

CAPÍTULO 7

TEORÍA DE LA EXTINCIÓN DEL FUEGO

FORMAS DE EXTINCIÓN DEL FUEGO

El fuego es una reacción química que se produce con desprendimiento de calor, en la que el combustible es oxidado rápidamente por un comburente como el oxígeno del aire al serle aplicado calor. En los fuegos con llama, dentro de ésta se producen un conjunto de reacciones químicas denominadas genéricamente como reacción en cadena que proporciona calor para mantener el proceso a pesar de que se retire la fuente inicial de calentamiento.

La extinción del fuego se produce limitando o eliminando uno o más de los elementos esenciales en el proceso de combustión.

En una combustión con llama, el fuego puede apagarse reduciendo la temperatura, eliminando el oxígeno o el combustible, o deteniendo la reacción química en cadena. No es necesaria la eliminación completa de oxígeno y combustible; basta que las proporciones de estos elementos no estén dentro del rango de inflamabilidad.

Si un fuego está en el modo latente o de brasas, solo existen tres opciones de extinción: reducción de la temperatura, eliminación del combustible, y reducción o eliminación del oxígeno.

Si utilizamos como referencia gráfica el triángulo o tetraedro del fuego, podríamos decir que la extinción de un fuego se produce eliminando uno de sus lados.

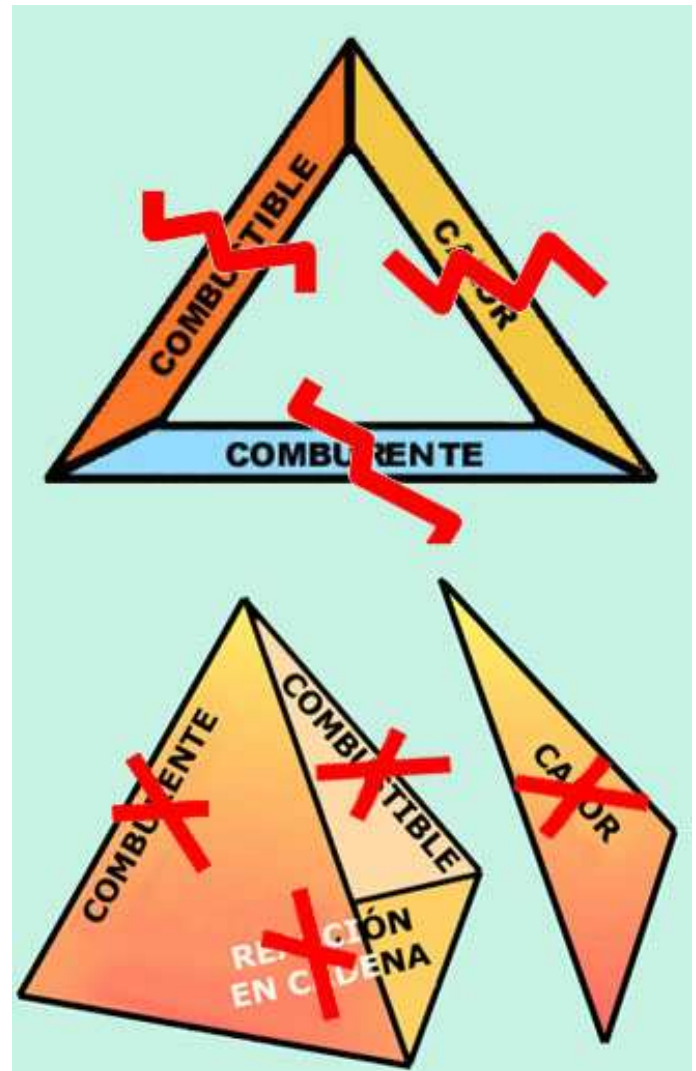


Figura 7.1. La extinción del fuego se consigue eliminando cualquiera de los lados de triángulo o el tetraedro del fuego.

Extinción por reducción de la temperatura

Una de las formas más comunes de extinción es el enfriamiento. Este proceso de extinción implica la reducción de la temperatura del combustible hasta un punto en que no se produzcan suficientes vapores para arder.

