



BOMBEROS C.E.I.S. de la REGIÓN DE MURCIA

TEMA 8 PARTE ESPECÍFICA

Agentes extintores gaseosos. Tipos, características, propiedades y mecanismos de extinción. Aplicaciones, usos, ventajas e inconvenientes de los agentes extintores.

1. Nitrógeno
2. Anhídrido carbónico
3. Hidrocarburos halogenados
4. Nuevos agentes extintores

4.1. Agentes Inertes

4.2. Agentes halogenados

✓ Técnicas alternativas.
✗ Técnicas tradicionales.

Sustancias
inertes
halógenas

Se conocen genéricamente como agentes extintores, aquellos productos o mezclas de productos que, en base a sus características particulares, provocan la extinción de un fuego cuando son proyectados sobre éste. El empleo de agentes extintores concretos sobre el fuego supone la acción de alguno de los diferentes mecanismos de extinción posibles, o lo que es habitual, la actuación simultánea de varios de ellos. De hecho, cualquier agente extintor presenta un mecanismo de extinción principal y uno o más secundarios.

En este tema trataremos los agentes extintores gaseosos, entre los cuales destacan el Nitrógeno, el Anhídrido carbónico, los extintos Halógenos y los sustitutos de estos últimos.

1. NITRÓGENO (IG 100)

El nitrógeno es un gas no tóxico, incoloro, inodoro e insípido que se encuentra presente en la mezcla de aire atmosférico en una proporción aproximada del 78%. Se presenta en forma molecular mediante la unión de dos átomos por un enlace tripe, lo que le confiere una gran estabilidad química, así como frente a las altas temperaturas. Es inerte y actúa como agente diluyente del oxígeno en los procesos de combustión.

Aunque el nitrógeno se ha usado como agente inertizante en ciertas aplicaciones, su utilización como agente extintor estuvo prácticamente en desuso en favor de los hidrocarburos halogenados y, de manera especial, del anhídrido carbónico. No obstante, actualmente entra a formar parte en la composición de ciertos agentes que se presentan como sustitutos al halón, como el *Inergén* (IG 541) y el *Argonite* (IG 55), e incluso como agente único (IG 100). Su mecanismo extintor, al igual que todos los gases inertes, es la dilución del oxígeno hasta alcanzar una concentración que no mantenga la combustión. Igualmente, se usa ampliamente como agente propulsor en los extintores de polvo.

2. ANHÍDRIDO CARBÓNICO

El anhídrido carbónico o dióxido de carbono, responde a la fórmula química CO_2 y está presente en la atmósfera en cantidades aproximadas de un 0'03% en volumen. Es necesario en el ciclo vital de los animales, ya que actúa como regulador del sistema cardiorrespiratorio, asegurando una cantidad de oxígeno adecuada, siendo al mismo tiempo, un subproducto de la respiración.

A presiones y temperaturas atmosféricas normales es un gas incoloro, inodoro y sabor ácido que puede ser sometido a distintas presiones y temperaturas, modificando su estado físico. Su temperatura crítica es de 31 °C, por encima de la cual se encuentra en estado *supercrítico*, con independencia de la presión aplicada.

Entre 31 °C y su temperatura de punto triple (-56'5 °C), pueden coexistir los estados líquido y gas dentro de un envase cerrado. Por debajo del punto triple, sólo puede estar en estado sólido (nieve carbónica) o gas, dependiendo de la presión y la temperatura.

→ Son sustancias o elementos que se interactúan poco o nada reactivos definiéndose a bajo determinadas condiciones de presión y temperatura.

El anhídrido carbónico es un compuesto muy estable y no tóxico, con un peso superior al del aire (aproximadamente un 53% más). Al no ser reactivo, se le considera un gas inerte por lo que es utilizado para producir atmósferas que no mantienen la combustión por desplazamiento del oxígeno. Está considerado como un agente extintor limpio, puesto que no deja residuos en las zonas donde se aplica, y no es conductor de la electricidad. No obstante, al ser expulsado del recipiente, la velocidad de rozamiento puede provocar cargas estáticas en las boquillas de descarga, por lo que es aconsejable que se encuentren puestas a tierra.

