaño de las gotas, a la velocidad de circulación y al caudal empleado.

Aunque en este estudio la dirección de aplicación del agua pulverizada era desde el techo hacia abajo, los mecanismos asociados al enfriamiento de las llamas son idénticos a los utilizados por los bomberos.

Se observó de manera generalizada que la aplicación de agua pulverizada a las capas de gases de incendio utilizando ángulos de aplicación de 30, 60, 75, 90, 120, 135 y 150 grados, producían diferentes reducciones de temperatura en el compartimento. Pero en concreto, los conos de aplicación de entre 60 y 75 grados, eran los más efectivos en la reducción general de la temperatura del recinto.

El estudio indicaba que para esos ángulos, teniendo en cuenta la limitación en cuanto a poder de penetración, se debían utilizar velocidades de circulación por encima de 18 m/s.

Se analizaron diámetros promedio de gota de entre 0'3 mm y 0'6 mm y se observó que el tamaño de gota de 0'3 mm maximizaba el efecto de enfriamiento en el recinto.

También se observó que en el recinto de prueba (115 m²), el caudal más eficiente para actuar sólo sobre el cojín de gases de incendio era de 113 lpm con gotas de 0'3 mm como componentes principales del patrón de agua pulverizada proyectada. Esto equivale a una cantidad próxima a un litro por metro cuadrado (1 l/m²) y coincide de manera aproximada con el CRF registrado en una de las investigaciones de Svensson y Särqvist.

El término “caudal más eficiente” que podría aplicarse al CFR no podría considerarse como “caudal óptimo” en términos prácticos, en particular, si se trata de incendio del combustible y no del cojín de gases de incendio.

Posteriormente Rabash (Rabash, 1997) intentó estimar la transferencia de calor entre las llamas y el agua pulverizada. Elaboró un gráfico de tasa de transferencia de calor por convección frente a velocidad de circulación de la gota, para un rango de diámetros entre 0'05 mm y 2 mm, asumiendo una temperatura de llama de 1000 °C.

En general, las velocidades altas y los tamaños de gota pequeños aumentaban la tasa de transferencia de calor. Por ejemplo, una gota de 0'2 mm a 0'07 m/s (velocidad terminal de sustentación en el aire sin movimiento) produjo una tasa de transferencia de calor de 167 KW/m² mientras que la misma gota desplazándose a 2 m/s alcanzaba un valor de 293 KW/m².

Para una gota de 0'05 mm desplazándose a velocidades de 0'01 m/s y 0'5 m/s la correspondiente tasa de transferencia de calor fue de 1'7 KW/m² y 2'5 KW/m² respectivamente.

En esta investigación también se estudió una estimación de la capacidad de penetración de las gotas y se observó que las gotas con mayor tamaño inicial eran capaces de penetrar más en las llamas antes de que se produjese su completa evaporación.

Tratamiento de la combustión en la fase gaseosa

Cuando el agua pulverizada atraviesa los gases calientes, las gotas absorben calor y empiezan a evaporarse. Como hemos visto anteriormente, la evaporación depende en gran medida del tamaño del diámetro de las gotas, de la temperatura y de las propiedades de transporte (velocidad, flotabilidad, etc). Las pulverizaciones constituidas por las gotas más pequeñas presentan una gran superficie en relación a su volumen y por lo tanto se calientan y evaporan rápidamente absorbiendo más calor. Las gotas pequeñas se evaporan rápidamente y concentra su efecto extintor en el cojín de gases calientes y llamas. Las gotas grandes no se evaporan totalmente al pasar a través de las llamas y de los gases calientes, a no ser que el cojín de gases y llamas sea muy profundo, que no es el caso habitual en incendios de viviendas. Estas gotas pueden atravesar las llamas e impactar en las superficies calientes y con el material en combustión reduciendo la pirolisis.

En un incendio, cuando una gota atraviesa la fase gaseosa se produce una gran transferencia de calor entre las gotas y el gas. También existe un efecto de arrastre que afecta a su velocidad y trayectoria. Todos estos factores afectan a la capacidad de las gotas para absorber calor de la fase gas. En el interior de un recinto las corrientes de convección del incendio tienen un gran efecto en el movimiento de las gotas de un tamaño inferior a 0'1 mm, pudiendo ser desplazadas fuera de la zona sobre la que queremos que actúen, antes de que hayan tenido un efecto refrigerante apreciable.

Existe una gran cantidad de líneas de investigación que intentan determinar el tamaño ideal de las gotas cuando se trata de utilizar el agua pulverizada como agente extintor de incendios. Hay un consenso general en que un diámetro entre 0'2 mm y 0'4 mm ofrece el mayor efecto en términos de refrigeración de la fase gaseosa, dilución y extinción.

La mayor parte de las lanzas contra incendio de cierta calidad, operando a 7 bar, ofrecen un tamaño de gota promedio de entre 0'3 mm y 1mm. En la medida en la que se aumenta la presión en la lanza, el diámetro promedio de las gotas disminuye.

Aunque en general, las gotas más pequeñas son más eficientes refrigerando la fase gaseosa, las gotas un poco más grandes son capaces de alcanzar y refrigerar las superficies combustibles de un modo más efectivo, previniendo el recalentamiento e ignición de los gases de incendio acumulados.

También se ha observado que cuando se descarga agua pulverizada en la fase gaseosa, las gotas más grandes enfriaban los cerramientos del recinto incendiado con mayor efectividad:

Diámetro de gota (mm)	Reducción de temperatura en 2 minutos
0'3	57°C
0'7	124°C
0'8	195 °C

Tabla 2.3 - Efecto del tamaño de gota en el reducción de la temperatura

Esta observación confirma y demuestra algunos puntos importantes:

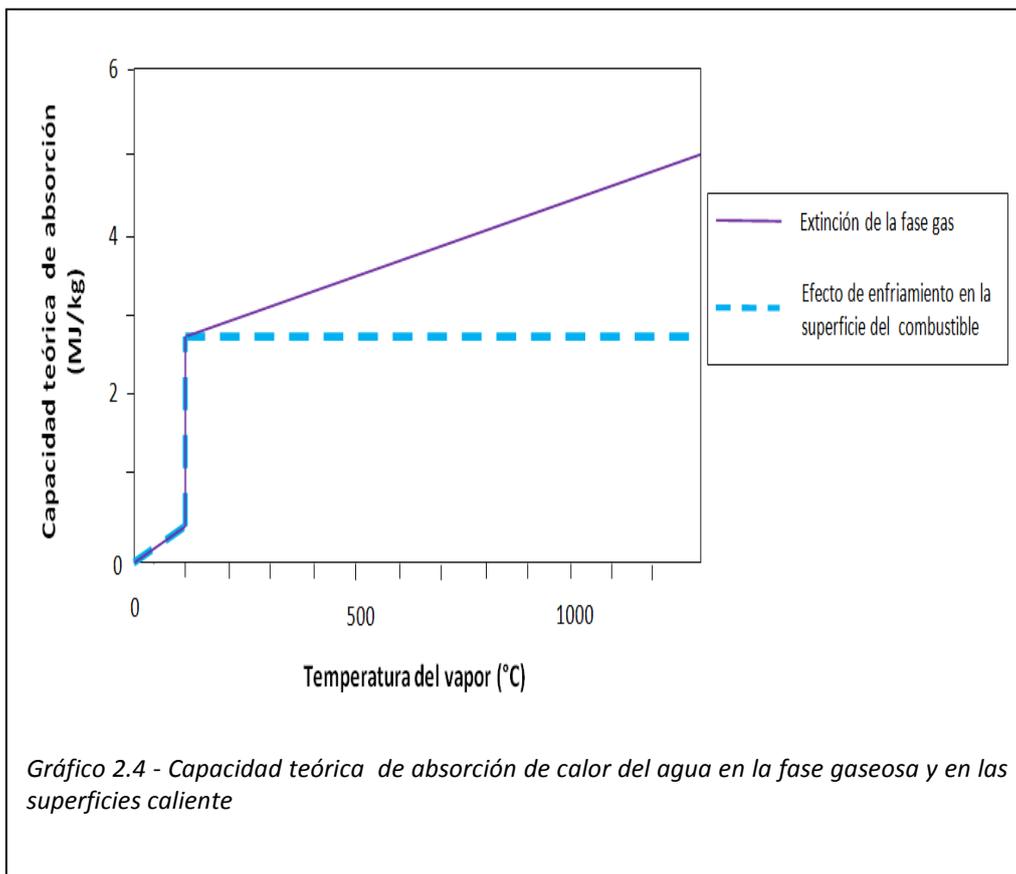
- Los cerramientos se refrigeran mejor con gotas más grandes
- La fase gaseosa se refrigera mejor con gotas pequeñas
- En general, la aplicación de gotas de mayor tamaño, al evaporarse una parte sobre los cerramientos, puede provocar una bajada de plano neutro mientras que si utilizamos gotas pequeñas, se puede conseguir una contracción del colchón de gases de incendio y por tanto una subida del plano neutro (ver punto 2.3.4 Técnicas de extinción).

El National Research Council (NRC) de Canada, presento el resultado de una investigación (Liu, Kashef, & Benichou, 2002) de la que destacamos:

“La ejecución de una estrategia de ataque a los gases del incendio viene normalmente determinada por las características de la lanza. (e.g., tamaño

y velocidad de la gota, ángulo del cono de pulverización y caudal), y de las técnicas de aplicación (ángulo de las descargas y duración de las mismas). Cuando utilizamos la técnica de ataque con agua pulverizada a la fase gaseosa, debemos utilizar una técnica de aplicación diferente a la utilizada en el caso de emplear un ataque directo o indirecto. En teoría, las gotas pequeñas son más eficientes que las gotas grandes refrigerando y diluyendo los gases de incendio. Esto se debe a su mayor superficie total disponible para facilitar la transferencia de calor y su evaporación. Cuando el diámetro de la gota se reduce de 1 mm a 0'1mm, la superficie total aumenta 10 veces, de 6 m² a 60 m² por cada litro de agua. Sin embargo, en ocasiones, las gotas son tan pequeñas que pueden ser desplazadas por las corrientes de convección propias de un incendio en un espacio cerrado, antes de tomar parte en el proceso de refrigeración.”

La efectividad del agua pulverizada aplicada a los gases calientes también está condicionada por el tiempo de residencia de las gotas en el seno de esos gases. A mayor tiempo de residencia, más tiempo para realizar el intercambio de calor y la consecuente evaporación y absorción de calor. El tiempo de residencia de diferentes chorros de agua pulverizada se puede estimar de manera aproximada haciendo una breve pulsación con la lanza. Para que una pulsación de agua pulverizada aplicada a los gases de incendio pueda considerarse efectiva, debería de permanecer en el aire entre 4 y 6 s, antes de tocar el suelo.



T (°C)	Diámetro de la gota (mm)				
	1	2	3	5	10
200	0'8 s	1'6 s	2'4 s	4'0 s	8'0 s
300	0'533 s	1'06 s	1'6 s	2'66 s	5'33 s
400	0'4 s	0'8 s	1'2 s	2'0 s	4'0 s
600	0'26 s	0'52 s	0'78 s	1'3 s	2'6 s
800	0'2 s	0'4 s	0'6 s	1'0 s	2'0 s
1000	0'16 s	0'32 s	0'48 s	0'8 s	1'6 s

Tabla 2.4 - Tiempo de vida (segundos) de las gotas de agua (Liu, Kashef, & Benichou, 2002)

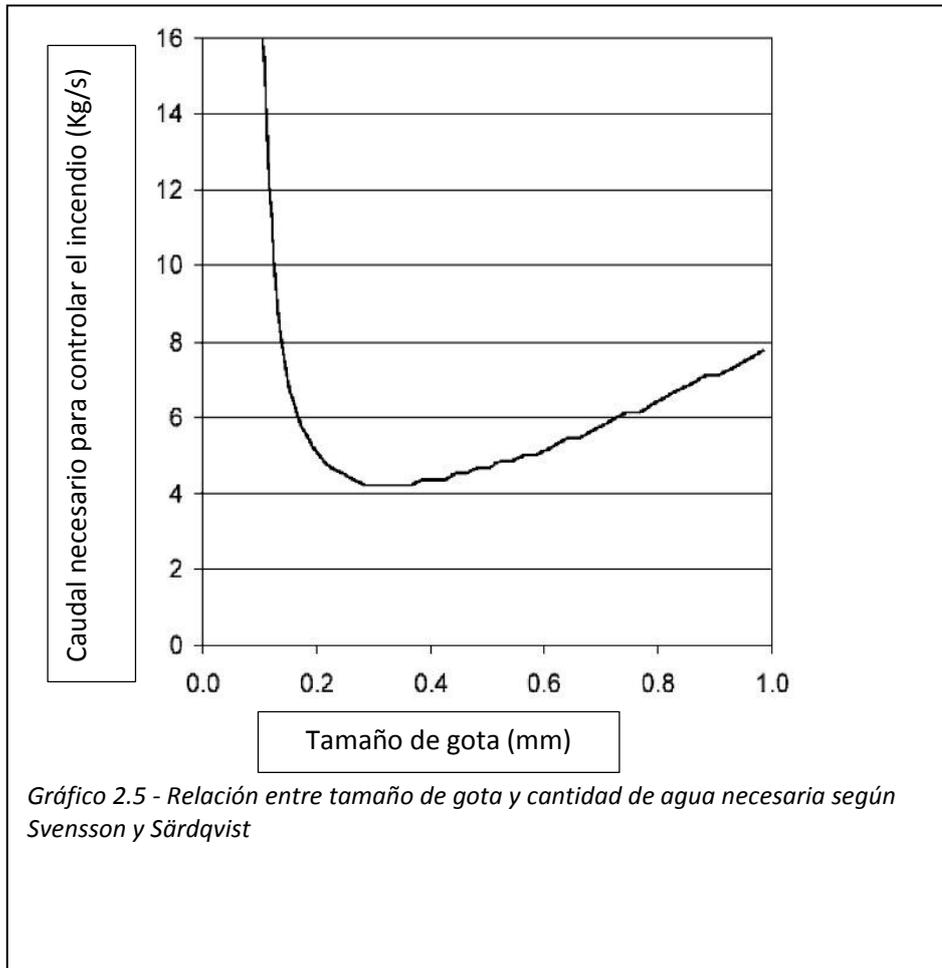
En la tabla anterior se observa que, por ejemplo, una gota de 1 mm que pasa a través de unos gases de incendio que se encuentren a 600 °C tardará en evaporarse por completo 2'6 segundos. En espacios pequeños, las gotas grandes podrán alcanzar paredes, techos y revestimientos, causando un exceso de vapor. En compartimentos grandes, las gotas pequeñas se evaporarán sin llegar a afectar a los cerramientos.

¿Cuánta agua se proyecta al hacer una pulsación con una lanza en un ataque a los gases del incendio? Depende del caudal, del tiempo que permanece abierto el paso y del grado de apertura de la válvula. Los bomberos hablan normalmente de tres tipos de pulsaciones: cortas, medias y largas. Una pulsación corta con una válvula parcialmente abierta puede durar solo medio segundo y descargar 0'2 litros. Una pulsación de tres segundos con un caudal de 570 lpm y con la válvula totalmente abierta puede proyectar 28 litros de agua pulverizada. Como se ve la variedad es muy amplia. El bombero que maneja la lanza debe de estar bien entrenado y tener la capacidad de interpretar las condiciones del incendio pudiendo así ajustar el modo y la cantidad de agua pulverizada proyectada, evitando un uso excesivo de la misma.