Los combustibles sólidos y algunos líquidos deben calentarse hasta que desprendan vapores combustibles capaces de arder. En los fuegos de estos combustibles, si se reduce la temperatura al nivel suficiente, el combustible dejará de vaporizarse y el fuego se apagará.

El fuego se mantiene cuando se desprende de él suficiente calor para mantener el proceso de combustión.

Si se aplica al fuego cualquier producto que absorba el calor necesario para mantener la combustión, el fuego se apagará.

La reducción de la temperatura implica la aplicación de un flujo adecuado de agente extintor en la forma correcta para establecer un balance térmico negativo, es decir para que el fuego pierda más calor que el que genera en la reacción de combustión.

Extinción por separación del combustible

La eliminación del combustible supone la extinción del fuego. Esta eliminación del combustible puede producirse por las siguientes causas:

- Porque todo el combustible se ha consumido
- Porque se ha cortado el suministro de combustible
- Porque la cantidad de vapores combustibles no es suficiente para el oxígeno disponible.

A veces las estrategias defensivas en la lucha contra el fuego buscan eliminar la aportación de combustible al fuego:

- Separando físicamente el combustible del oxígeno
- Separando combustible no quemado
- Dejando quemar el combustible

La eliminación del combustible puede ser la única estrategia adecuada en los fuegos de gas, ya que apagar estos fuegos si no se puede cortar el suministro permitirá la expansión del gas que puede explosionar posteriormente por cualquier causa, pasando de tenerse un foco de fuego localizado a un riesgo de explosión.

Extinción por sofocación, dilución o desplazamiento del oxígeno

Cuando la proporción de oxígeno desciende por debajo del 18% el fuego comienza a decrecer, y cuando se reduce por debajo del 15% la concentración de oxígeno en la atmósfera en la que se está produciendo el fuego, éste se apaga.

Un fuego puede extinguirse:

- Inundando la zona con un gas inerte que desplace el oxígeno o haga disminuir su concentración por debajo del 15%
- Separando físicamente la fuente de vapores combustibles de la atmósfera

Puede reducirse el contenido de oxígeno inundando la zona con un gas inerte que lo desplace. Entre los productos que se utilizan para apagar el fuego por este procedimiento están el dióxido de carbono, el argón, el nitrógeno, o mezclas de estos gases.

También puede reducirse el oxígeno de la atmósfera en contacto con el combustible interponiendo entre

ambos un elemento separador. De ese modo se apaga el fuego de una sartén sobre la que se coloca una tapadera: la atmósfera entre la tapadera y la superficie del aceite tiene muchos vapores de combustible y muy poco oxígeno.

Este mismo efecto es el que se produce cuando se cubre un incendio de un líquido combustible con espuma; bajo la espuma no hay suficiente oxígeno para mantener la mezcla de éste con los vapores del combustible dentro del rango de inflamabilidad, por lo que se apaga el fuego.

Algunos combustibles generan ellos mismos oxígeno en el proceso de combustión, por lo que este método de extinción no funciona con dichos combustibles.

Extinción por inhibición de la reacción en cadena

Algunos agentes extintores, como los polvos químicos secos y los hidrocarburos halogenados, interrumpen la reacción que se produce en la llama y la eliminan. Este método de extinción es efectivo en los gases y en los líquidos combustibles, debido a que arden con llama.

Los fuegos de brasas no se apagan fácilmente con este método, debido a que en el momento en el que se corte el flujo de agente extintor, el aire tendrá de nuevo acceso a las brasas del combustible y este continuará ardiendo. La única forma práctica de apagar un fuego de brasas es enfriando.

MÉTODOS DE EXTINCIÓN SEGÚN LA CLASE DE FUEGO

Las normas establecen una clasificación de los fuegos en función del combustible. Esta clasificación presenta diferencias entre normas europeas y americanas.

Según la normativa europea, los fuegos de sólidos se denominan de clase A, los de líquidos de clase B, los de gases como de clase C, los fuegos de metales fácilmente combustibles se denominan de clase D y los fuegos en aparatos de cocina de grasas y aceites de cocinar, se incluyen en la clase F.