En estado líquido, puede almacenarse a temperatura ambiente y a una presión aproximada de 60 kg/cm² en recipientes de alta presión, o bien a 21 kg/cm² en depósitos aislados y refrigerados de baja presión, que permiten mantener una temperatura aproximada de -18 °C. Los recipientes de alta presión son los utilizados de forma habitual en los extintores portátiles y baterías de botellas de los sistemas fijos automáticos.

A pesar de no ser una sustancia tóxica, el CO₂ puede causar la muerte por asfixia en las proporciones utilizadas normalmente en extinción de incendios. La concentración mínima empleada en los sistemas de inundación total es del 34% en volumen; la exposición a tales concentraciones provoca paro respiratorio de forma inmediata, aun en el supuesto caso de que existiera oxígeno suficiente.

Como hemos comentado, el principal mecanismo extintor del anhídrido carbónico es la sofocación por desplazamiento de oxígeno. La descarga se realiza principalmente en forma de gas, que envuelve completamente el material en ignición, reduciendo la concentración de oxígeno hasta crear una atmósfera inerte. Al ser más pesado que el aire, puede permanecer sobre la superficie del combustible reforzando la sofocación un cierto tiempo, que dependerá de la zona donde se produzca la proyección del gas.

Asimismo, cuando se expansiona en la atmósfera, el anhídrido carbónico solidifica formando "nieve carbónica" en cantidades variables que depende principalmente de la temperatura de almacenamiento, produciendo temperaturas de hasta -80° C. De forma casi instantánea se produce la sublimación de la nieve carbónica, pasando a estado gaseoso y absorbiendo calor. A pesar de las bajas temperaturas alcanzadas, el efecto refrigerante del dióxido de carbono es muy pequeño, ya que sólo una parte de la fase sólida consigue transformarse en líquida y, además, el valor de su calor latente de vaporización es muy bajo si se compara con el del agua.

Aplicación
El Anhídrido carbónico puede ser utilizado con eficacia en fuegos superficiales de sólidos combustibles, pero su efectividad se encuentra limitada cuando estos fuegos son profundos.

→ Ligu. Comb. e Inflamables
En general, los fuegos de líquidos y gases combustibles son extinguidos con CO₂ cuando alcanza unas determinadas concentraciones. En espacios abiertos, puede utilizarse con relativa eficacia en fuegos de clase B si éste no tiene una magnitud excesiva y las condiciones de viento son favorables; es aplicable a fuegos de clase C, aunque presenta una baja efectividad.

Que es aislante o mal conductor del calor o la electricidad

Por ser dieléctrico, puede emplearse sobre equipos eléctricos bajo tensión, con la única excepción de aquellos que sean muy sensibles a la temperatura.

En cuanto a sus limitaciones, tener en cuenta que el anhídrido carbónico no es un agente extintor permanente. Si se ventilan atmósferas donde se haya descargado, puede producirse la reignición si los combustibles no se han enfriado por debajo de sus temperaturas de ignición.

• No debe utilizarse contra fuegos de productos químicos que tengan su propia provisión de oxígeno al arder, como la nitrocelulosa.

• No es aplicable a fuegos de metales y de hidruros metálicos. Estos materiales descomponen el dióxido de carbono.

• Debido a las concentraciones utilizadas normalmente en extinción, no debe emplearse en lugares que se encuentren ocupados de forma habitual, salvo que se garantice la evacuación antes de producirse la descarga.