La gráfica 2.5 aparece en un trabajo de Svensson y Särndqvist (Svensson & Särndqvist, Fire test in a large hall, using manually applied high and low pressure water sprays, 2001). Svensson y Särndqvist utilizaron la aplicación Fire Demand Model (FDN) para demostrar la relación entre la demanda de agua y el tamaño de las gotas en un incendio real en un escenario de 60 m². Si el tamaño de gota aumenta por encima de 0'4 mm, el caudal necesario también aumenta. Según la gráfica, aproximadamente 0'3 mm es el tamaño de gota con el que se necesita menos agua para controlar un incendios, en las condiciones del experimento.

Fórmula de campo para el cálculo del Caudal Táctico (TFR)

Grimwood, en un trabajo (Grimwood, Fog Attack, 1992) basado en el estudio de 100 incendios ocurridos en Londres en 1989, determinó una gama de caudales empleados por los bomberos para hacer frente a este conjunto de incendios, todos importantes y en edificios de diferentes usos. Sus observaciones determinaron que caudales entre 200 y 400 lpm eran suficientes para extinguir con éxito incendios que se desarrollaban en locales con una superficie hasta 100 m². En ocasiones, con caudales menores se podían extinguir incendios en fase de decaimiento.



Este autor, basándose en investigaciones propias y de otros, ha deducido una fórmula de campo de fácil aplicación, general y sencilla:

$$A \times 4 = \text{lpm} \text{ (Grimwood, 1999) [ec. 2.4 - 3]}$$

$$A = \text{área afectada por el incendio en m}^2$$

Aplicando esta fórmula, el caudal necesario para extinguir con efectividad un incendio en fase de crecimiento que afecte a una superficie de 100 m² será de 400 lpm. Esta fórmula se base en una carga térmica promedio de locales de uso administrativo. Si la carga térmica fuese mayor, o afectase a elementos estructurales del recinto, el caudal debería incrementarse un 50 % (A x 6 = lpm).

Una investigación de Cliff Barnett para la SFPE NZ, comprobó la fórmula de Grimwood aplicando el test FLEDS (Fire Load Energy Densities) con el fin de observar hasta qué punto coincidían los resultados de Grimwood con los de sus propias investigaciones. Sorprendentemente, siendo enfoques de investigación distintos, los resultados se aproximaron hasta tal punto que Barnett decidió combinar ambos, uno basado en una

teoría científica meticulosa y otro basado en datos empíricos derivados de una amplia muestra de incendios reales. Los 200 a 400 lpm (carga térmica de un recinto administrativo) y 600 lpm se correspondían en el modelo de Barnett con 400 lpm y 800 lpm para recintos con una carga térmica de 1'220 MJ/m².

Se puede estudiar la relación entre la fórmula de Grimwood para el cálculo del TFR y otras desarrolladas en otros lugares.

Si se considera un recinto de 100 m², la fórmula lineal de la NFA propone 1350 lpm como caudal necesario para extinguir totalmente un incendio.

La fórmula utilizada es:

$$NFF = (L \times V)/3 \quad [ec. 2.4 - 4]$$

El Needed Fire Flow (NFF) es un término ISO. Para mayor información sobre su cálculo y aplicación, ver (Insurance Services Office, 2014).

Los resultados de la fórmula de la NFA pueden considerarse sobreestimados. Debe tenerse en cuenta que este método de estimación del caudal añade un factor de seguridad y se aplica a recintos en los que se fuerzan aperturas con el objetivo de ventilar el local y evacuar productos de combustión. Como es normal, esta ventilación permite un mayor aporte de comburente, lo que supone un incremento en la tasa de liberación de calor.

También debe tenerse en consideración que la fórmula de la NFA es una versión simplificada de la que aparece en el documento anteriormente referenciado, y que supone una intervención agresiva en el interior del recinto. Es una fórmula diseñada para cálculo de caudales utilizando el método de ataque directo, sobre la superficie del combustible. El exceso en el cálculo es todavía mayor en el supuesto en que no se fuerce la ventilación del local. Además, debe tenerse en cuenta que esta fórmula considera el caudal necesario tanto para la línea de ataque como para la línea de protección.

La investigación desarrollada por Svensson y Särndqvist (Svensson & Särndqvist, Fire test in a large hall, using manually applied high and low pressure water sprays, 2001) demostró que caudales de 113lpm no pudieron extinguir el incendio del local previsto en la investigación, de una superficie de 100 m², dentro del tiempo de control deseado (6 min.). De haber conseguido un control posterior, este habría sido ya en la fase de decaimiento. La misma investigación, demostró que con un caudal de 226 lpm durante la fase de crecimiento pudo controlarse en el tiempo deseado.

Un buen número de trabajos basados en datos empíricos procedentes de distintas fuentes ponen de manifiesto que la mayor parte de los incendios de interior, tienen una superficie inferior a 100 m², y se han podido extinguir con caudales inferiores a 600 lpm. Teniendo en cuenta todo lo anterior, Grimwood propone un TFR de 400 lpm para incendios de interior con una afectación de 100 m², considerando que se podrá utilizar ambos métodos, ataque directo a la superficie del combustible y ataque a los gases del

incendio. Si el incendio se hubiese propagado a elementos estructurales del recinto, el TFR podría incrementarse un 50 %, llegando a los 600 lpm por cada 100 m².

Grimwood también apunta que el método de enfriamiento de los gases de incendio, también llamado ataque 3D, debe limitarse a compartimentos en los que la superficie afectada no exceda los 70 m². Esta última opinión, no es compartida por todos los autores.

Existen varios estudios de investigación internacionales (Hunt & Roberts, 2004) para determinar el caudal a utilizar en un primer ataque con línea de baja presión. En algunos, se propone utilizar líneas de 51 mm, con caudales de 450 – 560 lpm. Estas investigaciones, tienen en cuenta aspectos importantes como:

- Caudal óptimo
- Maniobrabilidad
- Reacción de la lanza
- Desarrollo de la instalación

Estos trabajos, proponen el uso de estas líneas como primer ataque en recintos con una superficie máximo de 100 m². En el supuesto de un incendio mayor, con un desarrollo rápido o dominado por el viento, es posible que fuesen necesarias líneas de mayor caudal, pero debe tenerse en consideración que se superaría la fuerza de reacción que puede soportar un binomio, según lo visto en el punto 2.4.1.

2.5 FACTORES LIMITANTES

La determinación de un modo de trabajo o de un procedimiento de intervención concreto viene condicionado por una serie de parámetros de diferente naturaleza. Estos parámetros deben ser estudiados minuciosamente ya que pueden afectar a aspectos relacionados con la seguridad, la eficacia e incluso la legalidad.

Decidir el tipo de instalación a utilizar en un incendio de interior, el modo de trabajo en el que debe operar la bomba, cual ha de ser el caudal suministrado y otras cuestiones relacionadas, supone definir unos condicionantes de partida a los que llamamos factores limitantes y que van a condicionar cada uno de los aspectos que deben quedar definidos en los procedimientos de trabajo.

A continuación, se van a comentar algunos de esos factores que se consideran más importantes. Todos ellos limitan las posibilidades y estrechan el camino que llevará a la definición de una instalación para extinción de incendios de interiores, pero al mismo tiempo marcarán los puntos de referencia que permitirán alcanzar un resultado realista, útil, práctico y ejecutable.

2.5.1 Prestaciones de la bomba

La decisión sobre el tipo de instalación a utilizar estará condicionada por las prestaciones de la bomba empleada. Como se puede ver el punto 3.1 de la sección de materiales, las

bombas operan en dos modos de funcionamiento, alta presión (AP) y baja presión (BP). Estos dos modos de operar suponen prestaciones diferentes.

Si opera en AP, se podrá disponer de presiones elevadas a la salida de la bomba, pudiendo alcanzarse valores próximos a los 50 bar. Por el contrario, en este modo de trabajos el caudal se ve muy limitado. Ambos factores, caudal y presión se verán condicionados por la curva resistente a la que debe de enfrentarse la bomba.

Operando en BP, la situación es la contraria. Se dispone de un caudal muy superior, pero a una presión que difícilmente superará los 18 bar. Todo ello puede apreciarse observando la gráfica 3.1.

Como puede deducirse, la bomba es un factor limitante de primer orden. No podrá definir instalaciones de extinción en las que se demanden prestaciones en cuanto a presión y caudal, por encima de las máximas que puedan ofrecer las bombas.

2.5.2 Presión de trabajo de las mangueras

Las mangueras descritas en el punto 3.2 tienen una presión máxima de trabajo que viene limitada por la presión nominal marcada por los fabricantes y condicionadas por las correspondientes normas UNE de aplicación a estos materiales. Las presiones nominales son diferentes, dependiendo del diámetro de las mangueras. Los valores concretos aparecen en la tabla 3.1 como presiones de trabajo.

Evidentemente se podrán utilizar instalaciones de extinción en las que se superen en algún momento dichas presiones nominales.

2.5.3 Instalación con línea de ataque y línea de seguridad

En los métodos de extinción tratados anteriormente solo se ha considerado la utilización de una única línea de ataque manejada por un binomio de intervención.

Sin embargo, considerando los riesgos asumidos por ese binomio desde el momento en el que penetra en un recinto incendiado, es muy recomendable disponer de una línea de seguridad de las mismas características y prestaciones que la de ataque. Esta línea de seguridad queda en el punto base a disposición de otro binomio, o al menos de un bombero, para poder ser utilizada en el supuesto de que el binomio de ataque tenga problemas que afecten a su seguridad.

La implantación de este modo de trabajo, línea de ataque más línea de seguridad, supone aumentar el caudal a suministrar por la bomba en caso de emergencia. Es decir, todo lo comentado anteriormente sobre caudales críticos y caudales tácticos, debe considerarse bajo la posibilidad de utilizar dos líneas al mismo tiempo.

2.5.4 Definición de caudales

No habiendo documento legal que regule en España lo que en este trabajo se ha definido con caudal crítico o táctico, cada cuerpo de bomberos debería definir cuál es el caudal que consideran oportuno para intervenir en incendios de interiores.

Debería descartarse caudales suministrados a una presión que suponga una fuerza de reacción en la lanza superiores a la manejable por un binomio, que como se vio en el punto 2.4.1 no debería superar los 333 N. Se vio también que esa reacción se correspondía con un caudal de 560 lpm suministrado a 7 bar.

Ahora bien, por debajo de este valor debería definirse cuál es el caudal que debe tener a su disposición el binomio de ataque. Resulta complicado definir un caudal fijo, ya que la distancia desde la bomba al incendio, la cota del mismo y las prestaciones de la bomba hacen que ciertos caudales sean inalcanzables en situaciones concretas. Lo más prudente en este caso, es definir el caudal como deseable, es decir como un objetivo al que es deseable aproximarse en la media de lo posible. La altura a la que sea necesario suministrar agua, condicionará su caudal si supera las prestaciones de la bomba.

2.6 PROPUESTA DE POSIBLES INSTALACIONES EN ALTA Y BAJA PRESIÓN

Dado que el objetivo principal de este trabajo es determinar qué tipo de instalación y qué modo de trabajo permite obtener un caudal en cantidad y calidad suficiente para poder hacer frente a la extinción de incendios de interior, llegados a este punto es necesario proponer una serie de instalaciones sobre las que poder realizar las pruebas necesarias que permitan concluir que instalación es la más eficaz.

Desde la bomba hasta el lugar del incendio, se podrá hacer una instalación utilizando mangueras de diferentes diámetros, 25, 38, 45 y 70 mm. Además, se deberá considerar la posibilidad de operar en el modo baja presión o alta presión, y todo ello, condicionado por los factores limitantes tratados en el punto anterior.

Las pruebas que se van a presentar en este trabajo se han realizado sobre la siguiente propuesta de instalaciones:

- **Instalación 1:** Instalación de 45mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en BP.
- **Instalación 2:** Instalación de 45mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en AP.
- **Instalación 3:** Instalación de 25mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en AP.
- **Instalación 4:** 70 mm o 45 mm hasta el punto de acceso, 70 mm o 45 mm hasta el punto base con línea de ataque de 45 mm o 38 mm y línea de seguridad 45 mm o 38 mm, trabajando en BP.

“Te protegería de cualquier infierno que intentará acercarse a ti”

Elizabeth Kostova

3 MATERIAL

3.1 BOMBAS

Para la extinción de incendios de interiores, los servicios contra incendios pueden utilizar como equipos de impulsión bombas acopladas a instalaciones de protección fijas o, en el caso más frecuente, bombas centrífugas acopladas en vehículos cisterna. La utilización de equipos de extinción ajenos a los cuerpos de bombero se limita, en la mayoría de casos, a intervenciones en instalaciones industriales.

Los cuerpos de bomberos disponen de diferentes marcas y modelos de bombas contra incendios. En las pruebas realizadas en este trabajo se han utilizado dos bombas centrífugas diferentes:

- Rosenbauer NH 30
- Godiva 2700

Ambas son de uso habitual en los servicios contra incendios y tienen una calidad y prestaciones contrastadas.

La posibilidad de montaje es muy amplia. En los vehículos donde se montan, se buscan motorizaciones de potencia más que suficiente. En los pliegos de condiciones técnicas redactados para la adquisición de los vehículos autobomba, se exigen unos caudales y presiones nominales determinados. Es trabajo del carroceros acoplar la caja multiplicadora necesaria para conseguir esos caudales y presiones nominales a las rpm de motor en las que entregue potencia suficiente en su zona de par máximo y todo ello sin sobrepasar las rpm máximas de diseño de la bomba. Ambas bombas cumplen la norma UNE – EN 1028 – partes 1 y 2. Las autobombas cumplen la norma UNE – EN 1846 – partes 1, 2 y 3.

3.1.1 Bomba centrífuga Rosenbauer NH 30

La bomba Rosenbauer NH 30 utilizada en las pruebas está montada sobre un vehículo con una potencia de 195 KW a 2.100 rpm y un par motor máximo de 990 Nm a 1.000 – 1.600 rpm. La bomba se compone principalmente de la carcasa, impulsores, eje, difusores y empaquetadura.

El agua entra en el rodete procedente de la entrada de aspiración. Este proceso se denomina aspiración axial, ya que el agua fluye en dirección al centro del eje. Posteriormente es desviado por el rodete. Aquí se produce una deflexión de 90 grados y sale del rodete en dirección perpendicular al eje. Por tanto se produce una descarga radial.

La salida del agua depende principalmente del efecto de la fuerza centrífuga. Existe una holgura entre el rodete y el difusor. Éste es estacionario y fijo al cuerpo de la bomba. La holgura es necesaria para prevenir el rozamiento entre ambos.