La normativa en los países americanos difiere de la europea en que los fuegos de líquidos y gases se clasifican conjuntamente como fuegos de clase B, mientras que los fuegos de clase C son los de equipos eléctricos en tensión, es decir los fuegos eléctricos. El presente texto está basado en la clasificación de los fuegos según la normativa europea.

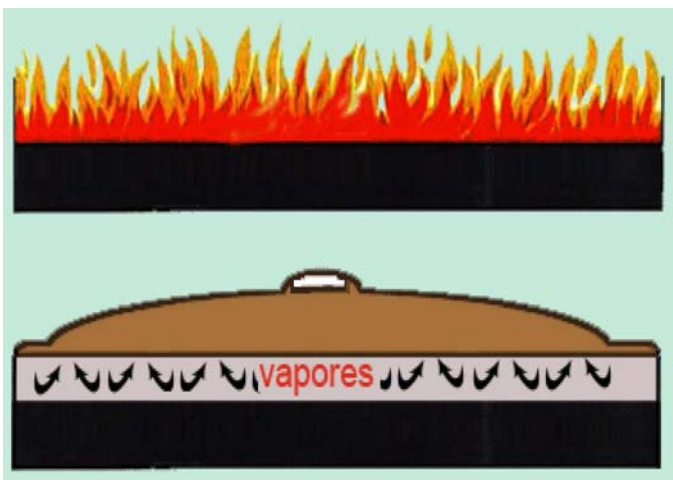


Figura 7.2. Si se pone una tapadera sobre un líquido ardiendo los vapores se aíslan del oxígeno y el fuego se apagará.

Páginas suprimidas en esta muestra

Relación entre el tamaño de las gotas y la capacidad extintora

Cuanto más pulverizada esté el agua, es decir cuanto menor sea el tamaño de las gotas, la superficie que exponen al fuego es mayor, la evaporación es más rápida y también lo es la extinción.

La razón es que cuanto más se divide en pequeñas gotas el agua, será mayor la superficie expuesta al calor. Un litro de agua con gotas de 1 mm de diámetro tiene una superficie total de 6 m², pero si el diámetro es de 0,01 mm, la superficie total de las gotas es de 600 m². Por eso, al tener más superficie expuesta es capaz de absorber más calor y enfría más.

Usando agua pulverizada se reducen asimismo los daños adicionales producidos por el agua de la extinción.

El agua finamente pulverizada, tiene una gran cantidad de aplicaciones para protección de dispositivos muy sensibles o líquidos combustibles.

Se utilizan sistemas que permiten una muy fina pulverización y una gran energía cinética de las gotas, para permitirle alcanzar el foco del incendio.

Al usarse una pequeña cantidad de agua los daños residuales son pequeños a pesar de su gran eficacia extintora. Los sistemas denominados water-mixt utilizan este principio.

Agua con humectantes

Las cualidades extintoras del agua pueden mejorarse para diversas aplicaciones. Existen numerosos aditivos; los más importantes son las espumas, pero también se utilizan frecuentemente los humectantes.

La adición de aditivos humectantes aumenta la capacidad del agua de apagar los fuegos de clase A, especialmente los fuegos profundos (apilamientos de paja, carbón, etc.) y en materiales gruesos. Esto es debido a que los agentes humectantes reducen la tensión superficial del agua, permitiéndole formar gotas más pequeñas, penetrar más fácilmente por pequeños huecos, y mojar a otras sustancias más fácilmente, haciéndola literalmente más fluida.

Además, al tener menos tensión superficial, las partículas de agua no se adhieren a otras partículas próximas, lo que les haría tener conjuntamente un mayor peso, pero sí se adhieren a las superficies sobre las que contactan: Por eso se mantienen más tiempo adheridas

	Diámetro de las gotas (mm)	Superficie exterior de las gotas en 1 litro de agua (m ²)
	10	0.6
	1	6
	0.1	60
	0.01	600

Figura 7.7. Un litro de agua con gotas de 1 mm de diámetro tiene una superficie de 6 m², pero si el diámetro es de 0,01 mm, la superficie total de las gotas es de 600 m². Al tener más superficie absorbe más calor y enfría más.

a las superficies, manteniendo su capacidad de refrigeración y previniendo la ignición de combustibles que hayan sido alcanzados antes de que comiencen a arder.