3. HIDROCARBUROS HALOGENADOS

Los agentes extintores halogenados son compuestos formados por hidrocarburos, principalmente etano ($\text{CH}_3\text{-CH}_3$) y metano (CH_4), en los que uno o más átomos de hidrógeno de su molécula han sido sustituidos por átomos de elementos halógenos. Los elementos halógenos son el flúor, cloro, bromo, yodo y astato. De ellos, el astato nunca se ha utilizado en la elaboración de hidrocarburos halogenados, y los compuestos que incluían yodo, no llegaron a usarse debido a su poca estabilidad y gran toxicidad. Estos elementos se caracterizan por poseer un gran poder oxidante, y se unen al átomo de carbono mediante enlace covalente, modificando por completo las propiedades del compuesto final, al que le proporcionan ininflamabilidad y, en muchos casos, características extintoras.

A todos los agentes extintores halogenados se les conoce como **halones**, y se identifican mediante el número de halón, en donde el primer dígito especifica el número de átomos de carbono que tiene la molécula del compuesto; el segundo, el número de átomos de flúor; el tercero, el número de átomos de cloro; el cuarto, el número de átomos de bromo; y el quinto, si lo hubiere, el número de átomos de yodo. Los átomos de hidrógeno no se numeran y los ceros finales se omiten. Este sistema simplificado de identificación mediante dígitos, fue ideado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada Americana, y describe la composición química del compuesto sin necesidad de utilizar su nombre químico ni otros términos que pueden inducir a confusiones.

Desde el año 1.974 los dos únicos agentes reconocidos por la NFPA son el halón 1301 y el halón 1211. Ambos productos son gases a temperatura ambiente y se almacenan en forma líquida, sobrepresurizando los recipientes con nitrógeno para obtener un mayor rendimiento en la descarga. El halón 1301 se ha utilizado en las instalaciones fijas de inundación total, al ser más volátil y presentar un umbral de seguridad mayor que el halón 1211, empleándose éste último en instalaciones fijas de aplicación local y extintores portátiles. La eficacia extintora de ambos agentes es similar, si bien el halón 1301 obtiene mejores

resultados, y, en términos generales, su efectividad es comparable a la del bicarbonato sódico y unas 2'5 veces mayor que el CO_2

Los halones mencionados presentan un cierto efecto anestésico o narcótico, aunque ninguno de ellos ha demostrado efecto venenoso residual alguno.

- Aplicación

Pueden emplearse en fuegos de sólidos combustibles, presentando buena eficacia sobre líquidos y gases inflamables, especialmente en sistemas de inundación total. No son conductores de la electricidad, por lo que pueden utilizarse sobre equipos eléctricos bajo tensión, y al vaporizarse rápidamente, no dejan residuos de ningún tipo. Por el contrario, no deben utilizarse en fuegos de metales, puesto que pueden reaccionar violentamente con ellos, y su eficacia disminuye considerablemente cuando se aplica en espacios abiertos.

El principal mecanismo extintor de los halones es la inhibición química de los radicales activos que participan en la propagación de la llama. Cuando son aplicados sobre el fuego, se descomponen en distintos radicales, que se unen con los radicales activos O, H y OH producidos por el combustible, rompiendo la reacción en cadena.

También presentan cierto efecto sofocante, puesto que son gases y, como tales, desplazan una cierta cantidad de oxígeno, a la vez que presentan un relativo poder de enfriamiento.

Los hidrocarburos halogenados pertenecen a una familia de compuestos químicos denominados genéricamente como CFC's (clorofluorocarbonos), un grupo de sustancias que han sido reconocidas, en general, durante muchos muchos años, como uno de los compuestos más efectivos utilizados tanto para la refrigeración y envasado en aerosoles y los halones en particular, como uno de los agentes más eficaces para la extinción de incendios. Sin embargo, se ha demostrado que estos tipos de compuestos tienen consecuencias significativas para el medio ambiente debido a su potencial contribución a la reducción de la capa de ozono.