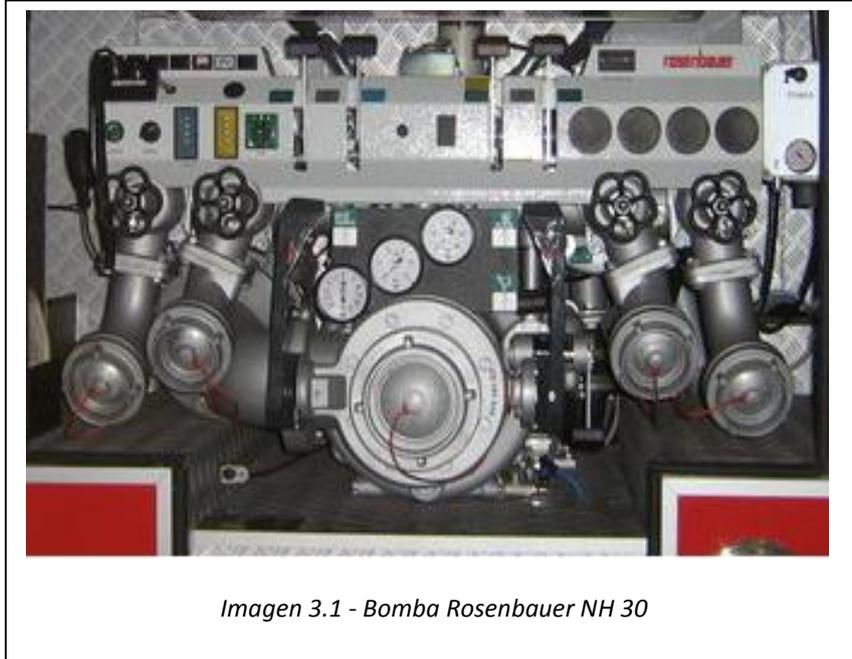
Las características de sistema hidráulico son:

Marca	Rosenbauer
Tipo	Centrífuga combinada de alta y baja presión
Modelo	NH 30
Características H de aspiración 3m	Baja presión $P_N= 10$ bar $Q_N= 3000$ lpm Alta presión $P_N= 40$ bar $Q_N= 400$ lpm
Material	Aleación ligera
Sentido de giro	Derechas
Aspiración exterior	\varnothing 100 mm con racor STORZ
Aspiración desde tanque	Válvula de mariposa \varnothing 125 mm
Salida de impulsión (BP)	4 salidas de \varnothing 70 mm con válvulas autocebantes
Salida de impulsión (AP)	2 salidas de \varnothing 25 mm
Accionamiento	Transmisión desde la toma de fuerza

La energía de una corriente líquida consta de componente cinética y componente de presión. La componente cinética puede transformarse en presión.

El agua sale del impulsor con una velocidad muy alta; la transformación de velocidad a presión tiene lugar en el difusor.

Las canalizaciones están dimensionadas de forma que la componente de velocidad en la salida de impulsión sea tan pequeña, que pueda despreciarse en comparación con la componente de presión. Por tanto la altura de aspiración de la bomba solo se compone de la suma de las indicaciones del manómetro y del vacuómetro.



La etapa de baja presión y las tres de alta presión están montadas en serie sobre el eje de la bomba. La disposición opuesta de los rodetes de alta presión y de baja presión proporcionan un equilibrio de la carga axial. Esto garantiza un desgaste mínimo y una duración máxima de los cojinetes del eje de la bomba.

El eje está fabricado en acero inoxidable y gira en la caja de engranajes apoyado en dos cojinetes de bolas y en el cuerpo de bomba apoyado en un cojinete de agujas. La empaquetadura se encarga de dar la estanqueidad necesaria en ambos lados de la bomba (aspiración e impulsión).

Dispone de dos modos de funcionamiento, baja presión (BP) y alta presión (AP). Si solo se necesita baja presión, es recomendable conectar solo esta etapa ya que se obtiene un mejor rendimiento de la baja presión. Si se abre la conexión entre la parte de alta y la de baja, es posible trabajar en alta y baja presión simultáneamente.

La bomba dispone de una válvula térmica tarada a 70 °C como sistema de protección ante un aumento excesivo de la temperatura en el cuerpo de baja presión. Con ésta, se evitan problemas de cavitación en caliente. El cuerpo de alta no dispone de esta medida de protección.

3.1.2 Bomba centrífuga GODIVA GMA 2700

La bomba GODIVA GMA 2700 utilizada en las pruebas está montada sobre un vehículo con una potencia máxima de 354 CV y un par motor máximo de 1600 Nm a 1.100 rpm.

Las características de sistema hidráulico son:

Marca	GODIVA
Tipo	Centrífuga combinada de alta y baja presión
Modelo	GMA 2700
Características H de aspiración 3m	Baja presión $P_N= 8 \text{ bar}$ $Q_N= 2700 \text{ lpm}$ Alta presión $P_N= 35 \text{ bar}$ $Q_N= 300 \text{ lpm}$
Material	Aleación ligera
Sentido de giro	Derechas
Aspiración exterior	$\varnothing 100 \text{ mm}$ con racor STORZ
Aspiración desde tanque	Válvula de mariposa $\varnothing 125 \text{ mm}$
Salida de impulsión (BP)	2 salidas de $\varnothing 70 \text{ mm}$ – 2 salidas de $\varnothing 45 \text{ mm}$
Salida de impulsión (AP)	2 salidas de $\varnothing 25 \text{ mm}$
Accionamiento	Transmisión desde la toma de fuerza

La bomba de dos etapas Godiva, es una bomba de presión. Puede usarse para caudales elevados, salidas de baja presión, o para caudales pequeños con salida a alta presión, o también para ambos tipos simultáneamente.

Dispone de un rodete para baja presión y otro para alta presión montados en un solo eje de acero inoxidable apoyado en dos cojinetes. Cuando la bomba está funcionando, siempre es posible conseguir un caudal a baja presión, pero las altas presiones sólo se pueden conseguir si la válvula de selección altas presiones está en la posición "abierto". La salida de alta presión está separada de las salidas de baja y se encuentra adosada en uno de los lados de la bomba.

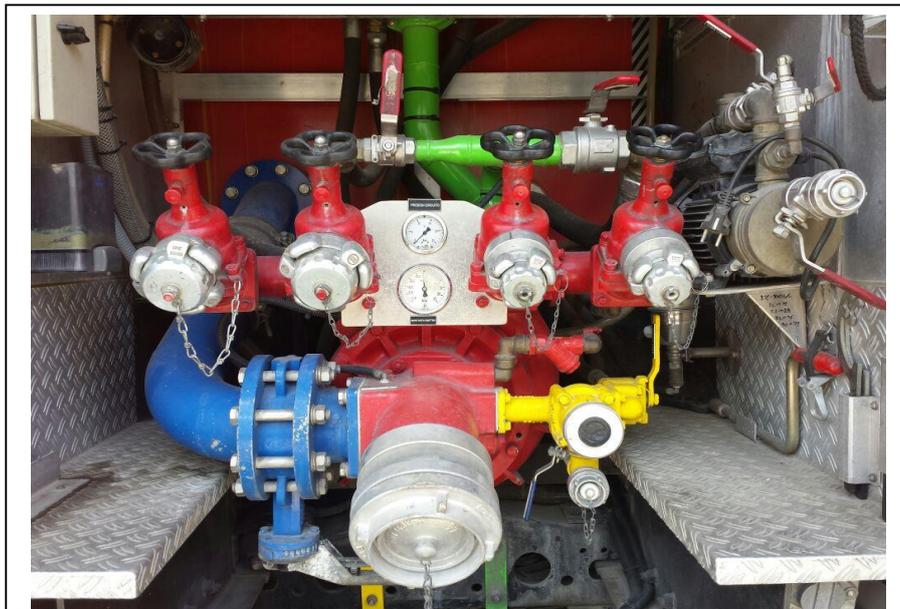
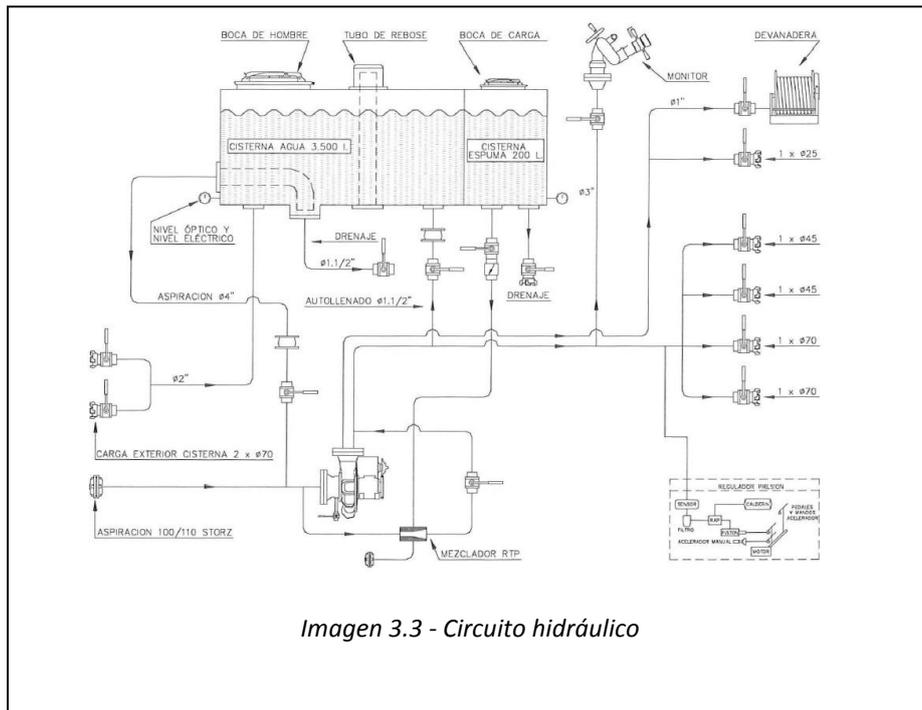


Imagen 3.2 - Bomba Godiva

Una válvula by-pass permite la circulación de una pequeña cantidad de agua de regreso al tanque, para prevenir al sobrecalentamiento de la bomba en el caso de trabajar con altas presiones contra las válvulas de descarga que se encuentran cerradas en esos momentos. En cualquier caso, debe evitarse el operar en alta presión con las válvulas de descarga de alta presión cerradas.

Dispone de válvula de alivio que refrigera el cuerpo de baja de forma automática evitando sobrecalentamientos. También se incorpora una válvula de purga, la cual, cuando la bomba está cerrada, purga la válvula by-pasa para evitar la congelación, cuando el tiempo es frío.



Una válvula de descarga permite al agua que entre en la etapa de alta presión, mientras que se está operando en bajas presiones, volver al tubo de aspiración con una presión mínima, de forma que se evite la generación de altas presiones, que absorberían potencia innecesariamente.

La bomba gira en la dirección de las agujas del reloj, mirado desde el final de la transmisión. El árbol de transmisión de la bomba, que se mueve sobre cojinetes de rodillos en baño de aceite, es de acero inoxidable.

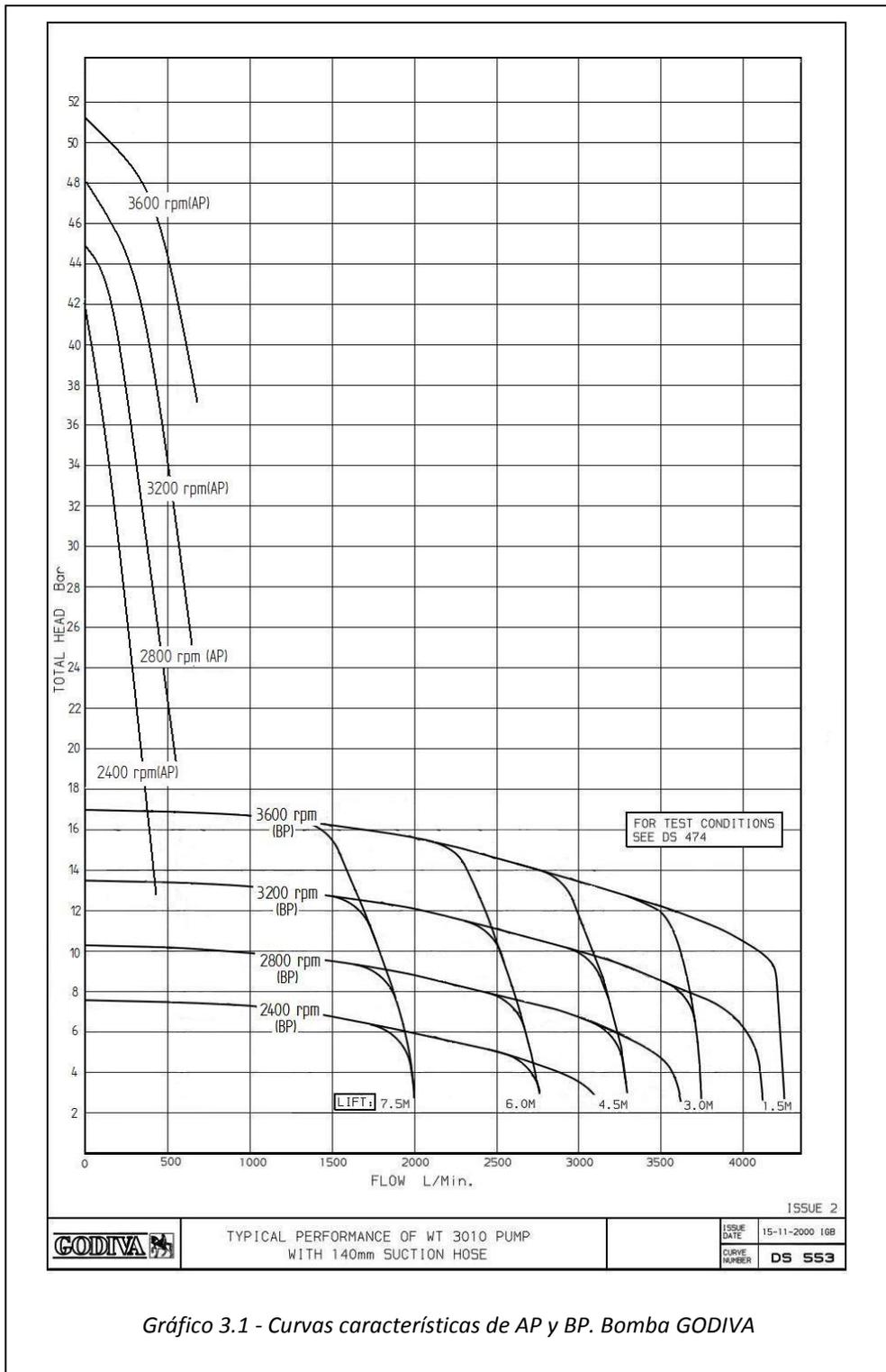


Gráfico 3.1 - Curvas características de AP y BP. Bomba GODIVA

3.2 MANGUERAS

Las mangueras de impulsión utilizadas en las pruebas necesarias para la realización de este trabajo, son las que según norma se definen como manguera de impulsión para lucha contra incendios, flexible plana para servicio duro.

Se han utilizado mangueras de diámetro 25 mm, 38 mm, 45 mm y 70 mm.