El agua con humectantes también se conoce como espuma de clase A, por su efectividad en los fuegos de sólidos, o fuegos de clase A.

El agua con humectantes se utiliza para mejorar la eficacia en la extinción de fuegos de materiales sólidos, como madera, paja, algodón, productos de caucho, y en algunos incendios de vegetación.

Los humectantes se mezclan con el agua en pequeñas proporciones (0,2 - 1%) y pueden verse directamente en el depósito de agua del vehículo, ya que se aplican con equipos convencionales. No obstante también pueden utilizarse proporcionadores de los utilizados para las espumas.

Aunque hay sistemas de dosificación por bombeo que permiten las pequeñas proporciones de mezcla exigi-



Figura 7.8. Los humectantes se utilizan para fuegos profundos como los que se producen en apilamientos de carbón.

das para los humectantes, pueden utilizarse también proporcionadores convencionales de espuma realizando una dilución previa del humectante, ya que los porcentajes de los proporcionadores de espuma son normalmente mayores que los de dosificación de humectante.

Los humectantes no deben mezclarse con otros espumógenos, ya que modifican negativamente sus propiedades.

Espesantes y otros aditivos del agua para la extinción

El agua tiene una viscosidad relativamente baja, lo que hace que escurra con rapidez de las superficies sobre las que se aplica.

En algunos casos es deseable que el agua sea más viscosa para que se adhiera mejor al combustible haciendo más permanente la protección. Para ello se utilizan aditivos espesantes, que pueden llegar a transformar el agua en un gel de elevada adherencia.

El agua con espesantes permite una mayor protección superficial, pero disminuye sensiblemente su poder de penetración. Sin embargo tiene también algunos otros inconvenientes, por ejemplo el incremento de las pérdidas de carga en las mangueras, y que hacen resbaladizas las superficies sobre las que se aplica.

Una de las utilidades de esta agua con espesantes es la protección de masas de vegetación contra el avance del frente de un incendio forestal, disminuyendo su velocidad de propagación.

Al agua para extinción se le añaden en ocasiones otros aditivos, como por ejemplo productos anticongelantes cuando se esperan temperaturas por debajo del punto de congelación del agua.

En algunos casos también se utilizan aditivos para reducir las turbulencias, que se conocen como modificadores de flujo. Al conseguirse un flujo más laminar, con menos turbulencias, puede aumentarse la presión y el caudal de agua en la línea.

LAS ESPUMAS EXTINTORAS

La sofocación, o efecto de exclusión del oxígeno, es el método más efectivo de extinción para fuegos de líquidos. Este efecto de sofocación puede conseguirse de varios modos, pero cuando es necesario en grandes masas de combustibles líquidos, el agente extintor más adecuado es la espuma.

La espuma es una masa de burbujas producidas al mezclar aire con una emulsión de agua y un producto espumógeno. Esta emulsión recibe el nombre de espumante.

La espuma flota y se mantiene sobre la superficie del combustible, aislándolo del aire, y reduciendo la emisión de vapores inflamables.

En el caso de combustibles líquidos polares, como el alcohol, la acetona, y otros líquidos que son miscibles con el agua, es preciso utilizar espumas especiales, denominadas antialcohol.



Figura 7.9. El agua con aditivos espesantes se transforma en un gel.



Figura 7.10. La espuma flota sobre los líquidos combustibles y sofoca el fuego separándolos del oxígeno del aire.

Páginas suprimidas en esta muestra

Entre las de origen orgánico están las proteínicas y las fluoroproteínicas.

Las espumas sintéticas pueden ser de muy diverso tipo y tener o no aditivos fluorados. Con espumógenos sintéticos pueden conseguirse espumas de baja, media o alta expansión, en función de su composición.

Un tipo especial de espuma sintética lo constituye el de las espumas AFFF (A triple F) o formadoras de película acuosa. Su denominación proviene de las siglas en inglés de su nombre completo: Aqueous Film Forming Foam. Estas espumas tienen una elevada fluidez y forman con rapidez una fina película sobre la superficie del combustible aislándolo del aire. Los espumógenos AFFF son del tipo fluorosintético. La espuma AFFF puede usarse con lanzas normales que no sean de aireación.