La legislación que existe con relación a los CFC's está basada en el Protocolo de Montreal y en las (dos) Enmiendas posteriores. Dicho Protocolo tiene como precedente la Convención de Viena, que aunque no incluyó restricciones en cuanto a los agentes utilizados, sí está considerada como la primera declaración de intenciones. El Protocolo de Montreal ya contemplaba las primeras listas de sustancias reguladas mediante la reducción y/o congelación de su producción y consumo, en las que aparecían cinco CFC's y tres halones: el 1211, el 1301 y el 2402. Las dos Enmiendas posteriores incluyeron más productos y aumentaron más las restricciones.

2ª

Como consecuencia de la Segunda Enmienda del Protocolo de Montreal, en los Diarios Oficiales de las Comunidades Europeas, apareció la *Decisión del Consejo 94/68/CE* y el *Reglamento nº 3093/94*, cuyas sentencias más significativas, bajo el punto de vista de la protección contra incendios, son la prohibición total de la producción de halones (halón 1211, halón 1301 y halón 2402), a partir del 31 de diciembre de 1993, y la utilización de compuestos hidroclorofluorocarbonados (NAF S-III), a partir del 22 de junio de 1995.

Posteriormente, el Reglamento CE 2037/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de junio de 2000 que modificó al anterior, mantiene la prohibición de producir los materiales anteriores (clorofluorocarbonados y otras sustancias similares entre los que se cita a los halones), y establece la posibilidad de que los estados miembro permitan la producción y uso de algunos, pero siempre dentro de una tendencia generalizada y gradual de reducción porcentual con respecto al año 1997, tomado como referencia.

6

Hasta 2010

Este Reglamento tiene un Anexo VI titulado "Usos críticos de los halones", y permite el uso de hidroclorofluorcarburos (HFC) para sustituir a los Halones 1301 y 1211 en una serie de aplicaciones que son:

- en aviones, para proteger las cabinas de la tripulación, las góndolas de motor, las bodegas de carga y las bodegas de carga seca.
- en los vehículos militares terrestres y en los 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 las zonas en las que puede haber riesgo de dispersión de material radiactivo.
- en el tunel del Canal y sus instalaciones y material circulante.

El Reglamento 2037/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo ha sido modificado en diversas ocasiones y de forma sustancial, así podemos destacar el Reglamento (CE) nº 744/2010 de 18 de agosto de 2010, en el que se publicó una serie de fechas a partir de las cuales se deberá eliminar el uso de halones para usos críticos y también el Reglamento 2017/605 de 29 de marzo de 2017 por el que se modifica el anexo VI del Reglamento 1005/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.

4. NUEVOS AGENTES EXTINTORES

Como consecuencia de las primeras restricciones para el uso de halones, las principales compañías productoras comenzaron a diseñar nuevos agentes que pudieran sustituirlos. En el año 1993 la NFPA (National Fire Protection Association), publica el Standard 2001 *Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*, en el que se establece qué sustancias pueden sustituir a los halones, y regula los requisitos para el diseño, instalación y pruebas de los nuevos sustitutos.

Entre las características principales que deben reunir los agentes destinados a reemplazar a los halones podemos destacar:

- ⇒ No han de tener efectos sobre el medio ambiente. Los parámetros que se consideran son el ODP (Ozone Depletion Potential), que es el potencial de agotamiento de ozono; el GWP (Global Warming Potential), que es el potencial de calentamiento global (o efecto invernadero) y el ALT (Atmosphere Life Time), que es el tiempo de vida en la atmósfera. El primero debe ser nulo, mientras que los otros han de ser nulos o lo más bajo posible.
- ⇒ Buena eficacia extintora.
- ⇒ No debe dañar los equipos protegidos. *→ Bienes*
- ⇒ Seguridad para las personas. La concentración de diseño tiene que estar por debajo del NOAEL (No Observed Adverse Effect Level), que es la concentración máxima a la que no se observa ningún efecto adverso. En agentes inertes, otro factor limitante es que la concentración de oxígeno sea suficiente para respirar.