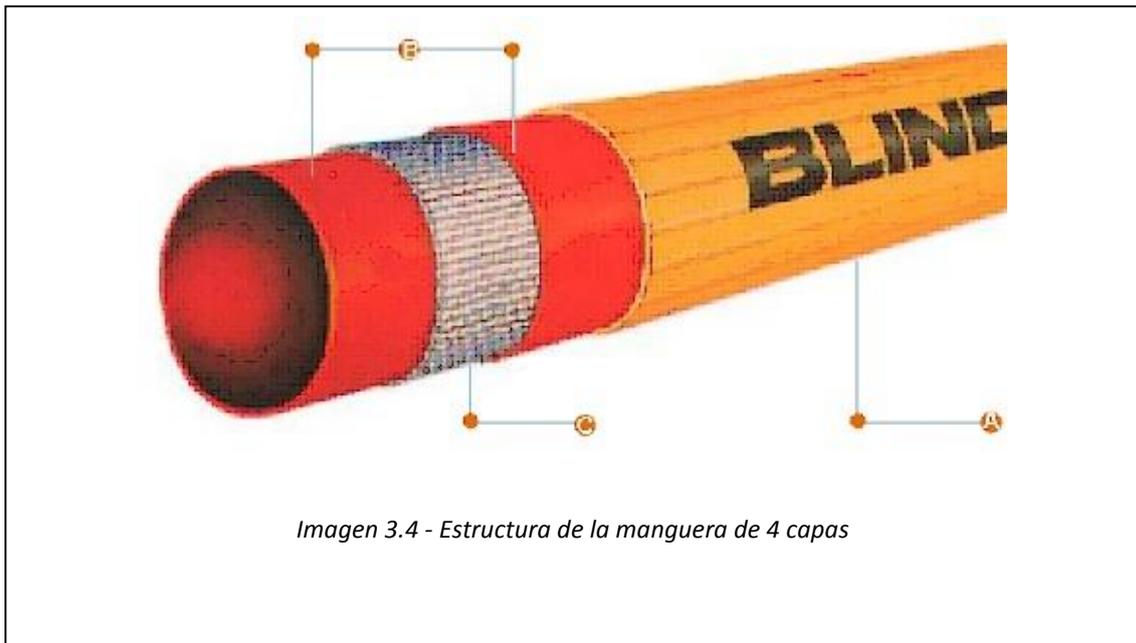
Cumplen las especificaciones y ensayos definidos en la norma UNE 23-091-89 Parte 1, UNE 23-091-81 Parte 2 B, UNE 23-091-90 Parte 4 y UNE 23-91-94 Parte 4.

Es necesario aclarar que el diámetro 38 mm no se contempla en las normas UNE, si bien el material utilizado cumple otros estándares como BS y DIN.

3.2.1 Mangueras de cuatro capas

Las mangueras de este tipo empleadas en las pruebas están fabricadas de tejido circular, de hilo de alta tenacidad, totalmente protegido e impermeable por una capa de caucho nitrílico sintético de alta resistencia formando una construcción homogénea de tres capas sin uso de adhesivos de ningún tipo. Una cuarta capa de hupalón dota a la manguera de una alta protección externa.

En las pruebas se han utilizado mangueras de diámetro 25 mm, 38 mm, 45 mm y 70 mm de cuatro capas cuya composición y estructura responde a la siguiente imagen:



- A. Capa de protección exterior fabricada en hupalón. De color amarillo para mejorar la visibilidad. Con estrías para proteger la manguera y facilitar su deslizamiento.
- B. Mezcla especial de caucho sintético. Muy flexible y estudiada para dar un acabado liso interior. Esta mezcla embebe el tejido de refuerzo y lo bloquea formando un cuerpo único con el mismo y con la capa exterior. El objetivo es

combinar flexibilidad con mínima pérdida de carga minimizando el riesgo de perforación o corte.

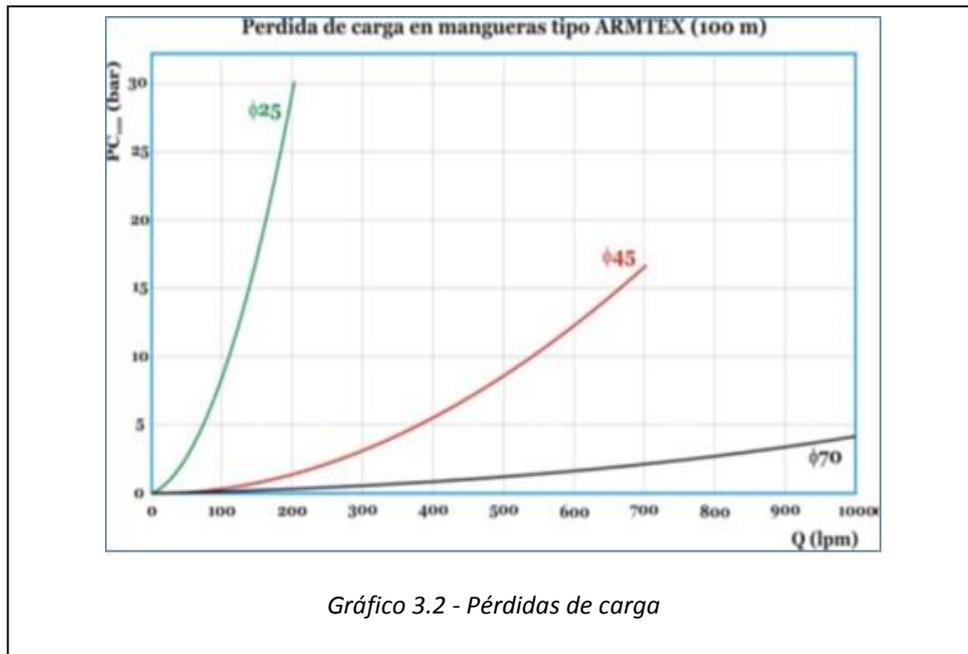
- C. Fibras sintéticas de alta tenacidad. Trama y urdimbre se entrecruzan ligando un tejido consistente y ligero, libre de tensiones o nudos.

Las características principales de estas mangueras son:

Diámetro interno (mm)	Presión de trabajo (KPa)	Presión de rotura (KPa)	Grosor (mm)	Peso (gr/m)	Radio curvatura
25	4000	120000	2.1	220	900
38	2100			350	
45	2100	6300	2.2	410	1200
70	1750	5250	2.5	700	1400

Tabla 3.1 - Características de las mangueras de 4 capas

Las pérdidas de carga para cada uno de los diámetros pueden observarse en el siguiente gráfico:



La manguera es resistente al agua marina así como a la contaminación por la mayoría de sustancias químicas, aceites, hidrocarburos, corrosivos (el fabricante ofrece una tabla de resistencias).

La manguera, a una presión estática de 700 KPa, puede soportar una temperatura de 600 °C un mínimo de 60 segundos sin romper o dañar el refuerzo sintético.



3.2.2 Mangueras de tres capas

En las pruebas se han utilizado mangueras de este tipo en diámetros de 38 mm y 45 mm. La capa exterior está fabricadas de tejido circular, de hilo de alta tenacidad, 100 % poliéster de alta resistencia a la abrasión. La capa interior garantiza una superficie lisa con baja fricción, compuesta por una capa interior de caucho sintético SBR y una capa adhesiva NBR sintética.

Las características principales de estas mangueras, son:

Diámetro interno (mm)	Presión de trabajo (KPa)	Presión de rotura (KPa)	Grosor (mm)	Peso (gr/m)
38	2000	6000	1.5	200
45	2000	6000	1.5	250

Tabla 3.2 Características de las mangueras de 3 capas

Estas mangueras cumplen las normas DIN 14811, BS 6391:2009 Type 1, rEN 1924 clase 2.



3.3 LANZAS

En las pruebas realizadas en este trabajo se han utilizado lanzas de dos diámetros, 25 mm y 38 mm.

3.3.1 Lanzas de caudal regulable

Se ha utilizado una lanza de 25 mm, marca Akron, modelo 1702 de caudal regulable. Actuando sobre la rueda giratoria de selección de caudal se pueden obtener, 50 lpm, 100 lpm, 150 lpm y 230 lpm, siempre que la presión a la entrada de la lanza se mantenga en 7 bar. Su peso es de 1'4 kg y se conecta mediante un racor Barcelona de 25 mm.

La versión de 38 mm es también de la marca Akron, modelo 1720, que actuando del mismo modo permite obtener caudales de 115 lpm, 230 lpm, 360lpm y 475 lpm, también a 7 bar. Su peso es de 1'8 kg y se conecta mediante racor Barcelona de 45 mm.



A la presión de 7 bar, se consigue un tamaño de gota correcto (aprox. 0'3 mm) con un alcance suficiente y una capacidad de evaporación elevada.

Ambas lanzas cumplen las normas UNE – EN 15182-1:2007 A1 y UNE – EN 15182-2:2007 A1 siendo por tanto, de acuerdo con estas normas, para uso a una presión nominal de 15 bar.

Además, cumplen también la norma NFPA 1964 - 1998, Standard for Spray nozzles (shutoff and Tip).

3.3.2 Lanza automática

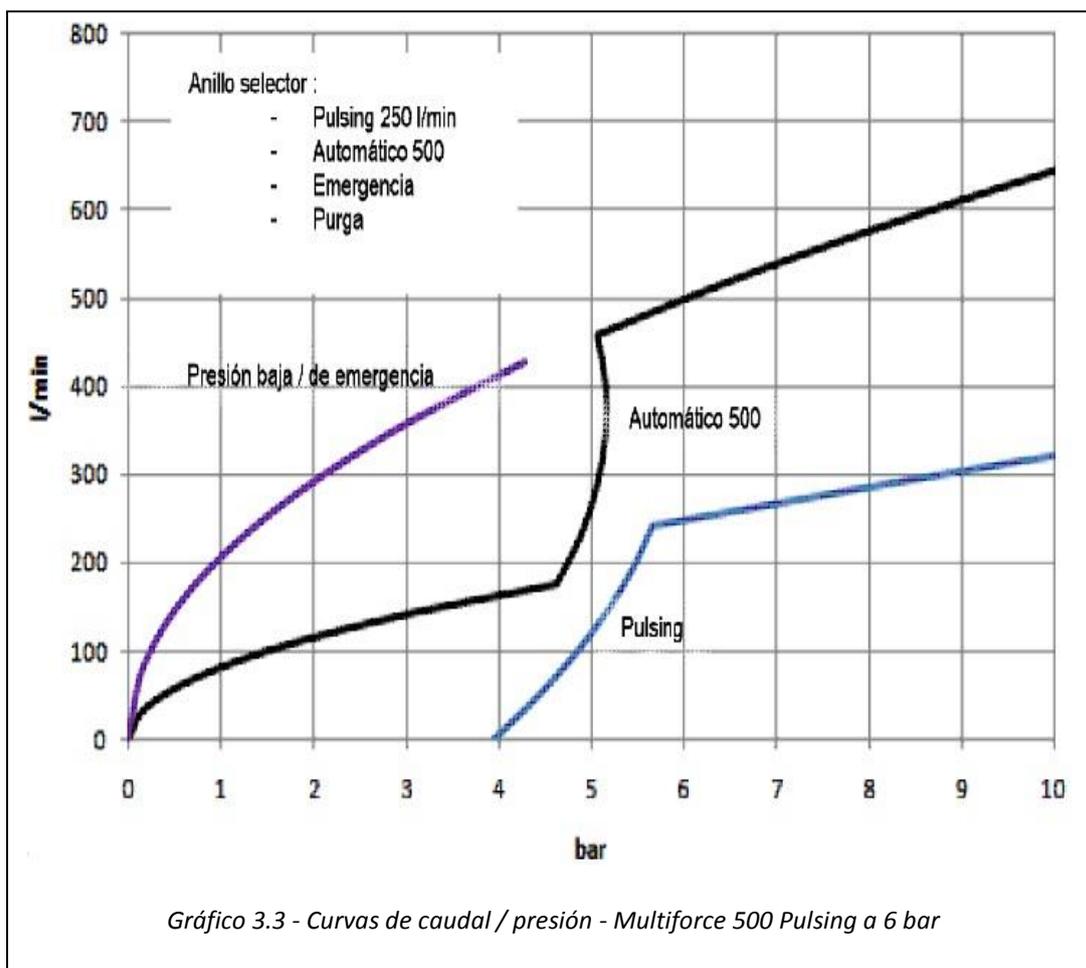
Se ha utilizado también la lanza automática marca G Force, modelo Multiforce 500 pulsing. Actuando sobre la rueda giratoria de selección de caudal se pueden obtener, 250 lpm y 500 lpm a una presión de 6 bar.



Imagen 3.10 - Lanza G Force automática de 38 mm

Esta lanza actúa con llave deslizante, por lo que se consigue una reacción a la apertura más rápida con buena calidad desde el momento inicial. Esta lanza automática dispone de un resorte interno que actúa modificando la sección equivalente de salida de manera que, ante subidas de presión provocadas por ejemplo por el cierre de otras líneas, intenta mantener la presión en la lanza a 6 bares, siempre que se trabaje dentro de los límites de actuación de dicho resorte. Lo anterior se puede observar en el gráfico 3.3.

Cumple la norma EN 15182 – 2 tipo 4,2 además de NFPA 1964 – 1998.



3.4 BIFUCACIONES Y REDUCCIONES

Se han utilizado reducciones 70 mm / 45 mm y 45 mm/25 mm. Ambas reducciones son con racor tipo Barcelona, cumpliendo normas UNE 23400 – 1, UNE 23400 – 2, UNE 23400 – 3 y UNE 23400 – 5.

Se han utilizado dos tipos de bifurcaciones diferentes: bifurcación con entrada de 70 mm y dos salidas de 45 mm, y bifurcación con entrada de 45 mm y dos salidas de 25 mm, Ambas bifurcaciones con conexiones racor tipo Barcelona y llaves de paso de esfera.



Imagen 3.14 - Bifurcación 70 mm / 45 mm



Imagen 3.15 - Bifurcación 45 mm / 25 mm



Imagen 3.12 Reducción 70 mm / 45 mm



Imagen 3.13 - Reducción 70 mm / 45 mm

3.5 PESATOMAS

Los pesatomas son los elementos que permiten tomar medidas de presión manométrica. Estas piezas se conectan mediante racor Barcelona normalizado. Se han empleado en tres diámetros diferentes: 25 mm, 45 mm y 70 mm.

Las medidas de presión se toman sobre un manómetro tipo Bourdon con esfera de glicerina conectado a la pieza mediante una rosca de $\frac{1}{4}$ ". Es necesario tener presente el intervalo de presiones en el que se trabaja y la exactitud que se requiere. En nuestro caso, las presiones a tomar en nuestro caso varían entre 1 bar y 55 bar.



Imagen 3.16 - Pesatomas de 45 mm con manómetro Bourdon

El principio de medida en el que se basa este instrumento es el sensor conocido como tubo Bourdon. El sistema de medida está formado por un tubo aplanado de bronce o acero, cerrado, en forma de "C" de $\frac{3}{4}$ de circunferencia para la medición de bajas presiones, o enrollado en forma de espiral para la medición de bajas presiones y que tiende a enderezarse proporcionalmente al aumento de la presión; este movimiento se transmite mediante un elemento transmisor y multiplicador que mueve la aguja indicadora sobre una escala graduada. La forma, el material y el espesor de las paredes depende de la presión que se quiera medir.

La exactitud de este tipo de manómetros depende en gran parte del tubo, por esa razón sólo deben emplearse tubos fabricados con las normas más estrictas y envejecidos cuidadosamente por los fabricantes. El elemento de transmisión incorpora una biela para su ajuste.

Por su diámetro, es decir por el tamaño de la esfera en la que puede leerse la indicación de la presión para la que está diseñado el aparato, los más corrientes son los siguientes diámetros nominales en mm.: 40, 50, 63, 80, 100, 160 y 250 mm.

