



ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

QUE CONTENGAN PFOS O SUSTANCIAS RELACIONADAS



DOCUMENTO DE GESTIÓN DE ESPUMAS

ANTI-INCENDIOS

QUE CONTENGAN
PFOS O SUSTANCIAS
RELACIONADAS



Centro Nacional de Referencia sobre
Contaminantes Orgánicos Persistentes

DOCUMENTO

DE GESTIÓN DE

ESPUMAS

ANTI-INCENDIOS

QUE CONTENGAN

PFOS O SUSTANCIAS

RELACIONADAS



Centro Nacional de Referencia sobre
Contaminantes Orgánicos Persistentes

Nota: Esta publicación puede reproducirse total o parcialmente, con fines educativos y no lucrativos, sin permiso específico del Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (CNR COP), siempre y cuando se mencione el origen de la información. El CNRCOP agradecería recibir una copia de cualquier publicación en la que este material se utilice como fuente. No está permitido el uso de esta información con fines comerciales o de venta sin permiso escrito del CNRCOP.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la presentación de material no implican la expresión de ninguna opinión por parte del CNRCOP en relación con el estatus legal de ningún país, territorio o área, ni de sus autoridades, ni respecto a sus fronteras y límites.

Si considera que algún punto del estudio puede mejorarse o existe alguna imprecisión, le agradeceríamos que nos lo comunicase.

Estudio terminado en abril de 2012

Estudio publicado en

Si desea solicitar copias adicionales o recibir cualquier información adicional, póngase en contacto con:

Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (CNR COP)

Parque Científico Tecnológico
C/ Punto Net, 4 – 1ª Planta (Edificio ZYE)
UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
28871 Alcalá de Henares (Madrid)
Telfs: +34.91.877.2470 / +34.91.830.5789
Fax: +34.91.830.5800
Web: www.cnr COP.es
E-mail: info@cnrcop.es

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	58
ÍNDICE DE TABLAS	58
PROLOGO	60
0. INTRODUCCIÓN	1
1. CONVENIO DE ESTOCOLMO	3
1.1. RESTRICCIÓN AL USO DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS.....	3
1.2. DECISIÓN DEL CONVENIO SC-4/17 SOBRE LA INCLUSIÓN DE PFOS Y SUSTANCIAS RELACIONADAS	8
2. OTROS CONVENIOS INTERNACIONALES	13
2.1. CONVENIO DE RÓTERDAM Y CONVENIO DE BASILEA	13
2.2. CONVENIO OSPAR	13
3. MARCO LEGISLATIVO	16
3.1. REGLAMENTO (CE) Nº 850/2004.....	16
3.2. DIRECTIVA 2006/122/CE.....	18
3.3. ORDEN PRE/374/2008.....	19
4. ESPUMAS ANTI-INCENDIOS	22
4.1. INFORMACIÓN GENERAL	22
4.1.1. <i>Proceso de combustión</i>	23
4.1.2. <i>Propagación del incendio</i>	25
4.1.3. <i>Clasificación de los materiales</i>	27
4.1.4. <i>Clasificación de los tipos de fuegos</i>	30
4.2. MECANISMO DE ACCIÓN DE LA ESPUMA ANTI-INCENDIOS	30
4.3. EQUIPOS Y MEDIOS DE EXTINCIÓN	31
4.3.1. <i>Agentes extintores</i>	31
4.3.2. <i>Clasificación de las espumas anti-incendios</i>	33
4.3.3. <i>Componentes de las espumas anti-incendios</i>	35
4.3.4. <i>Sistemas de extinción</i>	37
4.3.4.1. Equipos portátiles (extintores)	37
4.3.4.2. Instalaciones fijas.....	39
4.3.4.2.1. Sistemas de extinción mediante espumas anti-incendios	40
4.3.4.2. Extinción por aplicación manual	42
4.4. RIESGOS LABORALES EN EL USO DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS	43
4.4.1. <i>Medidas para hacer frente a situaciones de emergencia</i>	44
4.5. IMPACTO AMBIENTAL Y TOXICIDAD DE LAS ESPUMAS ANTI-INCENDIOS	44
4.5.1. <i>Toxicidad acuática</i>	45
4.5.2. <i>Toxicidad en suelos</i>	49
5. NIVELES DE PROTECCIÓN	51
5.1. REGLAMENTO DE INSTALACIONES PETROLÍFERAS (REAL DECRETO 2085/1994)	51
5.2. SEGURIDAD ANTI-INCENDIOS EN ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES (REAL DECRETO 2267/2004).....	52
5.3. NIVELES DE PROTECCIÓN EN AERODROMOS	56
6. COMERCIALIZACIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS	62