En la actualidad, y en líneas generales, podemos agrupar los diferentes sustitutos de los halones en:

- 3º ⇒ **Agentes extintores gaseosos sustitutivos de los halones.** También se denominan agentes limpios (clean agents) porque no dejan rastro después de utilizarlos y no son conductores de la electricidad. Podemos distinguir dos clases:

Agentes limpios

- **Los agentes inertes.**
- **Los agentes halogenados.**

- 1º ⇒ **Técnicas alternativas.** Aparte de las alternativas gaseosas para los halones, nuevos sistemas tales como las tecnologías de nebulización de agua y aerosoles en polvo se desarrollan como alternativas de los equipos de lucha contra incendio que contienen halones.

- 2º ⇒ **Sistemas tradicionales.** Antes del advenimiento de los halones y conjuntamente con su empleo, se utilizaban polvos químicos, CO₂, rociadores (sprinklers) y espumas. Estos productos y sistemas siguen siendo válidos para la protección contra incendios y en la actualidad son un adecuado reemplazo.

A continuación paso a detallar las características principales de los diferentes agentes inertes y halogenados.

4.1. AGENTES INERTES

Están formados por gases o mezclas de gases que no intervienen en la reacción de combustión y que se descargan en un tiempo mayor que los halones, desplazando el O₂ si bien a niveles respirables, no suficientes para sostener la combustión. La EPA (*Environmental Protection Agency*. Agencia de Protección del Medio Ambiente del gobierno federal de Estados Unidos) y la NFPA han puesto como límite que en áreas ocupadas la concentración de diseño debe asegurar que la concentración de oxígeno sea al menos de un 10%. El NOAEL de los gases

inertes es del 43%. Además son no conductores de la electricidad. Su efecto invernadero es nulo y su poder destructor de ozono es cero.

Los agentes inertes empleados actualmente son los siguientes:

INERGEN

El agente IG-541 o Inergen está compuesto por un 52% de nitrógeno, un 40% de argón y un 8% de CO₂. Este agente apaga el fuego desplazando el oxígeno en el aire no existiendo ningún producto de descomposición. Utiliza una concentración extintora entre el 40 al 80%. Presenta un NOAEL del 43%. Es un gas respirable que incrementa el ritmo respiratorio en períodos cortos de tiempo. Durante la descarga se mantiene una buena visibilidad y no se aumenta la conductividad ni la corrosividad, no dejando residuo, por lo que no provoca daños materiales. Algunas de sus aplicaciones son: riesgos eléctricos o electrónicos, salas de mezcla de líquidos inflamables, bibliotecas, archivos y museos, etc.

ARGON

Su denominación técnica como agente extintor es IG-01. Es químicamente neutro, no conductor, no causa daño a los productos más delicados, incoloro, inodoro, insípido y no es corrosivo. Los sistemas de extinción con argón se basan en el principio de reducción de oxígeno en el incendio: el oxígeno es desplazado por el argón hasta un punto tal en que el incendio no puede continuar por falta de comburente. Cada sistema se diseña para reducir el oxígeno hasta un nivel específico, para lo cual la concentración de diseño debe ser alrededor del 40%. Presenta un NOAEL del 43%.

ARGONITE

Denominado técnicamente IG-55, el Argonite es un gas extintor formado por una mezcla de nitrógeno y argón al 50%. No deja residuo, es no conductor, no corrosivo, no tóxico y no produce productos de combustión secundarios. Utiliza una concentración extintora del 40%. Presenta un NOAEL del 43%.

4.2. AGENTES HALOGENADOS

Estos productos extintores son compuestos químicos orgánicos que en su composición contienen átomos de Cl, F o I, solos o en combinación. Su denominación es la siguiente:

- Sistemas NAF: hidroclorofluorocarbonos (HCFC)
- Sistemas FE y FM: hidrofluorocarbonos (HFC)
- Sistemas CEA: perfluorocarbonos (FC)

De los agentes halogenados que actualmente cuentan con mayor difusión como sustitutos a los halones, destacamos los siguientes:

FM-200

FE - 36

Con denominación técnica HFC-236fa, este agente extintor es el hexafluoropropano ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$). Actualmente destaca como sustituto para el halón 1211, tanto en instalaciones de aplicación local como en extintores portátiles.