También se fabrica y utiliza espuma fluoroproteínica formadora de película acuosa, denominada FFFP (triple F-P), denominación que deriva de las siglas de su nombre en inglés: Film Forming FluoroProtein. Esta espuma ofrece los beneficios de la fluoroproteínica de resistencia al calor durante mucho tiempo, unida a la capacidad de formar una película que ayuda a apagar rápidamente el fuego.

Existen espumas antialcohol para extinguir fuegos de líquidos polares como el alcohol, acetonas, disolventes para lacas, aldehídos, ácidos, ésteres, etc. Hay variedades antialcohol de las espumas fluoroproteínicas y de las sintéticas, incluso de las AFFF. No obstante algunas espumas AFFF antialcohol no son muy estables, pudiendo deteriorarse en su almacenamiento, incluso pueden deteriorarse a bajas temperaturas; debe consultarse al fabricante sobre su caducidad. Para denominar la cualidad de resistencia al alcohol y a otros productos polares, las espumas suelen también identificarse con las siglas AR, del inglés Alcohol Resistant, o resistente al alcohol.

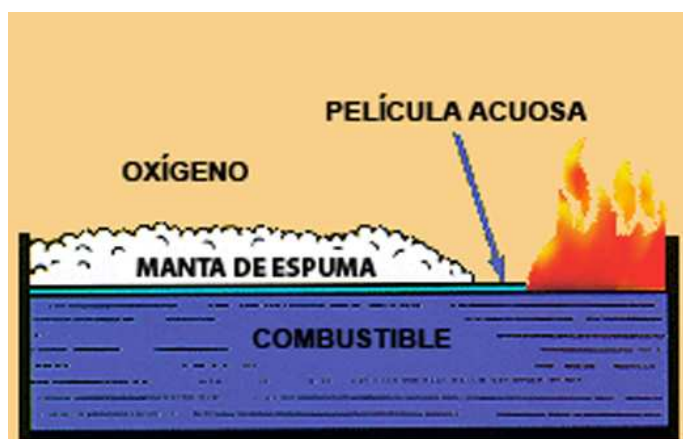


Figura 7.16. Efecto de la espuma AFFF.



Figura 7.17. Tarra de espuma AFFF antialcohol. Se indica la dosificación para hidrocarburos y para alcohol (3 y 6%).

Algunas espumas son polivalentes, sirviendo para hidrocarburos o solventes polares, pero solo funcionarán adecuadamente si se utilizan a la concentración prevista para cada caso, que generalmente son distintas.

Las espumas más utilizadas para combatir fuegos de líquidos son las de baja expansión, y, entre ellas, las más habituales son las AFFF. Las de alta expansión se utilizan para la extinción de fuegos en lugares de difícil acceso, por ejemplo en sótanos.

Espumas de clase A

Se conocen como espumas de clase A, a las resultantes de mezclar agua con un aditivo humectante.

Estos aditivos, aplicados en pequeñas concentraciones, de incluso el 0,2%, reducen la tensión superficial, lo que contribuye a mejorar la penetración, permitiendo un mejor acceso a focos profundos y mojando más la superficie sobre la que se aplica.

La disminución de la tensión superficial hace que las gotas sean más pequeñas y con menor peso, por lo que también tardan más tiempo en escurrir hacia el suelo desde las superficies que alcanzan, protegiéndolas de la ignición si aún no están ardiendo.

Se aplican con lanzas convencionales.

Las características de este tipo de espuma son similares a las que se describen en el apartado destinado a agua con humectante reseñado anteriormente.

Los espumógenos de clase A se mezclan con el agua en proporciones inferiores al 1%. Pueden verse directamente en el depósito de agua del vehículo, ya que se aplican con equipos convencionales, o utilizar dosificadores automáticos.

Espumas de aire comprimido (CAF)

Las espumas pueden aplicarse utilizando sistemas convencionales de aspiración de aire en la lanza, o utilizando sistemas de aire comprimido para obtener unas espumas especiales, más densas, estables y uniformes.

Los sistemas convencionales y más usuales son los de aspiración. Estos sistemas se conocen en los países anglosajones por las siglas NAFS (Nozzle Aspirating Foam System, o sistemas de espuma con aspiración en la lanza).