6.1. CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO.....	62
6.1.1. Reglamento (CE) Nº 1907/2006 (REACH)	63
6.1.2. Reglamento (CE) Nº 1272/2008 (CLP).....	64
6.2. FABRICANTES DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS A NIVEL INTERNACIONAL	69
7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS	71
7.1. FABRICACIÓN.....	71
7.1.1. Valores Límite Ambientales de Exposición Profesional.....	71
7.2. ETIQUETADO	72
7.3. MANIPULACIÓN/USO	73
7.4. ALMACENAJE.....	79
7.5. TRANSPORTE	80
7.5.1 Movimientos transfronterizos.....	80
7.5.2. Transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable	81
7.6. GESTIÓN DE RESIDUOS DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS CADUCADAS/ SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN	81
7.7. GESTIÓN DE RESIDUOS DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS / ELIMINACIÓN.....	87
7.7.1 Sistemas de Prevención de Contaminación Ambiental.....	88
7.7.1.1. Sistemas de drenaje en el suelo	88
7.7.1.2. Separadores aceite-agua	88
7.7.1.3. Sistemas de contención	89
7.7.1.3.1. Tanques subterráneos	90
7.7.1.3.2. Tanques sobre tierra con un cárter.....	91
7.7.1.3.3. Balsas de retención, en tierra	91
7.7.1.3.4. Trinchera de contención	92
7.7.1.3.5. Capacidad adicional en caso de precipitaciones.....	92
7.7.1.4. Contención para sistemas cerrados.....	93
7.8. ELIMINACIÓN FINAL Y TRATAMIENTOS CONVENCIONALES DE AGUAS CONTAMINADAS CON ESPUMAS ANTI-INCENDIOS.....	93
7.8.1. Descarga directa en plantas de tratamiento	93
7.8.2. Descarga directa a la red de alcantarillado	93
7.8.3. Formación de espumógenos	94
7.8.4. Régimen de descarga.....	94
7.8.5. Balsa de evaporación solar	94
7.8.6. Instalaciones de tratamiento in situ	95
7.8.7. Transporte por carretera o ferroviario para un tratamiento “off site”	96
7.9. TRATAMIENTOS AVANZADOS DE DESCONTAMINACIÓN	96
7.9.1. Incineración	96
7.9.2. Fotodegradación.....	97
7.9.3. Utilización de Membranas de Osmosis Inversa	99
8. ALTERNATIVAS A ESPUMAS ANTI-INCENDIOS QUE CONTIENEN PFOS Y/O SUSTANCIAS RELACIONADAS.....	103
9. ANEXOS.....	105
ANEXO 1. PFOS Y SUSTANCIAS RELACIONADAS	105
Chemical Abstracts Service (CAS).....	105
Inventario Europeo de Sustancias Químicas Existentes (EINECS)	106
Sinónimos/abreviaturas.....	106
CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES DE PFOS Y SUSTANCIAS RELACIONADAS	106
Estructura 2D.....	106
Fórmula molecular.....	107
Peso molecular.....	107
Propiedades físico-químicas	107
Otras propiedades físico-químicas.....	108

PERFIL DE RIESGOS	108
<i>Persistencia</i>	108
<i>Bioacumulación</i>	109
<i>Transporte a larga distancia en el medio ambiente</i>	112
<i>Efectos adversos</i>	116
<i>Declaración de las razones de la preocupación</i>	119
ANEXO 2. LISTA OSPAR.....	123
ANEXO 3. EPÍGRAFES DE LA FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (FDS) SEGÚN EL REGLAMENTO REACH.....	126
10. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES	130
10.1. GLOSARIO DE TÉRMINOS	130
10.2. TABLAS DE CONVERSIÓN	132
10.3. FUENTES DE INFORMACIÓN	132