En este trabajo se han empleado manómetros de diámetros 40 y 50 mm. Son habitualmente utilizados en conducciones para presiones comprendidas entre 2,5 bar y 60 bar.

En este trabajo los pesatomas se han utilizado para medir pérdidas de carga entre diferentes puntos de una instalación, pudiendo así comprobar la coincidencia o no entre los datos relativos a pérdidas de carga ofrecidos por los fabricantes de manguera y los tomados en pruebas de campo.

También se han utilizado conectados justo antes de la lanza para así poder controlar y medir los caudales obtenidos con los diferentes tipos de instalaciones. Se debe recordar

que los fabricantes de lanzas garantizan los caudales señalados por el anillo selector, a una presión concreta.

La norma aplicable para los manómetros Bourdon es la UNE-EN 837-1.

3.6 ELEMENTOS DE TRANSPORTE

3.6.1 Bolsa portamangueras tipo trineo

La bolsa portamangueras se utiliza para el transporte y despliegado de mangueras, normalmente desde la bomba al punto base. Tiene una capacidad de 78 litros, con unas medidas de 780 x 415 x 265 mm, suficientes para transportar tres tramos de 20 m de manguera de 45 mm.

Dispone de cuatro asas ergonómicas, dos a cada lado, para su transporte “al aire” es decir sin contacto con el suelo. En cada uno de los dos extremos dispone de asas para arrastre. Si se utiliza esta modalidad de transporte, el fondo de la bolsa no sufre en exceso ya que en la parte inferior está equipada con tres refuerzos tipo trineo.



Imagen 3.17 - Bolsa portamangueras tipo trineo

Con un plegado de manguera en Z, permite el desarrollo de la instalación de manera rápida y cómoda. Si se utiliza para instalar desde la bomba hacia el punto base, el peso transportado será cada vez menor.

El fondo está reforzado y dispone de agujeros de drenaje. Su peso es de 3'4 Kg y está diseñada para transportar un peso máximo de 35 kg.

3.6.2 Cesta de transporte

Este elemento tiene capacidad para transportar tres mangueras de 45 mm de 20 metros cada una. Se utiliza habitualmente para el transporte de mangueras, o para instalar desde la bomba hasta el punto base.

Con un plegado en Z, permite un despliegue cómodo y rápido.



Imagen 3.18 - Cesta de transporte

Fabricada en aluminio, tiene unas medidas de 870 x 145 x 520 y un peso de 4'2 kg. Los paneles laterales disponen de apertura mediante bisagra. Cumple la norma DIN 14827 – 1:2005 – 12.

3.6.3 Arnés de transporte para línea de ataque o seguridad

Este elemento se utiliza para el transporte de las líneas de ataque y seguridad, que son las que se utilizan desde el punto base hasta el foco de incendio. Está confeccionado con cinta de material sintético y cierres rápidos.



3.6.4 Bolsa de transporte para línea de ataque o seguridad

Esta bolsa tiene un uso similar al arnés interior.

Es una buena solución tanto para almacenamiento como para despliegue y desarrollo de instalaciones. Admite mangueras hasta de 50 mm, Dispone de una cremallera de doble apertura. La manguera interior se pliega y se sujeta con dos cintas. Fabricada en poliéster, tiene un tamaño de 870 x 520 x 70 mm, con un volumen de 31 lt y un peso de 1 kb .



Imagen 3.20 - Bolsa de transporte

“Los que se enamoran de la práctica sin teoría son como los pilotos sin timón ni brújula, que nunca podrán saber a dónde van”

Leonardo da Vinci (1452 – 1519)

4 MÉTODO

Con el fin de alcanzar los objetivos marcados, se han diseñado una serie de pruebas prácticas desarrolladas en distintos locales.

Siendo el objetivo principal de este trabajo definir el tipo de instalación y modo de trabajo más indicado para hacer frente a incendios de interiores, la mayor parte de las pruebas se ha desarrollado en edificios de diferentes alturas.

Para evaluar el tipo de instalación ideal, se han determinado los caudales y presiones obtenidos a diferentes alturas, probando las diferentes instalaciones descritas en el punto anterior. Para ello, se colocaron pesatomas a la salida de la bomba y en la lanza. La colocación del pesatoma en la lanza permite utilizar la misma como caudalímetro.

Otras pruebas tuvieron como objetivo comprobar la coincidencia de los valores de pérdidas de carga de las mangueras, proporcionadas por los fabricantes, con valores reales de medidas de campo.

También se realizó una prueba para valorar el calentamiento de los cuerpos de bomba cuando se utilizan en sus dos modos de uso, alta presión y baja presión. Esta prueba permitió estimar el riesgo de cavitación en caliente.

A continuación, se va a describir cada una de las pruebas y el método utilizado.

4.1 PRUEBA 1

La prueba 1 fue un test preliminar para poder recoger una información de partida que permitiese diseñar las siguientes pruebas. Se realizó en un edificio de 21 plantas, en el que se pudo proyectar agua en sus plantas 13 y 21.

En esta ocasión, se probaron las instalaciones 1 y 2, tanto en la planta 13 como en la 21:

- **Instalación 1:** Instalación de 45mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo de 20 metros, trabajando en BP.
- **Instalación 2:** Instalación de 45mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo de 20 metros, trabajando en AP.

En todos los casos la instalación se hizo en pendiente. Se tomaron presiones a la salida de la bomba y a la entrada de la lanza. Como ya se ha visto en el apartado dedicado a materiales, las lanzas utilizadas ofrecen el caudal marcado en el anillo selector a una presión de 7 bar. En las pruebas, las presiones alcanzadas en ocasiones no llegaron a ese valor, siendo en caudal conseguido menor que el indicado por el anillo selector. Para valorar el caudal real, se procedió del siguiente modo:

- A partir de la ecuación:

$$Q = K\sqrt{P} \text{ [ec. 4.1]}$$

y sabiendo que a 7 bar, el caudal es el indicado en el anillo selector de caudales, se determina el valor de K para cada uno de esos caudales despejando K en [ec. 4.1].

- Conocida K, los caudales obtenidos a diferentes presiones en una posición del anillo selector de caudal determinada, se obtiene por medio de la [ec. 4.1] sustituyendo el valor concreto de K, y el valor de la presión medido en el pesatoma de entrada de la lanza.

Este método de cálculo de caudal, se utilizó en todas las pruebas en las que la presión obtenida en punta de lanza no alcanzó los 7 bar.

4.2 PRUEBA 2

Este ensayo se desarrolló en el mismo edificio, y se probó la instalación 3 tanto en planta 13 como 21:

- **Instalación 3:** Instalación de 25mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en AP.

El método fue idéntico al de la prueba 1 utilizando también la misma bomba Rosenbauer NH 30.

En esta prueba se probó la columna seca del edificio. Como la presión de prueba de la columna seca es de 15 bar, este ensayo se realizó con la bomba en modo baja presión. Las pruebas 1 y 2 fueron las únicas en las que se pudieron comprobar caudales y presiones en la planta 21. El resto de ensayos en los que se probaron instalaciones, llegaron a una altura máxima de 13 plantas.

4.3 PRUEBA 3

Este ensayo se realizó en un edificio de 13 plantas y fue el primero donde se pudo comprobar las diferencias de rendimiento cuando la instalación se ejecutaba por la escalera, o en volado.

En este edificio fue donde se realizó el conjunto de pruebas más exhaustivas, ya que permitía el lanzamiento de agua en cualquiera de sus plantas.

Como prueba preliminar en este edificio, se probó en planta 13, la instalación 1:

- **Instalación 1:** Instalación de 45mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en BP.

Esta instalación se ejecutó en sus dos versiones: instalación en pendiente e instalación en volado. La bomba empleada fue una GODIVA 3010.

4.4 PRUEBA 4

Este ensayo se desarrolló en el mismo edificio de 13 plantas. En él se probó la instalación 3 en las plantas 5, 10 y 13 ejecutada en pendiente.

El método empleado fue idéntico a los anteriores:

- Ejecución de la instalación y conexión de manómetros
- Incremento de rpm con las lanzas abiertas hasta alcanzar 7 bar en lanza o máximo régimen del motor
- Registro de presiones

4.5 PRUEBA 5

Esta prueba fue en realidad un conjunto más amplio de ensayos realizado en este trabajo. Se desarrolló a lo largo de varios días en el mismo edificio en el que se realizaron las pruebas 3 y 4.

En esta ocasión, se ensayaron las instalaciones 1 y 3:

- **Instalación 1:** Instalación de 45mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en BP.
- **Instalación 3:** Instalación de 25mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en AP.

El método empleado fue idéntico a los anteriores:

- Ejecución de la instalación y conexión de manómetros
- Incremento de rpm con las lanzas abiertas hasta alcanzar 7 bar en lanza o máximo régimen del motor
- Registro de presiones

Cada una de las instalaciones se probó en alta presión en volado y en pendiente con requerimientos de caudales de 150 lpm y 230 lpm en cada una de las líneas y todo ello en las plantas 2, 4, 6, 8, 10 y 12.

Esta prueba constó por tanto de 24 ensayos diferentes y fue la que permitió obtener las conclusiones más realistas, desde el punto de vista de obtención de caudales y presiones.

4.6 PRUEBA 6

El objetivo de esta prueba fue determinar para un caudal y curva resistente concreta qué diferencia existe en cuanto a régimen de giro de motor entre los dos modos de funcionamiento de una bomba, alta presión y baja presión.

Para ello se montaron las instalaciones 1, 2 y 3:

- **Instalación 1:** Instalación de 45mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en BP.
- **Instalación 2:** Instalación de 45mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en AP.
- **Instalación 3:** Instalación de 25mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en AP.

En cada una de estas instalaciones, se utilizó la misma longitud de manguera de los diámetros correspondientes. En concreto se montaron 3 tramos desde la bomba hasta la bifurcación más un tramo por línea a partir de la bifurcación.

El método fue idéntico en las pruebas de las tres instalaciones:

- Ejecución de la instalación
- Aumento de rpm hasta alcanzar 7 bar en punta o hasta llegar al régimen máximo de giro
- Registro de presiones en bomba y lanza, y de régimen de giro de la bomba.

4.7 PRUEBA 7

El objetivo de esta prueba fue determinar como afecta a la presión la reducción de caudales por cierre de líneas, cuando se trabaja en alta o baja presión.

En el gráfico 3.1 puede observarse la diferencia de pendiente entre las curvas características de una bomba trabajando en alta presión o en baja presión. Determinar a los caudales de trabajo habituales en un incendio de interiores, hasta qué punto puede incrementarse la presión por el cierre de una o ambas líneas puede ser determinante en la elección del tipo de instalación ya que podrá suponer uno de los factores limitantes ya citados: la presión de trabajo de las mangueras.

Esta prueba permitió también determinar pérdidas de carga de las mangueras. Al tratarse de instalaciones horizontales y tramos medidos de sección constante, la pérdida de carga coincidía con la diferencia de presión entre extremos de tramos.

La prueba consistió en:

- Bomba en modo baja presión
- Montaje de dos tramos de 45 mm desde la bomba hasta la bifurcación
- Conexión en la bifurcación de dos tramos de 25 mm por cada una de las dos líneas
- Aumento de rpm motor hasta alcanzar 7 bar en la lanza
- Registro de presiones y rpm motor
- Cierre de una de las líneas
- Registro de presiones
- Cierre de las dos líneas
- Registro de presiones

Esta prueba se realizó para caudales de 100 lpm, 150 lpm y 230 lpm por línea.

A continuación se procedió a hacer la prueba en modo alta presión, del siguiente modo:

- Bomba en modo alta presión
- Montaje de dos tramos de 25 mm desde la bomba hasta la bifurcación
- Conexión en la bifurcación de dos tramos de 25 mm por cada una de las dos líneas
- Aumento de rpm motor hasta alcanzar 7 bar en la lanza
- Registro de presiones y rpm motor
- Cierre de una de las líneas
- Registro de presiones
- Cierre de las dos líneas
- Registro de presiones

4.8 PRUEBA 8

La prueba 8 tuvo como objetivo comparar la pérdida de presión para algunos caudales e instalaciones medida con manómetro, con los datos ofrecidos por el fabricante de las mangueras. En este caso se midió la pérdida de carga de la manguera de 25 mm circulando un caudal de 300 lpm, y en la manguera de 45 mm circulando caudales del 300 lpm y 460 lpm.

Para la determinación de la pérdida de carga en manguera de 25 mm y caudal 300 lpm se procedió del siguiente modo:

- Montaje de instalación consistente en dos tramos de 20 m de 25 mm desde la bomba a la bifurcación con pesatomas en los dos extremos
- Conexión de un tramo de 25 mm en cada una de las dos salidas de la bifurcación, con lanza y pesatomas en el extremo final y posición del anillo de caudales en 150 lpm
- Presurización de la instalación en alta presión con incremento de rpm hasta alcanzar 7 bar en lanza
- Registro de presiones a la salida de la bomba y a la entrada de la bifurcación

Para la determinación de la pérdida de carga en manguera de 45 mm y caudal 300 lpm se procedió del siguiente modo:

- Montaje de instalación consistente en dos tramos de 20 m de 45 mm desde la bomba a la bifurcación con pesatomas en los dos extremos
- Conexión de un tramo de 25 mm en cada una de las dos salidas de la bifurcación, con lanza y pesatomas en el extremo final y posición del anillo de caudales en 150 lpm
- Presurización de la instalación en baja presión con incremento de rpm hasta alcanzar 7 bar en lanza
- Registro de presiones a la salida de la bomba y a la entrada de la bifurcación

Para la determinación de la pérdida de carga en manguera de 45 mm y caudal 460 lpm se procedió del siguiente modo:

- Montaje de instalación consistente en dos tramos de 20 m de 45 mm desde la bomba a la bifurcación con pesatomas en los dos extremos
- Conexión de un tramo de 25 mm en cada una de las dos salidas de la bifurcación, con lanza y pesatomas en el extremo final y posición del anillo de caudales en 230 lpm
- Presurización de la instalación en baja presión con incremento de rpm hasta alcanzar 7 bar en lanza
- Registro de presiones a la salida de la bomba y a la entrada de la bifurcación

“Nunca combatas al fuego desde el ego”

Anónimo

5 RESULTADOS

En este punto se va a presentar de manera secuencial, los datos de campo obtenidos en las diferentes pruebas descritas en el punto anterior, Método.

5.1 RESULTADOS PRUEBA 1

TEST 1.1: ATAQUE INCENDIO EN PLANTA 13

- Bomba en baja presión
- Salida con instalación (no volada) de 45 mm Φ desde bomba hasta descansillo planta 12/13 tendida sobre la escalera. Bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.
- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar.
- Se alcanzan los **7 bar** en las dos puntas lanzando a la vez con una presión en bomba de **15 bar**. $Q_T = 300$ l/min.

TEST 1.2: ATAQUE INCENDIO EN PLANTA 21

Bomba en baja presión

- Salida con instalación (no volada) de 45 mm Φ desde bomba hasta descansillo planta 20/21. Bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por ramal.
- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar.
- Se alcanzan 5.5 bar en las dos puntas lanzando a la vez con una presión en bomba de 17 bar (máxima presión suministrada por la bomba en esas condiciones). Para esa presión, y esa posición del anillo de caudales de la lanza, el caudal por línea fue de 130 l/min. $Q_T = 260$ l/min.