A los sistemas de aire comprimido se los conoce internacionalmente como CAFS (Compressed Air Foam System, o sistemas de espuma por aire comprimido).

Aunque las CAF pueden conseguirse con espumógenos de baja expansión previstos para líquidos inflamables y generalmente del tipo AFFF, en la mayoría de los casos se usan para fuegos de sólidos, por lo que se utilizan para producirlos espumógenos de clase A.

Su aplicación más usual es para incendios en edificios o en incendios de vegetación. Su utilización es creciente porque presenta diversas ventajas que se exponen más ampliamente en el capítulo sobre espumas.

Las espumas CAF pueden tener dosificaciones diversas para obtener una espuma con mayor o menor cantidad de agua, según el propósito.

Su índice de expansión es aproximadamente de 10, es decir que con 1.000 litros de agua se consiguen unos 10.000 litros de espuma CAF.



Figura 7.18. Imagen de una espuma de aire comprimido (CAF), en la que se aprecia su densidad.

Utilización de las espumas

Las espumas de baja expansión se utilizan fundamentalmente para extinguir fuegos de líquidos combustibles.

También pueden usarse para sellar grandes derrames de combustible líquidos impidiendo la emanación de vapores inflamables, ya que una vez cubierto completamente el derrame, su peligrosidad será muy pequeña. En este sentido, la espuma se utiliza en instalaciones fijas de extinción en recintos donde pueden súbitamente producirse grandes derrames de combustibles, por ejemplo en hangares de aviación. De modo preventivo, también se preparan mantas de espuma en incidentes en los que eventualmente pueden llegar a producirse estos derrames, por ejemplo en un aterrizaje de emergencia en un aeropuerto.

Las espumas de baja expansión también se utilizan a veces en vertidos de productos no inflamables, pero que desprenden vapores tóxicos o peligrosos en algún sentido, siempre que estos líquidos no sean incompatibles con el agua. La manta de espuma impide o dificulta la dispersión de los vapores mejorando la seguridad de estos incidentes.

Las espumas de media expansión son las menos utilizadas. En general se utilizan para incendios en los que haya que cubrir ciertos volúmenes, pero para los que no sea necesario ni práctico usar espumas de alta expansión, por ejemplo en instalaciones que provoquen derrames inflamados pero que incluyan también elementos tridimensionales que se deban proteger. No obstante, la versatilidad de las espumas modernas de baja expansión, y fundamentalmente las espumas AFFF, ha hecho decaer sensiblemente el uso de las espumas de media expansión. No obstante, como muchos espumógenos pueden producir indistintamente espuma de media y alta expansión, puede disponerse de un espumógeno de alta, que podrá eventualmente usarse para media expansión cuando las circunstancias lo requieran.

Las espumas de alta expansión, que son capaces de generar grandes volúmenes de espuma a partir de pequeñas cantidades de agua, son útiles para atacar fuegos en lugares de difícil acceso, como sótanos, bodegas, y otros espacios confinados. Pueden también utilizarse para llenar recintos donde se hayan acumulado gases inflamables o tóxicos.

Las espumas de clase A, que se forman añadiendo aditivos humectantes al agua, se utilizan para atacar fuegos de combustibles sólidos, o para mojar combustibles por delante del fuego creando una barrera resistente a la ignición.

Páginas suprimidas en esta muestra

Los halones más utilizados por su mayor capacidad extintora e inferior toxicidad son:

Halón 1211, Bromoclorodifluormetano (CF_2ClBr)

Halón 1301, Bromotrifluormetano (CF_3Br)

El nombre identifica el número de átomos de Carbono, Flúor, Cloro, y Bromo que tiene la molécula, que son para el Halón 1211 y 1301 respectivamente:

C	F	Cl	Br
1	2	1	1
1	3	0	1

Los halones tienen un gran poder extintor, actúan por inhibición de la reacción en cadena y a temperatura ambiente, teniendo una toxicidad moderada o baja en los usados comercialmente como agentes extintores.

No obstante, estos gases generan problemas medioambientales al destruir la capa de ozono que cubre la atmósfera y actúa como barrera protectora contra las radiaciones cósmicas.