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN DEL TRIÁNGULO Y TETRAEDRO DE FUEGO	24
FIGURA 2. ACCIÓN DE LA ESPUMA ANTI-INCENDIOS	31
FIGURA 3. ALMACENAMIENTO DE ESPUMA ANTI-INCENDIOS	42
FIGURA 4. ENSAYO DE TOXICIDAD PARA DIFERENTES TIPOS DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS EN ORGANISMOS ACUÁTICOS	48
FIGURA 5. ETIQUETA UTILIZADA ACTUALMENTE PARA COMERCIALIZAR ESPUMÓGENOS AFFF.....	62
FIGURA 7. PROPUESTA PARA LA GESTIÓN ADECUADA DE AFFF CADUCADAS, CARACTERIZADAS EN TIPO Y CANTIDAD.....	84
FIGURA 8. PROPUESTA PARA LA GESTIÓN ADECUADA DE AFFF CADUCADAS, ELIMINACIÓN FINAL.....	86
FIGURA 9. SEPARADOR ACEITE-AGUA.....	89
FIGURA 10. TANQUES SUBTERRÁNEOS	90
FIGURA 11. TANQUES SOBRE TIERRA.....	91
FIGURA 12. TRINCHERA DE CONTENCIÓN	92
FIGURA 13. Balsa de evaporación solar	95
FIGURA 14. VÍAS DE DEGRADACIÓN DE PFOS.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DECISIÓN DE LA COMISIÓN SC-4/17	8
TABLA 2. ANEXO ORDEN PRE/374/2008	20
TABLA 3. CLASES DE REACCIÓN AL FUEGO DE LOS PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	27
TABLA 4. CLASES DE MATERIALES SEGÚN EL CRITERIO “S”	28
TABLA 5. CLASES DE MATERIALES SEGÚN EL CRITERIO “D”	29
TABLA 6. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMBUSTIBLES	30
TABLA 7. DESCRIPCIÓN DE LOS AGENTES EXTINTORES MÁS COMUNES	32
TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS	34
TABLA 9. COMPONENTES DE LAS ESPUMAS ANTI-INCENDIOS	35
TABLA 10. CLASIFICACIÓN DE EXTINTORES	37
TABLA 11. AGENTES EXTINTORES Y SU ADECUACIÓN A DISTINTAS CLASES DE FUEGO	38
TABLA 12. ESCALA DE TOXICIDAD AGUA (FWS).....	46
TABLA 13. ENSAYO DE 96 H LC ₅₀	47
TABLA 14. CATEGORÍA DEL AERÓDROMO A EFECTOS DE SALVAMENTO Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS.....	57
TABLA 15. CANTIDADES MÍNIMAS UTILIZABLES DE AGENTES EXTINTORES	59

TABLA 16. CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS PRECURSORAS DE PFOS SEGÚN EL REGLAMENTO REACH	65
TABLA 17. CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS PRECURSORAS DE PFOS SEGÚN EL REGLAMENTO CLP	67
TABLA 18. CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO DE SUSTANCIAS PERFLUORADAS DE ACUERDO A LA DIRECTIVA 2009/2/CE	68
TABLA 20. VALORES LÍMITE AMBIENTAL (VLA).....	72
TABLA 21. MÉTODOS DE APLICACIÓN DE LA ESPUMA	78
TABLA 22. ANÁLISIS DE LOS DESECHOS DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS	82
TABLA 23. CRITERIOS PARA LA ELIMINACIÓN FINAL DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS	85

PROLOGO

El presente documento es un proyecto realizado por el Grupo Técnico. Este Grupo fue creado para la elaboración y aplicación del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo y el Reglamento (CE) Nº 850/2004 sobre contaminantes orgánicos persistentes (PNA), con el apoyo del Grupo Director, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y, de forma específica, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial.

Por iniciativa del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM), en el año 2006, se creó el Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (CNR COP), para facilitar la implementación del PNA. Este centro se creó mediante un acuerdo de encomienda de gestión entre la Administración General del Estado (MARM) y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), en colaboración con la Universidad de Alcalá (BOE núm. 248, de 17.10.2006).

El objetivo de este documento es proporcionar criterios técnicos y recomendaciones que puedan facilitar a los profesionales relacionados con la extinción de incendios - empresarios comercializadores y distribuidores, bomberos y gestores de residuos, ... - la aplicación de la Directiva 2006/122/CE, de 12 de diciembre, del Parlamento Europeo y del Consejo, y de la Orden PRE de 31 de enero, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (sulfonatos de perfluorooctano-PFOS). Este texto puede ser utilizado como libro de consulta, en la medida que no sólo introduce los temas, sino que aporta soluciones, las cuales, a pesar de no ser sencillas, son presentadas con claridad.

Agradecimientos por el apoyo técnico y la colaboración prestada en la realización de esta documento a los expertos D. Francisco Cañadas (Técnico Superior en Protección Contra Incendios); a D. Carlos Suárez (Cuerpo de Bomberos, Parque de Bomberos de Grado, Asturias); y a D. Francisco Javier Álvarez (Ingeniero Técnico Agrícola, Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales, Sodes Grupo); y la realización del diseño gráfico a Estudios Hyperactive.