Bomba en alta presión

- Se alcanzó **7 bar** en las dos puntas lanzando a la vez con una presión en bomba de **20 bar**. $Q_T = 300$ l/min. La bomba en alta podía dar más presión pero se superaría el límite de la presión de trabajo para esa manguera.

ATENCIÓN: Según el fabricante, 21 bar es la presión máxima de trabajo en manguera de 45 mm Φ .

5.2 RESULTADOS PRUEBA 2

TEST 2.1: ATAQUE INCENDIO EN PLANTA 13

- Bomba en alta presión
- Salida con instalación de 25 mm Φ (no volada) desde bomba hasta descansillo planta 12/13. Bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.
- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar.
- Se alcanzó **4 bar** en las dos puntas lanzando a la vez con una presión en bomba de **42 bar**. $Q_T = 225$ l/min.

$$Q = K \times \text{SQRT}(P); K = 56.8; Q_t = (56.8 \times \text{SQRT}(4)) \times 2 = 225 \text{ l/min}$$

TEST 2.2: ATAQUE INCENDIO EN PLANTA 21

- Bomba en alta presión
- Salida con instalación de 25 mm Φ (no volada) desde bomba hasta descansillo planta 20/21. Bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.
- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar.
- Se alcanzó **2 bar** en las dos puntas lanzando a la vez con una presión en bomba de **entre 42 y 45 bar** (máxima presión suministrada por la bomba en esas condiciones). Para esa presión, y esa posición del anillo de caudales de la lanza, el caudal por ramal es de 80 l/min. $Q_T = 160$ l/min.

TEST 2.3: COLUMNA SECA

- Bomba en baja presión.
- Salida con 70 mm Φ desde bomba hasta siamesa fachada. Presión de entrada **15 bar** (presión de prueba de la columna seca).
- Conexión de dos líneas de 25 mm en la siamesa de la planta 21 (20 m) por ramal.
- Posición caudal lanza Akron: 120 l/min a 7 bar.
- Se alcanzó **6 bar** en las dos puntas.

PLANTA	AP (bar)		BP (bar)	
	PB	PL	PB	PL
13	42	4	15	7
21	42/45	2	17	5.5

5.3 RESULTADOS PRUEBA 3

TEST 3.1: ATAQUE INCENDIO EN PLANTA 13

- Bomba en baja presión
- Salida con instalación de 45 mm Φ desde bomba hasta descansillo planta 12/13. Bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.
- Se utilizaron 5 tramos de manguera de 45 mm (100 m).
- **Instalación por en pendiente.**
- **Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar.**
- Se alcanzó **7 bar** en las dos puntas lanzando a la vez con una presión en bomba de **13 - 14 bar**.

TEST 3.2: ATAQUE INCENDIO EN PLANTA 13

- Bomba en baja presión
- Salida con instalación de 45 mm Φ desde bomba hasta descansillo planta 12/13. Bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por ramal.
- Se utilizaron 3 tramos de manguera de 45 mm (**60m**).
- **Instalación volada.**
- **Posición caudal lanza Akron: 150 lpm a 7 bar.**
- Se alcanzó **7 bar** en las dos puntas lanzando a la vez con una presión en bomba de **13 bar**.

5.4 RESULTADOS PRUEBA 4

TEST 4.1: ATAQUE INCENDIO EN PLANTA 13

- Bomba en **alta presión**
- Salida con instalación de 25 mm Φ desde bomba hasta descansillo planta 12/13. Bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.
- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar.
- Se alcanzó los **3,5 bar** en las dos puntas lanzando a la vez con una presión en bomba de **25 bar**.
- Se utilizaron 6 tramos de mangueras de 25 mm.
- **Instalación por la escalera.**
- **LA BOMBA DE ESE VEHÍCULO EN ALTA NO PASA DE 25 BAR**

TEST 4.2: ATAQUE INCENDIO EN PLANTA 10

- Bomba en **alta presión**
- Salida con instalación de 25 mm Φ desde bomba hasta descansillo planta 9/10. Bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.
- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar.
- Se alcanzó 4 **bar** en las dos puntas lanzando a la vez con una presión en bomba de **25 bar**.
- Se utilizaron 5 tramos de mangueras de 25 mm.
- **Instalación en pendiente.**
- **LA BOMBA DE ESE VEHÍCULO EN ALTA NO PASA DE 25 BAR**

TEST 4.3: ATAQUE INCENDIO EN PLANTA 5

- Bomba en alta presión
- Salida con instalación de 25 mm Φ desde bomba hasta descansillo planta 4/5. Bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.
- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar.
- Se alcanzó **5 bar** en las dos puntas lanzando a la vez con una presión en bomba de **23 bar**.
- Se utilizaron 3 tramos de mangueras de 25 mm.
- **Instalación en pendiente.**
- **LA BOMBA DE ESE VEHÍCULO EN ALTA NO PASA DE 25 BAR**

5.5 RESULTADOS PRUEBA 5

P L A N T A	ALTA PRESIÓN										BAJA PRESIÓN									
	EN PENDIENTE					VOLADA					EN PENDIENTE					VOLADA				
	Q= 150x2			Q=230x 2		Q= 150x2			Q=230x 2		Q= 150x2			Q=230x2		Q= 150x2			Q=230x 2	
	nºt	P _B	P _L	P _B	P _L	nºt	P _B	P _L	P _B	P _L	nºt	P _B	P _L	P _B	P _L	nºt	P _B	P _L	P _B	P _L
2ª	2	25	7	40	7	2	25	7	40	7	2	10	7	17	7	2				
4º	3	30	7	40	5	2	26	7	40	6	3	11	7	18	7	2				
6º	3	31	7	---	---	2	27	7	--	--	3	13	7	18	7	2	11	7	14	7
8º	4	35	7	---	---	3	31	7	--	--	4	14	7	18	6	3				
10º	4	36	7	---	---	3	32	7	--	--	4	14	7	18	5.5	3				
12º	5	40	5	---	---	3	32	7	--	--	5	17	7	18	5.5	3	14	8	15	6
21º		43	2	---	---							17	5.5	---	---					
21º		20*	7																	

Legenda: nºt = número de tramos de 20 m.; P_B = Presión en Bomba; P_L = Presión en Lanza; Q = Caudal (lpm)

5.6 RESULTADOS PRUEBA 6

TEST 6.1:

ALTA PRESIÓN: Tres tramos de manguera de **25 mm Φ** , bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.

- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar. **$Q_T = 300$ l/min.** $P_B = 31$ bar, $P_L = 7$ bar, rpm = 3000
- Posición caudal lanza Akron: 230 l/min a 7 bar. **$Q_T = 460$ l/min.** $P_B = 40$ bar, $P_L = 6$ bar, rpm = 3800

TEST 6.2:

ALTA PRESIÓN: Tres tramos de manguera de **45 mm Φ** , bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.

- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar. **$Q_T = 300$ l/min.** $P_B = 13$ bar, $P_L = 7$ bar, rpm = 2800
- Posición caudal lanza Akron: 230 l/min a 7 bar. **$Q_T = 460$ l/min.** $P_B = 20$ bar, $P_L = 7$ bar, rpm = 3100

BAJA PRESIÓN: Tres tramos de manguera de **45 mm Φ** , bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.

- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar. **$Q_T = 300$ l/min.** $P_B = 11$ bar, $P_L = 7$ bar, rpm = 3000
- Posición caudal lanza Akron: 230 l/min a 7 bar. **$Q_T = 460$ l/min.** $P_B = 14.5$ bar, $P_L = 7$ bar, rpm = 3500

TABLA RESUMEN

	AP/BP	Q_T	P_B	P_L	rpm
Instalación test 1 25 mm Φ	AP	300	31	7	3000
		460	40	6	3800
Instalación test 2 45 mm Φ + 25 mm Φ	AP	300	13	7	2800
		460	20	7	3100
	BP	300	11	7	3000
		460	14.5	7	3500

5.7 RESULTADOS PRUEBA 7

TEST 7.1: Comprobación pérdidas de carga e incrementos de presión al cerrar líneas

- Bomba en baja presión
- Salida con instalación de 45 mm Φ (dos tramos) desde bomba. Bifurcación 45/25. Dos mangueras de 25 mm Φ (20 m) por ramal.

Caudal (lpm)x línea	L1 + L2						L1					Q=0				
	P _b	P ₁	P ₂	P ₃	P _L	rpm	P _b	P ₁	P ₂	P ₃	P _L	P _b	P ₁	P ₂	P ₃	P _L
230	16	16	15.5	14.5	7	3800	16	16	16	15.5	8	16	16	16	17.5	17.5
150	12	11	11.5	11	7	3200	13	11	12.5	12	8	13.5	11	11.5	13	12.5
100	8	7.5	8.5	8.5	7	2600	8	7.5	9	8.5	7.5	8	8	9	9	9

TEST 7.2: Comprobación pérdidas de carga e incrementos de presión al cerrar líneas

- Bomba en alta presión
- Salida con instalación de 45 mm Φ (dos tramos) desde bomba. Bifurcación 45/25. Dos mangueras de 25 mm Φ (20 m) por ramal. Bomba en alta presión

Caudal (lpm)x línea	L1 + L2						L1					Q=0				
	P _b	P ₁	P ₂	P ₃	P _L	rpm	P _b	P ₁	P ₂	P ₃	P _L	P _b	P ₁	P ₂	P ₃	P _L
150	16.5	12.5	13	12.5	7.5	2600	23	20	f.r	f.r	13	Exc.	Exc.	Exc.	Exc.	Exc.
100	10	8	8.5	9	7	1800	11.5	12	12	12	9.5	16	16	16	16	16

5.8 RESULTADOS PRUEBA 8

TEST 8.1: Pérdida de carga manguera 25 mm Φ

- Dos tramos de manguera de 25 mm Φ , bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.
- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar. **$Q_T = 300$ l/min**
- $P_B = 22$ bar, $P_{bifurc} = 8$ bar
- Pérdida de carga (**PC**) = **7 bar/20 m**
- Se intentó repetir la prueba a un $Q_T = 460$ l/min pero la bomba no pasa de 23 bar en esas condiciones

TEST 8.2: Pérdida de carga manguera 45 mm Φ

- Dos tramos de manguera de 45 mm Φ , bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.
- Posición caudal lanza Akron: 150 l/min a 7 bar. **$Q_T = 300$ l/min**
- $P_B = 10$ bar, $P_{bifurc} = 9,5$ bar
- Pérdida de carga (**PC**) = **0.25 bar/20 m**

TEST 8.3: Pérdida de carga manguera 45 mm Φ

- Dos tramos de manguera de 45 mm Φ , bifurcación 45/25. Una manguera de 25 mm Φ (20 m) por línea.
- Posición caudal lanza Akron: 230 l/min a 7 bar. **$Q_T = 460$ l/min**
- $P_B = 16$ bar, $P_{bifurc} = 13$ bar
- Pérdida de carga (**PC**) = **1,5 bar/20 m**

“... porque, aunque a mi ningún peligro me pone miedo, todavía me pone recelo pensar si la pólvora y el estaño me han de quitar la ocasión de hacerme famoso y conocido ...”

El Ingenioso Hidalgo Don Quijote de la Mancha, primera parte, cap. XXXVIII, Miguel de Cervantes Saavedra

6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En base a los resultados de las pruebas realizadas, vamos determinar qué instalación y modo de trabajo (AP y BP) ofrece un mayor rendimiento.

Las cuatro instalaciones consideradas son:

- **Instalación 1:** Instalación de 45mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en BP.
- **Instalación 2:** Instalación de 45mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en AP.
- **Instalación 3:** Instalación de 25mm desde la bomba al punto base, con bifurcación para línea de ataque y de seguridad de 25 mm de un solo tramo, trabajando en AP.
- **Instalación 4:** 70 mm o 45 mm hasta el punto de acceso, 70 mm o 45 mm hasta el punto base con línea de ataque de 45 mm y línea de seguridad de 25 mm o 45 mm, trabajando en BP.

6.1 INSTALACIÓN 1 VS. INSTALACIÓN 2

En el test 2 de la prueba 1, observamos que con la instalación 1, con 17 bar en bomba se alcanzan 5.5 bar en punta en la planta 21, lo que supone un caudal de 133 lpm por línea.

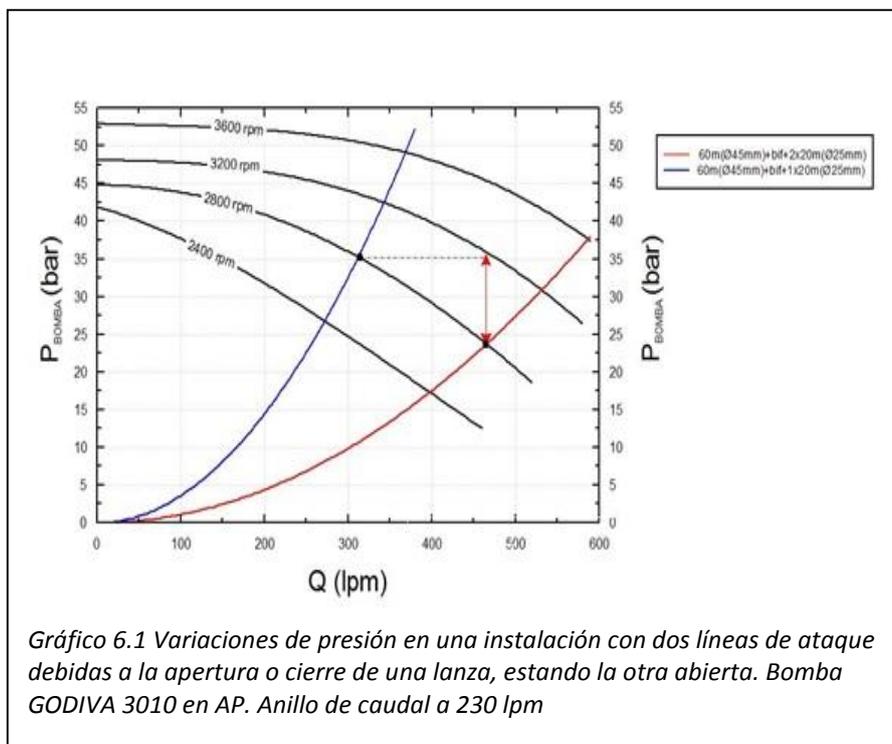
Si la instalación 1 la conectamos a la salida de AP, tenemos la instalación 2, y con ella, en la planta 21 conseguimos una presión en punta de 7 bar, con 20 bar en bomba.

Atendiendo a estos datos, la instalación 3 se muestra más eficaz que la instalación 1. Ahora bien, debemos tener en cuenta que durante las labores de extinción se producen alteraciones en las demandas de caudal y modificaciones en las curvas resistentes. Las alteraciones de caudal se producen básicamente por dos causas:

- La extinción utilizando pulsaciones supone pasar de un caudal de p.e 150 lpm a 0 lpm de manera brusca.
- El cierre de la línea de ataque, de seguridad o ambas tiene un efecto similar

Las presiones soportadas por la instalación se encuentran dentro del rango de las presiones de trabajo de las mangueras, pero si se reduce el caudal por pulsación o cierre de línea, la presión en la instalación aumenta pudiendo superar la presión máxima de trabajo de las mangueras. Este aumento de presión por reducción del caudal es muy superior si la instalación está conectada a AP.