Debido a ello, la comunidad internacional adoptó el acuerdo de no fabricación y de reducción progresiva del uso de estos halones en el documento conocido como Protocolo de Montreal.

La Directiva Europea para aplicación de los acuerdos del Protocolo de Montreal exigió la retirada del servicio de los sistemas de protección contra incendios y los extintores de incendios conteniendo halones antes del 31 de diciembre de 2003, con las siguientes excepciones para usos críticos que pueden seguir usando halones reciclados procedentes de otras instalaciones desmanteladas:

- en aviones, para proteger cabinas de la tripulación, góndolas de motor, bodegas de carga y en extintores portátiles
- en vehículos militares terrestres y en buques de guerra, para la protección de las zonas ocupadas por el personal y los compartimentos de motores
- para hacer inertes las zonas ocupadas en las que puede haber fugas de líquidos y/o gases inflamables en el sector militar, el del petróleo, el del gas, el petroquímico y en buques de carga existentes
- para hacer inertes puestos tripulados de control y de comunicación de las fuerzas armadas o de otro modo esenciales para la seguridad nacional existentes
- para hacer inertes zonas en las que pueda haber riesgo de dispersión de material radiactivo
- en el túnel bajo el Canal de la Mancha y en sus instalaciones y material circulante.
- en extintores básicos para la seguridad del personal, para la extinción realizada por bomberos
- en extintores militares y de fuerzas de policía para su uso sobre personas.

El producto a usar en los extintores es exclusivamente halón 1211. En instalaciones fijas puede usarse halón 1211 o 1301.

A partir de enero de 2004 los halones tienen la consideración de residuo peligroso. Todas las instalaciones de halón deben ser desmontadas (el plazo legal finalizó el 31 de diciembre de 2003) y el producto debe ser recogido por un gestor de residuos autorizado. Las descargas al medio ambiente están prohibidas.

Agentes limpios

Las instalaciones que exigen protección con agentes extintores gaseosos de baja toxicidad y alto poder extintor, que antes se resolvían utilizando halones, han sido sustituidas por otras a base de otros gases, algunos de ellos de nueva formulación.

La industria química internacional ha puesto en circulación numerosos gases extintores para sustituir a los halones, con mayor o menor éxito.

A esta gama de productos gaseosos utilizados para sustituir a los halones se los conoce genéricamente como "agentes limpios".

Los agentes limpios se clasifican en dos grandes grupos: los inertes y los halocarbonados.

Los mecanismos de extinción en el caso de los gases inertes es la reducción de la concentración de oxígeno hasta un nivel que no mantiene la combustión, mientras que con los halocarbonados el fuego se apaga principalmente por la interferencia de la reacción en cadena aunque también producen un enfriamiento de la reacción por absorción de calor.



Figura 7.22. Instalación fija de extinción por gas en el momento de su descarga.

Los gases inertes actualmente más utilizados para la extinción de incendios son:

- Inergén, nombre comercial de una mezcla de nitrógeno, argón, y dióxido de carbono
- Argonite, nombre comercial de una mezcla al 50% de nitrógeno y argón
- Argón (utilizado al 100%)

Los halocarbonados más utilizados son conocidos por los siguientes nombres comerciales:

- FM-200
- FE-13
- FE-25
- Novec 1230
- FE-36

GENERADORES DE AEROSOL

Otro producto extintor utilizado en ocasiones para instalaciones fijas, son los generadores de aerosol.

Un aerosol es un sólido o líquido en suspensión en un medio gaseoso.

Los aerosoles extintores se obtienen por combustión de un producto sólido o un gel. Existen diversas formulaciones, con distinta capacidad extintora.

Un generador de aerosol es un equipo con un dispositivo pirotécnico de encendido que al activarse inicia la combustión de una carga extintora que produce gran cantidad de partículas microscópicas sólidas (de entre 1 y 5 micras de diámetro), fundamentalmente nitratos o carbonatos metálicos. Estas partículas quedan en suspensión en el aire del recinto.

El principal mecanismo de extinción es la inhibición de la reacción en cadena, del mismo modo que lo hacen los polvos químicos secos.



Figura 7.23. Generadores de aerosol