DOCUMENTO DE GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS QUE CONTENGAN PFOS O SUSTANCIAS RELACIONADAS

0. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es proporcionar un manual sobre buenas prácticas en la gestión de espumas anti-incendios que contengan componentes fluorosurfactantes (sulfonatos de perfluorooctano, de su acrónimo en inglés: PFOS o sustancias relacionadas). Por tanto, este documento está dirigido a técnicos relacionados con la gestión medioambiental, profesionales en la extinción de incendios, empresarios comercializadores y distribuidores de espumas anti-incendios, gestores de residuos, etc. El Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (CNR COP) realiza este documento con el propósito de servir como documento de orientación en la implementación de la normativa europea y española que limita la comercialización y uso del PFOS y sustancias relacionadas. La Directiva 2006/122/CE, establece las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en los Estados miembros relativas a la limitación, comercialización y uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (sulfonato de perfluorooctano). Su transposición a nivel nacional se lleva a efecto con la Orden PRE/374/2008, donde se establece que la espuma anti-incendios comercializada antes de 27 de diciembre de 2006 podrá ser utilizada hasta el 27 de junio de 2011.

El desarrollo de este documento presenta, en el Capítulo 1, el Convenio de Estocolmo, y en el Capítulo 2, otros Convenios de actuación internacional. En el Capítulo 3, se aborda el marco legislativo, el Reglamento (CE) Nº 850/2004 a nivel de la Comunidad Europea y la Directiva 122/2006/CE, y a nivel nacional, el Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo y del Reglamento (CE) Nº 850/2004, y la Orden PRE/374/2008.

A continuación, en el Capítulo 4, se describen de forma genérica los factores que intervienen en un incendio (proceso de combustión, tipos de materiales, clases de fuego, mecanismo de acción de las espumas anti-incendios); se abordan los medios de extinción existentes en la actualidad, los diferentes tipos de espumas anti-incendios, y como estas se pueden aplicar desde sistemas de extinción portátiles o fijos; y se dedican dos epígrafes, al estado de la situación sobre los aspectos de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995, de 8 de noviembre) en cuanto a las medidas de seguridad y salud que afectan a los trabajadores que utilizan espumas anti-incendios; y a la Ley de Responsabilidad Medioambiental (Ley 26/1997, de 23 de octubre), en relación a la prevención y reparación de daños medioambientales.

El Capítulo 5, está dedicado a las medidas de protección que se establecen, en base a la legislación vigente, para instalaciones petrolíferas, establecimientos industriales y aeródromos, y que justifican el uso de las espumas anti-incendios, con la finalidad de alcanzar los niveles de seguridad indicados para los diferentes supuestos que se contemplan en la normativa que regula estos sectores.

En el Capítulo 6, se incluye la información sobre clasificación y etiquetado; y se aporta información estadística sobre la comercialización de espumas anti-incendios a nivel internacional y nacional. Tipos de espumas comercializados en España y su composición en compuestos perfluorados.

El Capítulo 7, trata la gestión de las espumas anti-incendios a través de su ciclo de vida, se tratan la exposición de los trabajadores, el etiquetado, manipulación, uso y almacenamiento. Además, se incluyen cuatro secciones sobre buenas prácticas: (i) gestión de espumas anti-incendios caducadas, incluye una parte de movimientos transfronterizos de residuos; (ii) gestión de residuos de espumas anti-incendios / eliminación, estos son procesos de actuación para evitar la contaminación medioambiental en el momento en que se descarga la espuma anti-incendios; (iii) eliminación final y tratamientos convencionales de aguas contaminadas con espumas anti-incendios, y (iv) tratamientos avanzados de descontaminación.

Como apartado final de este documento, El Capítulo 8 presenta las alternativas existentes a las espumas anti-incendios con contenido en PFOS y los avances en el desarrollo de nuevos agentes alternativos al PFOS.

El Capítulo 9 incluye bibliografía y fuentes utilizadas para la realización de este documento.

1. CONVENIO DE ESTOCOLMO

1.1. RESTRICCIÓN AL USO DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

Los surfactantes fluorados se han estado usando durante muchos años en las espumas anti-incendios en las que se requería alta eficacia. Los concentrados de espuma (espumógenos) AFFF (acrónimo en inglés de Aqueous Film Forming Foam, espumas formadoras de película acuosa) contienen entre 2 – 10 % de compuestos perfluorados y se comercializan habitualmente al 1 – 3 - 6 % de concentración para su dilución en agua. Actualmente algunos concentrados llegan al 0,5 %.