Para explicar este fenómeno, se debe observar las gráficas de curvas características ofrecida por los fabricantes (gráfico 3.1). Se aprecian dos grupos de curvas claramente diferenciadas. Las curvas correspondientes a la AP, cubren un rango pequeño de caudal ofreciendo mayores presiones. Las curvas de BP cubren grandes caudales pero a menor presión. Para el problema en cuestión, lo más importante es observar en estas gráficas que para el rango de caudales de 0 lpm a 500 lpm, las curvas de BP son prácticamente planas mientras que las de alta presión presenta una pendiente muy pronunciada.



Las marcadas pendientes de las curvas de AP explican por qué al cerrar una línea, el aumento de presión trabajando en AP es muy superior al aumento en BP.

En el gráfico 6.1 se puede observar un caso concreto. En él se puede apreciar cómo, saliendo con línea de 45 mm de la etapa de AP, se producen aumentos de 12 bar al cerrar una sola de las líneas, lo que supone superar las presiones de trabajo máximas de las mangueras. El caso sería más grave si trabajando con las dos líneas a la vez, se cierran ambas.

A este respecto, la prueba 7 es determinante. En ella se observa que trabajando en BP, incluso con 230 lpm por línea, el cierre de una línea o ambas, apenas supone una variación en la presión soportada por la instalación. Es decir, si se está actuando por debajo de la presión de trabajo de la instalación, al cerrar las líneas no se superará. Sin embargo en el test 7.2 (AP) de la misma prueba, se observa que trabajando con 100 lpm, al cerrar una línea se pasa de una presión de 8 bar a la salida de la bomba, a 12 bar, y si cerramos ambas líneas la presión pasa de 8 bar a 16 bar. Si se repite la prueba pero para un caudal de 150 lpm, se pasa de 12.5 a 20 bar (tan sólo 1 bar por debajo de la presión de trabajo de la manguera de 45 mm). En este último caso, si se cierra la segunda línea se supera en exceso la presión de trabajo de la línea de 45 mm. Llegado a este punto, forzar la prueba con dos líneas de 230 lpm, no tendría sentido ya que el incremento de presión sería todavía mayor.

A la vista de estos resultados se observa que aunque en algunos casos se pueden conseguir mayores caudales con la instalación 2, según las características facilitadas por el fabricante no se puede garantizar la integridad de la instalación en las condiciones normales en las que se desarrollan las labores de extinción. El cierre de líneas por pulsación o por no requerir momentáneamente su uso, supone en muchos casos aumentos de presión por encima de las presiones de trabajo de las mangueras. Podemos concluir que la instalación 1 es la que ofrece mayor garantía de seguridad.

6.2 INSTALACIÓN 1 VS. INSTALACIÓN 3

De las pruebas 1 y 2, se obtiene el siguiente cuadro resumen:

PLANTA	Instalación 1		Instalación 2		Instalación 3	
	PB	PL	PB	PL	PB	PL
13	15	7	-	-	42	4
21	17	5.5	20	7	42/45	2

Tabla 6.1 Resumen de las pruebas 1 y 2

Como se puede observar, se han obtenido mayores presiones en punta y por tanto mayores caudales trabajando en baja presión, tanto en planta 13 como en planta 21.

Esto es así debido a la mayor pérdida de carga que presenta, para un caudal fijo, la manguera de 25 mm frente a la de 45 mm.

En la tabla de la prueba 5, se puede encontrar una mayor cantidad de ensayos para diferentes alturas. En esta tabla, se ve que para ciertas alturas, se puede obtener los mismos caudales tanto con la instalación 1 como con la instalación 3. Ahora bien, el caudal ideal para esta instalación (230 lpm x 2 líneas) con la instalación 3, sólo se consigue hasta la 2ª planta y llegando al límite de la presión de trabajo de la manguera de 25 mm. El cierre simultáneo de una o ambas líneas podría suponer la rotura de la instalación. Con la instalación 1 se consigue el caudal ideal hasta la planta 6ª.

A la vista de estos resultados, se puede concluir que la instalación 1 (45 mm + 25 mm x 2 y BP) es más eficaz que la instalación 2 (25 mm + 25 mm x 2 y AP).

Aunque se considera que el argumento del caudal (**argumento 0**) tiene un peso suficiente para decantarse por la instalación 1, existen otras razones para elegir esa opción.

Argumento 1. Válvula de llenado de cisterna

La etapa de AP no tiene conexión a la válvula de retorno a cuba (llenado cisterna), por lo que es imposible tanto refrigerar eficazmente esa etapa cuando se está a caudal 0 como reducir presión. Los fabricantes recomiendan no utilizar alta presión a caudal 0.

Además, los fabricantes y carroceros de vehículos autobombas, suelen limitar la de uso de la válvula de llenado de cisterna a un valor entre 4 y 8 bar.

Argumento 2. Cavitación caliente

La etapa de AP, para un mismo régimen, se calienta más que la de BP. Este problema se agrava cuando se trabaja a caudal 0. La etapa de AP no dispone de válvula térmica por lo que existe mayor probabilidad de cavitación caliente y avería en la bomba durante las labores de extinción.

Argumento 3. Presión nominal de la manguera de 25 mm

La P_N de la manguera de 25 mm (40 bar) puede ser superada por la etapa de AP. En este caso el conductor se ve expuesto a la posibilidad de cometer ese error. Este error no se daría en BP ya que no se superaría la P_N de la manguera de 45 mm (21 bar). Existe la posibilidad de subir revoluciones a caudal 0 hasta alcanzar los 40 bar en manómetro, pero el cierre súbito de caudal supondrá picos de presión superiores. Trabajando de este modo, la instalación estará al límite de su resistencia siempre que se esté a caudal 0. Además, en esta situación, al abrir la válvula la presión bajaría a niveles en los que el caudal se vería muy reducido.

Argumento 4. Presión nominal de la lanza de 25 mm

El proveedor de las lanzas Akron utilizadas en este trabajo no ha presentado hasta la fecha la certificación del cumplimiento de la norma UNE 15182-4: 2007 Lanzas de manguera de alta presión (P_N 40 bar). En su información corporativa presenta la certificación UNE 15182-1: 2007 Requisitos comunes y UNE 15182-3: 2007 Lanzas de manguera de chorro pleno y/o difusión de P_N 16 bar. Trabajando en AP se superaría ampliamente la P_N de las lanzas sobre todo a caudal 0.

Argumento 5. Versatilidad

La instalación con 25 mm y AP se ve muy penalizada cuando la distancia desde la autobomba al punto de acceso o desde el punto de acceso al punto base es superior a las previstas en los ensayos. En AP, los tramos a añadir serían de 25 mm lo que supondría una gran pérdida de carga frente a los de 45 mm que se utilizarían en BP. Sería el caso de instalaciones en cascos antiguos donde la autobomba no puede aproximarse al lugar del incendio; nuevos edificios con accesos interiores; bloques de apartamentos en playa; configuraciones de escaleras con mayor distancia entre pendientes...

6.3 INSTALACIÓN 1 VS INSTALACIÓN 4

Si se quiere trabajar con caudales que oscilen entre 250 lpm y 500 lpm, la única instalación viable es la 4. Esta instalación ofrece caudales muy superiores a cualquiera de las otras tres consideradas en este trabajo. La única diferencia entre estas instalaciones es el diámetro de la línea de ataque y de seguridad, que en el primer caso serán de 25 mm y en el segundo de 45 mm o 38 mm. Existen dos argumentos principales que marcan la diferencia entre estas dos instalaciones.

Argumento 1. Caudal

Desde el punto de vista del caudal necesario para una extinción rápida manteniéndose dentro de parámetros de seguridad equivalentes a otros servicios europeos, la instalación 4 es netamente superior. Con lanzas modernas, la línea de ataque puede ofrecer un caudal de 400 – 500 lpm a una presión aproximada de 7 bar. Se reduce también pérdida de carga en la línea de ataque a pesar de trabajar con caudales mayores. Además, la instalación 4 es la que mejor soporta las líneas de ataque largas (dos tramos o más) ya que para un mismo caudal, presenta una pérdida de carga muy inferior a la manguera de 25 mm. Todas las pruebas realizadas suponen líneas de ataque y seguridad de un solo tramo. Si se añaden tramos los caudales se reducen, sobre todo con manguera de 25 mm..

Argumento 2. Esfuerzo requerido

La manguera de 45 mm pesa 8.2 kg/tramo (20 m) mientras que la de 25 mm tiene un peso de 4.4 kg/tramo. Esto supone una diferencia de peso de 3.8 kg/tramo. La diferencia de peso en los tramos vacíos no es excesivamente importante. No ocurre lo mismo

cuando la instalación se presuriza con agua. En ese caso hay que añadir, aproximadamente, 30 kg por tramo de manguera de 45 mm (1.5 kg/metro) y 10 kg (0.5 kg/metro) a la de 25 mm. Esto supone que, aproximadamente, un tramo de manguera de 45 mm pesa 38 kg y una de 25 mm pesa 14 kg. La diferencia de peso a arrastrar es de 24 kg a favor de la línea de 25 mm. Desde el punto de vista del peso, la línea de 25 mm es netamente superior a la de 45 mm.

Si se compara la manguera de 25 mm con la de 38 mm, el problema de la diferencia de peso se reduce. Una manguera de 38 mm de 3 capas es más ligera que una de 25 mm de 4 capas. Cuando las mangueras están en carga, el peso juega a favor de la de 25 mm pero la diferencia es menor que en el caso de 45 mm.

Ahora bien, si se considera el esfuerzo total a realizar en un buceo en humo y extinción, éste no debe ser el único parámetro a tener en cuenta. El tiempo de duración de la extinción es un factor muy importante al considerar el esfuerzo requerido en este tipo de actuaciones. En el caso de incendios desarrollados, disponer de una instalación que proporcione un caudal superior supone reducir el tiempo necesario para la extinción, pudiendo compensar y en muchos casos superar el sobreesfuerzo requerido para su manejo.

Diámetros	Peso manguera (grs/m)	Tramo (20 m) vacío (kg)	Tramo (20 m) lleno de agua (kg)
25 mm	220	4,4	14
38 mm (3 capas)	200	4	26
45 mm	410	8,2	38

Tabla 6.2 Pesos de mangueras en carga y en vacío

Un tiempo de control mayor, supone un sobreesfuerzo superior debido al incremento en el tiempo de exposición al calor, con todo lo que conlleva relativo a stress, agotamiento y deshidratación.

Este punto, se puede resumir diciendo que en incendios incipientes o en fase de decaimiento (incendios sencillos) atacar con línea de 45 mm o 38 mm supone un sobreesfuerzo relativo. Este sobreesfuerzo puede no ser tal en el supuesto de un incendio en pleno desarrollo o generalizado, ya que la línea de 45 mm o de 38 mm, al ofrecer un mayor caudal, puede reducir el tiempo necesario para el control disminuyendo el esfuerzo físico total.

6.4 CONCLUSIONES

Responder qué instalación es la ideal para combatir incendios de interiores tipo vivienda y asimilables supone haber definido previamente qué se entiende en un cuerpo de bomberos como caudal crítico y caudal ideal. Si la decisión es aproximarse a los utilizados por la mayor parte de nuestros colegas europeos, es decir, entre 250 lpm y 500 lpm por línea, la única instalación posible es 70 mm o 45 mm hasta el punto de acceso o hasta el

punto base, bifurcación y línea de ataque y seguridad de 45 mm o 38 mm. El caudal ofrecido por esta instalación está en la línea de los caudales sugeridos por diferentes autores ya comentados en este trabajo. Esta instalación es la que proporciona mayor capacidad de extinción y seguridad de todas las contempladas en este trabajo. Además, en incendios plenamente desarrollados reduce el tiempo de control y en consecuencia el esfuerzo. Por contra, su ejecución y sobre todo su manejo suponen un mayor esfuerzo físico por parte de los intervinientes.

Ante una situación de riesgo sobrevenido, como puede ser un *flashover*, *backdraft* o explosión de gases de incendio, el caudal disponible está directamente relacionado con la seguridad. No se puede hacer frente a estas situaciones con caudales de 100 o 150 lpm. En estos casos lo ideal es disponer o aproximarse en la medida de lo posible al caudal que en puntos anteriores hemos definido como máximo manejable por un binomio, es decir 560 lpm.

Trabajar con líneas de ataque y seguridad de 25 mm, supone una pérdida importante de caudal (reducción en seguridad y en tiempo de extinción) y un menor esfuerzo en ejecución y manejo.

Si un servicio de extinción decide utilizar caudal crítico de 150 lpm y un caudal ideal de 230 lpm, considerando las premisas de este trabajo, y teniendo en cuenta el resultado de las pruebas realizadas, lo recomendable es la utilización de la instalación número 1 para incendios de interiores y asimilables hasta la altura correspondiente a la planta 22.

Esta recomendación se justifica en la interpretación de los datos obtenidos en las diferentes pruebas realizadas y reflejadas en este trabajo. Ahora bien, debe tenerse en cuenta que el caudal ideal (230 lpm) sólo se garantiza hasta la 6ª planta y siempre que la línea de ataque y seguridad sean de un solo tramo. Por encima de esa planta o con líneas de más de un tramo no se puede garantizar el caudal ideal.

Por el contrario, si se desea trabajar con caudales en la línea de la mayor parte de los países europeos en los que prevalecen criterios de seguridad frente a posibles sobreesfuerzos, la instalación a utilizar, teniendo en cuenta todo lo dicho en este trabajo, debería de ser la 4.

Una posible variante de la instalación 4, es sustituir la línea de ataque de 45 mm por una línea de 38 mm. Con 38 mm, podemos conseguir caudales similares a los de 45 mm, es decir, se puede alcanzar un caudal de 400 lpm – 500 lpm a una presión aproximada de 7 bar. Tiene una pérdida de carga muy inferior a la de 25 mm. Aunque la pérdida de carga es superior a la de 45 mm, la diferencia, a efectos prácticos, no es realmente importante en instalaciones con líneas de ataque y seguridad de uno o dos tramos. Por otra parte, supone una reducción de peso respecto a la manguera de 45 mm, aproximadamente 10 kg por tramo. Es decir, tiene un peso intermedio respecto a las otras dos líneas consideradas.

Por otra parte, sería deseable continuar estudiando diferentes alternativas que permitan mejoras en los rendimientos obtenidos hasta el momento. En esa línea resultaría interesante realizar ensayos de conexión de bombas en serie.

Para finalizar, se puede concluir que la clave para resolver las cuestiones planteadas en este trabajo, reside en la definición del caudal que un cuerpo de bomberos debe considerar óptimo para la intervención en incendios de interiores. Definido este caudal, la decisión del tipo de instalación y el modo de trabajo que puede ofrecerlo, o en su defecto, aproximarse al máximo, es inmediata.

“Abre la mente a lo que te manifiesto y aférralo adentro; que no se hace ciencia, sin retención de lo que se ha entendido.”