6) HCFC-mezcla A

Conocido por su nombre comercial NAFSIII, está compuesto por una mezcla de hidrocarburos halogenados (HCFC) y un aditivo detoxificante, en condiciones de reducir drásticamente la cantidad de productos de descomposición que se forman en presencia de la llama. Es un gas incoloro, no es conductor de la electricidad y tiene una densidad unas 6 veces mayor que la del aire.

El impacto medioambiental global es extremadamente bajo, pero el ODP no llega a ser cero, por lo que los HCFC están incluidos en el Reglamento 2037/2000 y está prohibido el suministro para nuevas instalaciones dentro de la CE, estando permitida su utilización de forma controlada y estando prevista su eliminación en el futuro.

Para terminar mi exposición, he de mencionar que recientemente (año 2016) se ha firmado un acuerdo a nivel internacional que consiste en la reducción paulatina de los gases HFC's. El acuerdo consiste en la reducción de emisiones de estos gases de manera progresiva por los países integrantes del protocolo de Montreal. Se busca sustituirlos por su fuerte impacto en el calentamiento global que está sufriendo nuestro planeta.

FM-200

Este agente cuya denominación técnica es HFC-227ea es apto para la protección de la mayoría de los riesgos donde anteriormente se tenía que aplicar el Halón 1301. Una vez descargado, el HFC-227ea extingue rápidamente el fuego minimizando los daños a la propiedad y a los equipos de alto valor, asegurando asimismo la total seguridad a las personas.

Es seguro para las personas porque no sólo extingue el fuego sin reducir la cantidad de oxígeno, sino que no resulta tóxico en las concentraciones específicas de utilización. El NOAEL es del 9%. En cuanto a su efecto, el HFC-227ea no daña los equipos más delicados y no deja residuos para su limpieza posterior. No es conductor de la electricidad, por lo que es efectivo en la protección de riesgos eléctricos como salas de ordenadores. El HFC-227ea posee un potencial de reducción del ozono (ODP) nulo, un potencial de efecto invernadero (GWP) extremadamente bajo y una vida atmosférica (ALT) muy limitada (31 años).

37 HFC-125

El HFC-125 posee una concentración extintora de alrededor de un 10%. Gracias a sus características físicas puede utilizarse también en riesgos con temperaturas muy bajas. El producto puede emplearse en áreas normalmente ocupadas. El NOAEL es del 7,5%.

40 FE-13

El agente extintor FE-13 es el trifluorometano (CHF_3), una sustancia gaseosa en condiciones de presión y temperatura ambientales, incolora y con un ligero olor parecido al éter, que se almacena en recipientes de alta presión, cuya denominación técnica es HFC-23. El HFC-23 es totalmente seguro para las aplicaciones en áreas ocupadas. La mayoría de los sistemas se diseñan con una concentración de 16%, siendo el NOAEL de este agente extintor del 30%. Un margen de seguridad tan amplio lo tienen muy pocos agentes extintores disponibles en el mercado. Posee un potencial de reducción del ozono (ODP) nulo y un potencial de efecto invernadero (GWP) de 13.

El HFC-23 extingue los incendios principalmente por absorción de calor y también, en menor proporción, químicamente por eliminación de radicales libres de la zona del fuego.

42 FE-25

Se trata del pentafluoroetano (CF_3CHF_2), una sustancia totalmente gaseosa en condiciones normales de presión y temperatura, inodora e incolora y no conductora de la electricidad, cuya denominación técnica es HFC-125. El HFC-125 posee una concentración extintora de alrededor de un 10%. Gracias a sus características físicas puede utilizarse también en riesgos con temperaturas muy bajas. El NOAEL es del 7,5%. Puede emplearse en zonas ocupadas y su ODP es nulo.

51 FE-36