Los estudios de evaluación de riesgos, efectuados a nivel internacional, en el marco del Convenio de Estocolmo¹ (entrada en vigor de este Convenio el 17 de mayo de 2004²) y de Naciones Unidas, han demostrado su peligrosidad, por ser estos compuestos perfluorados muy persistentes, bioacumulables y tóxicos para los mamíferos. En consecuencia, con el fin de garantizar un elevado nivel de protección de salud y del medio ambiente, se ha acordado su limitación a nivel internacional y comunitario, con el desarrollo de la normativa europea (Directiva 2006/122/CE)³ y española (Orden PRE/374/2008)⁴ con algunas excepciones debidas a la carencia de productos alternativos, como en las aplicaciones de estos compuestos en procesos de cromado, de fotografía, de fotolitografía y en fluidos hidráulicos para aviación.

Conforme a esta normativa, los sulfonatos de perfluorooctano (PFOS) no podrán comercializarse o utilizarse como sustancia o componentes de preparados en concentraciones iguales o superiores al 0,005 % en masa. No obstante, las espumas anti-incendios comercializadas antes del 27 de diciembre de 2006 podían ser utilizadas hasta el 27 de junio de 2011.

Actualmente existen, o se están desarrollando, algunas alternativas al uso de agentes para el tratamiento de superficies a base de PFOS, en espumas ignífugas. Esas alternativas son: a) agentes para el tratamiento de superficies a base de hidrocarburos; b) espumas ignífugas que no contienen flúor; y c) otras tecnologías en desarrollo basadas en espumas ignífugas que evitan utilizar flúor. La eficacia de estas alternativas aún está siendo evaluada.

En espumas de nueva comercialización, ya se usan otros componentes químicos alternativos y del mismo modo que las que contienen componentes fluorosurfactantes, suelen

¹ <http://www.pops.int>

² Convenio de Estocolmo, artículo 8.

³ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:372:0032:0034:es:PDF>

⁴ <http://www.boe.es/boe/dias/2008/02/19/pdfs/A09021-09023.pdf>

venderse con garantías de 15 a 20 años. Por lo tanto, pueden existir "stocks" de espumas que contienen PFOS, y es importante una adecuada gestión en su eliminación. El CESE (Comité Económico y Social Europeo) recomienda que los "stocks" existentes de espuma, que contienen como base PFOS o sustancias relacionadas, no se incineren; y que, estos se utilicen exclusivamente si resultan indispensables. Además, los residuos líquidos generados deberían retenerse con barreras de contención, para evitar emisiones al medio ambiente.

En este sentido, a nivel comunitario, se está trabajando con la industria y las autoridades nacionales competentes para la creación de canales de eliminación adecuados para este tipo de residuos.

El Convenio de Estocolmo regula las obligaciones para reducir o eliminar la producción y utilización de determinados plaguicidas y productos químicos industriales que han sido identificados como "contaminantes orgánicos persistentes" (COP). Este Convenio, adoptado en mayo de 2001, y con entrada en vigor en España en mayo de 2004, especifica también, las obligaciones relativas a la importación y exportación de esas sustancias. En un comienzo se incluyeron diez plaguicidas y/o productos químicos, y dos sustancias de emisión no intencional. A partir de mayo de 2009 y con entrada en vigor en agosto de 2010 se incluyeron nueve COP más. De manera que los contaminantes pesticidas e industriales incluidos actualmente en el Convenio son: aldrina, clordano, dieldrina, endrina, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno, DDT y bifenilos policlorados (PCB), α -hexaclorociclohexano, β -hexaclorociclohexano, clordecona, éter de hexabromodifenilo (HexaBDE), éter de heptabromodifenilo (HeptaBDE), lindano, pentaclorobenceno, PFOS, sus sales y PFOSF, éter de tetrabromodifenilo (TetraBDE) y éter de pentabromodifenilo (PentaBDE). Están incluidos en el Anexo A (lista de las sustancias que hay que eliminar) y en el Anexo B (lista de las sustancias que hay que restringir). Todos estos plaguicidas y productos químicos están incluidos en el Convenio de Róterdam salvo la endrina.

El Convenio de Estocolmo contiene asimismo obligaciones y disposiciones para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción no intencional de determinadas sustancias, inclusive mediante la aplicación de medidas para la reducción de las liberaciones y la eliminación de las fuentes, y para utilizar las mejores técnicas disponibles (MTD) y las mejores prácticas ambientales (MPA) en relación con determinadas fuentes. Estas sustancias, incluidas en el Anexo C, incluyen los bifenilos policlorados (PCB) y los hexaclorobencenos (en calidad de subproductos no intencionales de la combustión industrial y otras actividades), las dioxinas y los furanos (PCDD/Fs) y el pentaclorobenceno. El Convenio contiene otras obligaciones correspondientes a las existencias y desechos derivados de las sustancias incluidas en sus anexos; así como un mecanismo para permitir la inclusión de sustancias en el futuro.