Dante Alighieri (1265 – 1321)

7 SUMARIO

1. Actualmente no existe norma general que regule los requisitos de caudal a utilizar por los cuerpos de bomberos para actuar frente a incendios de interior.
2. Cada cuerpo de bomberos trabaja con caudales diferentes obtenidos a partir de bombas centrífugas que trabajan tanto en modo alta presión como baja presión.
3. Es necesario que los cuerpos de bombero definan un caudal táctico que permita realizar la extinción de un incendio de interior tipo en un tiempo razonable previamente establecido y en condiciones de seguridad máximas.
4. Definido el caudal táctico, podrá establecerse el tipo de instalación a ejecutar con definición de diámetros de manguera a utilizar y modo de trabajo en bomba (alta presión / baja presión).
5. El caudal táctico ha de cumplir unos requisitos principales:
 - a. Debe ser suficiente para extinguir incendios de interior en un tiempo razonable.
 - b. Debe ser manejable por un binomio considerando la reacción que provocará en la lanza.
 - c. Debe ofrecer la máxima garantía de seguridad en el supuesto de que se produzca una evolución súbita y desfavorable de las condiciones de desarrollo del incendio.

6. Algunos autores recomiendan un caudal táctico calculado a partir de la ecuación:

$$A \times 4 = lpm \text{ (Grimwood, 1999) [ec. 2.4 - 3]}$$

$A = \text{área afectada por el incendio en } m^2$

7. Investigaciones internacionales recogen como caudal máximo manejable por un binomio 560 lpm, que con una presión en lanza de 7 bar genera una reacción de 333 N.
8. Atendiendo a criterios de seguridad y eficacia, es deseable que el binomio de intervención disponga de un caudal para extinción en situaciones normales inferior al máximo manejable, pero a la vez la instalación debe de ser capaz de ofrecer el caudal máximo manejable en caso de emergencia.
9. Ese caudal ideal solo puede alcanzarse trabajando en modo baja presión y con líneas de ataque y seguridad de 38 mm o de 45 mm. Utilizando lanzas selectoras de caudal el binomio puede decidir el caudal a utilizar en cada momento.
10. El caudal ideal es un valor deseable que no siempre está al alcance de las prestaciones de los equipos. Por tanto debe entenderse que el modo de trabajo y el tipo de instalación, tiene como fin aproximarse al máximo a ese caudal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso Herrerías, M., & Basset Blesa, J. (2014). *Guía de Método de Buceo en Humo*. Consorcio Provincial de Bomberos de Valencia, Valencia.
- Alonso Herrerías, M., & Basset Blesa, J. (2014). *Guía de Método: Extinción de Incendios en Espacios Confinados*. Consorcio Provincial de Bomberos de Valencia, Valencia.
- Alonso Herrerías, M., & Basset Blesa, J. (2014). *Guía de Método: Instalaciones con Mangueras*. Consorcio Provincial de Bomberos de Valencia, Valencia.
- Alonso Herrerías, M., & Basset Blesa, J. (2014). *Guía Táctica de Incendio de Interiores*. Consorcio Provincial de Bomberos de Valencia, Valencia.
- Alonso Herrerías, M., Basset Blesa, J., Lundström, S., & Bleken, E. y. (s.f.). Fire Training v.01.
- Babrauskas, V. (1995). *Burning rates, SFPE Handbook of fire protection engineering*. P.J diNenno, NFPA.
- Barnett, & Grimwood. (n.d.). *Fire Fighting flow rate*. Retrieved from www.firetactics.com
- Basset Blesa, J. (1996). *Flashover: Desarrollo y Control*.
- Benfer, M. E., & Scheffey, J. L. (2014). *Evaluation Of Fire Flow Methodologies*. Quincy, Massachusetts: The Fire Protection Research Foundation.
- Bengtsson, L. G. (2001). *Enclosure fires*. Sweden: Anna Lena Gorasson, Bo Svensson.
- Chitty, R. (1994). *A survey of Backdraught*. Fire Research and Development Group. Home Office (UK), London.
- Clark, W. (1991). *Firefighting Principles & Practices*. Fire Engineering & Videos.
- CNPP, I. -F. (2001). *Défense exterieur contre lincendie*. Saint - Marcel BP 2265 France: CNPP Entreprise.
- Dollinger, C. (1990). *Manuel d'hydraulique*. Aubervilliers: France - Sélection.
- El - Mahallawy, F., & El - Din - Habik, S. (2002). *Fundamentals and technology of combustion*. Amsterdam: Elsevier.
- Ewan, A. (1998). *Mitigation of Compartment Jet Fires Using Water Sprays*. Universitu of Sheffield. UK.
- Grimwood, P. (1992). *Firefighting nozzle reaction*. Obtenido de www.firetactics.com
- Grimwood, P. (1992). *Fog Attack*. Surrey: International Publications Redhill.

- Holmstedt, G., & Särdaqvist, S. (2000). Water for manual fire suppression. *Journal of fire protection engineering*.
- Hunt, S., & Roberts, G. (2004). *BDAG - ODPM*. Office of the Deputy Prime Minister.
- Insurance Services Office, I. (2014). *Guide for Determination of Needed Fire Flow*. Jersey City.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (1996). *Enclosure Fire Dynamics*. London: CRC Press.
- Karlsson, B., & Svensson, S. (s.f.). *A decade of scandinavian research aimed at benefiting the fire service*.
- Liu, Z., Kashaf, A., & Benichou, N. (2002). *RR-124*. National Research Council.
- Madrzykowski, D., & Kerber, S. (2009). *Fire Fighting Tactics Under Wind Driven Conditions: Laboratory Experiments*. Gaithersburg: The fire protection research foundation.
- Mawhinney, J. (1994). Water Mist Extinguishing Properties. *4th Symposium on Fire Safety Science*.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Educación.
- NFPA, v. (1993). *Manual de protección contra incendios*. MAPFRE, S.A.
- Rabash. (1997). *FDRG 1/97*. Fire Research & Development Group.
- Särdaqvist, S. (1993). *Initial fires. RHR, smoke production and CO generation from single items and room fire tests*. Lund, Sweden.
- Särdaqvist, S. (1996). *An engineering approach to fire fighting tactics*. Lund: Lund University.
- Särdaqvist, S. (1999). Fire Brigade Use of Water. *Interflam'99. Proceedings of the Eighth International Conference*. Interscience Communications Ltd.
- Särdaqvist, S. (2000). *Demand for Extinguishing Media in Manual Fire Fighting*. Lund University. Institut of Technology. Department of Fire Safety Engineering, Lund Sweden.
- Särdaqvist, S. (2002). *Water and other extinguishing agents*. Anna-Lena Göransson.
- SFPN. (2007). *Comparación of 11 methods for determining water used for fire fighting*. Auckland.
- Suay Belenguer, J. M. (s.f.). *Conceptos básicos de hidráulica para bomberos*.
- Svensson, S. (2005). *Fire Ventilation*. Karlstad. Sweden: Anna-Lena Göransson.
- Svensson, S., & Särdaqvist, S. (2001). Fire test in a large hall, using manually applied high and low pressure water sprays. *Fire Science & Technology*.
- Task Force Tips, I. (s.f.). *A firefighter's guide to nozzles*. Task Force Tips, Inc.

Thomas, P. H. (1967). *Theoretical considerations of the growth to flashover of compartment fires*. Borehamwood, Herst (UK): Fire Research Station.

IMÁGENES

Imagen 2.1 Ejemplo de curva de desarrollo de incendio

Imagen 2.1 Ejemplo de curva de desarrollo de incendio

Imagen 2.3 Etapa de *Flashover*

Imagen 2.4 Incendio totalmente desarrollado

Imagen 2.4 Incendio totalmente desarrollado

Imagen 2.5 *Backdraft*

Imagen 2.5 *Backdraft*

Imagen 2.6 Movimiento de gases en un incendio

Imagen 2.7 Método de extinción directa

Imagen 2.8 Método de extinción indirecta

Imagen 2.9 Método de enfriamiento de los gases de incendio

Imagen 3.1 - Bomba Rosenbauer NH 30

Imagen 3.2 - Bomba Godiva

Imagen 3.3 – Circuito hidráulico

Imagen 3.4 - Estructura de la manguera de 4 capas

Imagen 3.5 - Manguera de cuatro capas de 25 mm

Imagen 3.6 - Manguera de cuatro capas de 45 mm

Imagen 3.7 - Manguera tres capas de 45 mm

Imagen 3.8 - Manguera tres capas 38 mm

Imagen 3.9 - Lanza Akron 1702 de 25 mm

Imagen 3.10 - Lanza Akron 1720 de 38 mm

Imagen 3.11 - Lanza G Force automática de 38 mm

Imagen 3.12 Reducción 70 mm / 45 mm

Imagen 3.13 - Reducción 70 mm / 45 mm

Imagen 3.14 - Bifurcación 70 mm / 45 mm

Imagen 3.15 - Bifurcación 45 mm / 25 mm

Imagen 3.16 - Pesatomas de 45 mm con manómetro Bourdon

Imagen 3.17 - Bolsa portamangueras tipo trineo

Imagen 3.18 - Cesta de transporte

Imagen 3.19 - Arnés de transporte

Imagen 3.20 - Arnés de transporte

GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Caudal según presión, y posición del selector de caudales

Gráfica 2.2 Relación presión, caudal, reacción

Gráfico 2.3 Tiempo de control (línea continua) y cantidad total de agua en función del caudal (Svensson & Särdaqvist, Fire test in a large hall, using manually applied high and low pressure water sprays, 2001)

Gráfico 2.4 Capacidad teórica de absorción de calor del agua en la fase gaseosa y en las superficies caliente

Gráfico 2.5 Relación entre tamaño de gota y cantidad de agua necesaria según Svensson y Särdaqvist

Gráfico 3.1 - Curvas características de AP y BP. Bomba GODIVA

Gráfico 3.2 Pérdidas de carga

Gráfico 3.3 - Curvas de caudal / presión - Multiforce 500 Pulsing a 6 bar

Gráfico 6.1 Variaciones de presión en una instalación con dos líneas de ataque debidas a la apertura o cierre de una lanza, estando la otra abierta. Bomba GODIVA 3010 en AP. Anillo de caudal a 230 lpm

TABLAS

Tabla 2.1 – Fuerza de reacción soportable

Tabla 2.2 Reacción de la lanza y caudales en función de presión en lanza y posición del selector de caudales

Tabla 2.3 Efecto del tamaño de gota en el reducción de la temperatura

Tabla 2.4 Tiempo de vida (segundos) de las gotas de agua (Liu, Kashef, & Benichou, 2002)

Tabla 3.1 Características de las mangueras de 4 capas

Tabla 3.2 Características de las mangueras de 3 capas

Tabla 6.1 Resumen de las pruebas 1 y 2

Tabla 6.2 Pesos de mangueras en carga y en vacío

NORMATIVA

DIN 14827 – 1:2005 – 12. Feuerwehrwesen – Schlautragekörbe – Teil 1: Schlautragekörbe für druckschläuche B, C und D

NFPA 1964 – Standard for spray nozzles (Shutoff and Tip). 1998

UNE 23 – 091 – 89 – parte 1. Mangueras de impulsión para lucha contra incendios: Generalidades

UNE 23 – 091 – 90 – parte 4. Mangueras de impulsión para lucha contra incendios: Descripción de procesos y aparatos para pruebas y ensayos

UNE 23 – 091 – 81 – parte 2B. Mangueras de impulsión para lucha contra incendios: Manguera flexible plana para servicio duro 25, 45, 70 y 100 mm

UNE – EN 694. Mangueras de lucha contra incendios. Mangueras semirrígidas para sistemas fijos

UNE-EN 837-1. Manómetros. Manómetros de tubo Bourdon

UNE - EN 1028 - parte 1. Bombas contra incendios. Bombas centrífugas contra incendios con cebador: Clasificación. Requisitos generales y de seguridad

UNE - EN 1028 - parte 2. Bombas contra incendios. Bombas centrífugas contra incendios con cebador: Verificación de requisitos generales y de seguridad

UNE - EN 1846 – 1. Vehículos contra incendios y de servicios auxiliares: Nomenclatura y designación

UNE - EN 1846 – 2. Vehículos contra incendios y de servicios auxiliares: Requisitos comunes, seguridad y prestaciones

UNE - EN 1846 – 3. Vehículos contra incendios y de servicios auxiliares: Equipos instalados permanentemente. Seguridad y prestaciones

UNE - EN 15182 - parte 1. Lanzas de manguera manuales destinadas a los servicios contra incendios: Requisitos comunes

UNE - EN 15182 – parte 2. Lanzas de manguera manuales destinadas a los servicios contra incendios: Lanzas de manguera mixtas PN 16

UNE - EN 15182 – parte 3. Lanzas de manguera manuales destinadas a los servicios contra incendios: Lanzas de manguera de chorro pleno y/o difusión en ángulo fijo PN 16

UNE - EN 15182 – parte 4. Lanzas de manguera manuales destinadas a los servicios contra incendios: Lanzas de manguera de alta presión PN 40

UNE - EN 15889. Mangueras de lucha contra incendios. Métodos de ensayo

UNE 23400 – parte 1. Material de lucha contra incendios. Racores de conexión de 25 mm

UNE 23400 – parte 2. Material de lucha contra incendios. Racores de conexión de 45 mm

UNE 23400 – parte 5. Material de lucha contra incendios. Racores de conexión. Procedimientos de verificación

Glosario de términos

- **Caudal Crítico:** Se entiende como el caudal mínimo suficiente para el ataque a incendios que se encuentren en su fase inicial o de decaimiento
- **Caudal Ideal:** Se entiende como el caudal necesario para hacer frente en con la seguridad necesaria ante un cambio desfavorable y brusco en las condiciones del incendio
- **Grupo de buceo en humo:** Se considera la unidad básica de intervención en tareas de penetración en ambientes con presencia de gases de incendio. Esta unidad, como mínimo se compone de un Jefe de Buceadores de Humo y un binomio de buceadores en humo. **Se definen como tareas:** La penetración en ambientes con humos densos de incendio, usualmente en interiores, con el fin de salvar vidas, extinguir incendios y en general con emergencias similares
- **Instalación:** Conjunto de mangueras y elementos que permiten el transporte de agua desde la bomba hasta la lanza
- **Instalación en Volado:** Hace referencia a instalaciones de desarrollo vertical con reducido número de puntos de apoyo. Se podrá desarrollar por huecos de escalera o por fachada
- **Instalación en Pendiente:** Hace referencia a instalaciones de desarrollo vertical en las que las líneas de mangueras se apoyan en contacto directo con el suelo. Por ejemplo apoyadas en los tramos y mesetas de la escalera
- **Jefe de Buceadores en Humo (JBH):** Es la persona que dirige las operaciones de buceo en humo. Durante el buceo en humo, es indispensable que exista un jefe de buceadores. Esta persona debe tener necesariamente la adecuada formación y experiencia como buceador de humo para poder llevar a cabo operaciones de rescate en cualquier momento en que sea necesario.
- **Línea de abastecimiento:** Es el conjunto de mangueras con sus elementos instaladas desde la bomba hasta el punto base.
- **Línea de Ataque:** Es el conjunto de mangueras instaladas con sus elementos desde el punto base utilizado por el binomio de buceadores de humo para labores de rescate y/o extinción.
- **Línea de Seguridad:** Es el conjunto de mangueras instaladas con sus elementos desde el punto base que en caso necesario será utilizada por el jefe de buceadores de humo, con el objetivo de realizar un rescate o apoyar en la intervención.
- **lpm:** Unidad de medida de caudal equivalente a litros/minuto
- **Punto de Acceso:** Lugar de entrada al recinto/edificio siniestrado
- **Punto Base:** Lugar desde donde parten las operaciones de extinción y rescate a realizar por el binomio de buceadores de humo con el apoyo de su jefe.
- **rpm:** revoluciones por minuto.