A continuación se presenta una relación de los progresos que se han realizado conforme al Convenio de Estocolmo en cuanto al PFOS y sustancias relacionadas:

1. **UNEP/POPS/POPRC.1/9:** Propuesta sobre el sulfonato de perfluorooctano.⁵

El PFOS fue propuesto por el Gobierno de Suecia ante el Convenio de Estocolmo con la siguiente declaración de preocupación:

"Según los datos disponibles, el PFOS tiene un prolongado período de persistencia en el medio ambiente. Debido a sus propiedades fisicoquímicas y a su período considerablemente prolongado de semidesintegración en la atmósfera, y teniendo en cuenta las conclusiones a que se llegó a partir de las muestras ambientales tomadas en lugares alejados, como, por ejemplo, el Ártico, se puede aseverar que el PFOS y las sustancias relacionadas con el PFOS pueden trasladarse a largas distancias en el aire, lejos de sus fuentes. El PFOS está asociado a graves efectos perjudiciales para los mamíferos y los organismos acuáticos.

El cese voluntario de la producción de PFOS por parte del principal productor en los EE.UU. produjo una importante disminución en el uso de sustancias relacionadas con el PFOS. Sin embargo, se puede afirmar que todavía se produce en algunos países y existen pruebas de que se sigue utilizando en muchos. Dado que las sustancias relacionadas con el PFOS pueden trasladarse en la atmósfera a lugares alejados de sus fuentes, no basta con que un solo país o un grupo de países tome medidas para eliminar la contaminación que produce esa sustancia. En la actualidad se considera que es necesario adoptar medidas a nivel regional y se ha propuesto incluir el PFOS en el Protocolo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP) del Convenio sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia. Debido a las propiedades perjudiciales de COP y a los riesgos relacionados con la posibilidad de que se lo siga produciendo y utilizando, es necesario que se adopten medidas a nivel mundial para eliminar la contaminación que provoca el PFOS".

La propuesta elaborada indicaba la descripción química del producto, identificación y estructura, y sus usos específicos, enfatizando los datos existentes hasta el momento respecto a persistencia, bioacumulación y toxicidad de estos compuestos y sustancias relacionadas. También, se aportaron datos del potencial de transporte a larga distancia, y lo efectos adversos.

2. **Decisión POPRC-1/7:** Sulfonato de perfluorooctano.⁶

La decisión tomada por el Comité de Revisión de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (POPRC), se basa en la propuesta realizada por Suecia, y establece que de

⁵<http://chm.pops.int/Convention/POPsReviewCommittee/Chemicals/tabid/243/language/en-US/Default.aspx>

⁶ www.pops.int/documents/meetings/poprc/chem.../PFOS_AnnexD_s.doc

acuerdo con el párrafo 4 del artículo 8 del Convenio, la sustancia cumple los criterios necesarios para realizar un análisis en profundidad, y se establece una mayor evaluación de esta según el Anexo de la decisión 1/7. Además, se debe crear un grupo de revisión para esta sustancia, de manera que se revise la propuesta, y se prepare un borrador del perfil de riesgos, de acuerdo al Anexo E del Convenio de Estocolmo. En este borrador del perfil de riesgos se incluirán tanto al PFOS como a sustancias precursoras de PFOS.

Los criterios que deben ser evaluados por el grupo de revisión incluyen:

Antecedentes: Evaluar la propuesta de Suecia e identificar nuevas fuentes que incluyan autoridades competentes y revistas científicas de prestigio.

Evaluación: La propuesta de inclusión en el Anexo D, incluye diferentes sales de PFOS. Se necesita completar la identidad química de la sustancia, identificando tanto la forma ácida como otras sales que se puedan encontrar.

La bioacumulación y la biomagnificación se asume que han sido suficientemente contrastadas, tanto para mamíferos marinos como terrestres, y se considera que el PFOS si cumple con los criterios de bioacumulación establecidos en el Convenio.

Transporte a larga distancia: se han encontrado niveles de PFOS en zonas remotas, y el valor estimado de vida media de PFOS en el aire es de 114 días.

Por ello, se considera que el PFOS cumple los criterios de transporte a larga distancia establecidos por el Convenio.

Efectos adversos: Existen pruebas de que el PFOS a pequeñas dosis puede causar daños en el desarrollo de mamíferos, y también es tóxico para organismos acuáticos.

Por tanto, el PFOS cumple los criterios establecidos por el Convenio acerca de los efectos adversos. Finalmente, se puede realizar una evaluación exhaustiva de la sustancia según el Anexo D del Convenio.

3. **Anexo de la decisión POPRC-1/7:** Evaluación del sulfonato de perfluorooctano sobre la base de los criterios del anexo D.

4. **UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.5:**⁷ Evaluación de la gestión de riesgos del sulfonato de perfluorooctano.

Este documento se presentó en Noviembre de 2007 y en él se desarrolla toda la descripción del PFOS, incluyendo identidad química, usos, información sobre alternativas,

⁷ http://www.pops.int/documents/meetings/poprc/POPRC3_report.htm

posibles medidas de control adoptadas de forma nacional o regional e información a la sociedad. El establecimiento de usos para los cuales, según las respuestas recibidas, no se dispone de alternativas técnicamente viables (creación de imágenes ópticas, fotoresinas y semiconductores, fotomáscaras en la industrias de semiconductores y pantallas de cristal líquido (LCD), fluidos hidráulicos para aviación, usos derivados del PFOS en la producción de cebos para hormigas destinados al control de las hormigas cortadoras de hojas) y usos para los cuáles, tal vez se disponga de sustancias o tecnologías alternativas que tendrían que incorporarse paulatinamente (chapado metálico, espumas ignífugas, partes eléctricas y electrónicas) y son la clave de este documento. Finalmente, se ofrece un resumen del perfil de riesgos y las medidas de gestión propuestas.

5. **UNEP/POPS/POPRC.4/15/Add.6:**⁸ Adición a la evaluación de la gestión de riesgos para el sulfonato de perfluorooctano.

Este documento presenta una adición al documento anterior de evaluación de la gestión de riesgos. Fundamentalmente se presentan usos para los cuales, tal vez, se disponga de sustancias o tecnologías alternativas que tendrían que incorporarse paulatinamente (partes eléctricas y electrónicas, uso de derivados del PFOS en la producción de cebos para hormigas destinados al control de las hormigas cortadoras de hojas, dispositivos médicos, producción petrolera por medios químicos). Se ha añadido un apartado de usos para los que se necesitan alternativas en los países desarrollados (uso de derivados del PFOS en el control de plagas, agricultura, incluidas la acuicultura y la silvicultura). También, se incluyen los aspectos económicos, incluidos los costos y beneficios para los productores y consumidores y la distribución de los costos y beneficios. Y finalmente, se insta a proporcionar a los países en vías de desarrollo la información pertinente y que se promueva la asistencia técnica y la transferencia de tecnología.

6. **UNEP/POPS/COP.4/18:**⁹ Borrador para las enmiendas de los Anexos A, B y/o C del Convenio de Estocolmo.

En la cuarta reunión de la Conferencia de las Partes del Convenio (COP4), se comunica la inclusión en los anexos A, B o C del Convenio de Estocolmo de los productos químicos cuya inclusión ya había recomendado el Comité de Examen de los COP en sus anteriores reuniones. Según esto, el ácido sulfónico de perfluorooctano, sus sales y fluoruro de sulfonil perfluorooctano, se incluirán en el anexo A o en el anexo B, esto incluye producción y uso.

⁸

http://chm.pops.int/Portals/0/docs/from_old_website/documents/meetings/poprc/POPRC4/doc_s/POPRC4_report_add6_s.pdf

⁹ <http://excops.unep.ch/documents/relateddocs/s-cop4-rep-s.pdf>

Se informa de la complejidad del uso y de los muchos sectores industriales en los que se utilizan esas sustancias y sustancias similares. Se constata que en un futuro puede ser necesaria la incorporación de nuevos usos.

7. **UNEP/POPS/COP.4/SC-4/17:**¹⁰ Inclusión del sulfonato de perfluorooctano y sus sales y del sulfonilfluoruro de perfluorooctano. Según esta decisión se modifica la parte I del anexo B del Convenio para incluir el sulfonato de perfluorooctano y sus sales y el sulfonilfluoruro de perfluorooctano, con los fines aceptables y las exenciones específicas que en él se estipulan, **Tabla 1**.

1.2. DECISIÓN DEL CONVENIO SC-4/17 SOBRE LA INCLUSIÓN DE PFOS Y SUSTANCIAS RELACIONADAS

Tabla 1. Decisión de la Comisión SC-4/17		
Producto químico	Actividad	Finalidad aceptable o exención específica
<p>Sulfonato de perfluorooctano (CAS N°: 1763-23-1), sus sales^a y sulfonilfluoruro de perfluorooctano (CAS N°: 307-35-7)</p> <p>^a Por ejemplo: sulfonato de perfluorooctano de potasio (CAS N° 2795-39-3); sulfonato de perfluorooctano de litio (CAS N° 29457-72-5); sulfonato de perfluorooctano de amonio (CAS N° 29081-56-9); sulfonato de perfluorooctano de dietanolamónio (CAS N° 70225-14-8); sulfonato de perfluorooctano de</p>	Producción	<p><i>Finalidad aceptable:</i></p> <p>De conformidad con la parte III del presente anexo, la producción de otras sustancias químicas que se utilizarán exclusivamente para los usos indicados más adelante. Producción para los usos incluidos más adelante.</p> <p><i>Exención específica:</i></p> <p>La permitida a las Partes incluidas en el Registro.</p>
	Uso	<p><i>Finalidad aceptable:</i></p> <p>De conformidad con la parte III del presente anexo para los fines aceptables o como intermediario en la fabricación de productos químicos con los siguientes fines aceptables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Creación de imágenes ópticas • Fotorresinas y revestimientos antirreflectantes para semiconductores • Agente para el grabado químico de semiconductores compuestos y filtros de cerámica

¹⁰ <http://chm.pops.int/Portals/0/Repository/COP4/UNEP-POPS-COP.4-17.English.PDF>

<p>tetraetilamonio (CAS N° 56773-42-3); sulfonato de perfluorooctano de didecildimetilamonio (CAS N° 251099-16-8)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Fluidos hidráulicos para la aviación • Metalizado (metalizado duro) solo en sistemas de circuito cerrado • Determinados dispositivos médicos (como las capas de copolímero de etileno-tetrafluoroetileno (ETFE) y la producción de ETFE radioopaco, dispositivos para diagnósticos <i>in-vitro</i> y filtros de color DAC) • Espumas extintoras de incendio • Cebos para el control de hormigas cortadoras de hojas <i>Atta spp.</i> y <i>Acromyrmex spp.</i> <p><i>Exención específica:</i></p> <p>Para los siguientes usos específicos o como intermediario en la producción de sustancias químicas cuyos usos específicos son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fotomáscaras en las industrias de semiconductores y de visualizadores de cristal líquido (LCD) • Metalizado (metalizado duro) • Metalizado (metalizado decorativo) • Partes eléctricas y electrónicas para algunas impresoras en color y copiadoras en color • Insecticidas contra las hormigas rojas y el comején • Producción de petróleo por medios químicos • Alfombras • Cuero y prendas de vestir • Textiles y tapicería • Papel y material de embalaje • Recubrimientos y aditivos para revestimientos • Caucho y plásticos
---	--	--

Esta decisión también crea una nueva parte III en el anexo B con el título "Sulfonato de perfluorooctano (PFOS), sus sales y fluoruro de sulfonil perfluorooctano (PFOSF)", con el siguiente texto:

Sulfonato de perfluorooctano, sus sales y fluoruro de sulfonil perfluorooctano

1. *La producción y el uso de sulfonato de perfluorooctano (PFOS), sus sales y de fluoruro de sulfonil perfluorooctano (PFOSF) será eliminada por todas las Partes, con excepción de lo dispuesto en la parte I del presente anexo en relación con las Partes que hayan notificado a la Secretaría su intención de producirlos o utilizarlos con fines aceptables. Por este medio se establece un Registro de Fines Aceptables que se pondrá a disposición del público. La Secretaría mantendrá el Registro de Fines Aceptables. En caso de que una Parte que no figure en el Registro determine que necesita utilizar el PFOS, sus sales o el PFOSF para los fines aceptables señalados en la parte I del presente anexo esa Parte lo notificará cuanto antes a la Secretaría para que su nombre sea incluido de inmediato en el Registro.*

2. *Las Partes que producen o utilizan estos productos químicos tendrán en cuenta, según proceda, orientaciones como las impartidas en las partes pertinentes de la orientación general sobre MTD y MPA que figura en la parte V del anexo C del Convenio.*

3. *Cada cuatro años, toda Parte que utilice o produzca estas sustancias químicas informará sobre los progresos logrados en la eliminación del PFOS, de sus sales y del PFOSF y presentará información sobre esos progresos a la Conferencia de las Partes de conformidad con el artículo 15 del Convenio y en el proceso de presentación de los informes previstos en ese artículo.*

4. *Con el objeto de reducir y, en última instancia, eliminar el empleo de estos productos químicos, la Conferencia de las Partes alentará:*

a) *A toda Parte que utilice estos productos químicos a adoptar medidas para eliminar gradualmente los usos cuando se disponga de sustancias o métodos alternativos idóneos;*

b) *A toda Parte que utilice o produzca estas sustancias químicas a preparar y ejecutar un plan de acción como parte del plan de aplicación estipulado en el artículo 7 del Convenio;*

c) *A las Partes a que, según sus capacidades, promuevan la investigación y el desarrollo de productos químicos y no químicos que sean alternativas seguras y de procesos, métodos y estrategias para las Partes que utilicen esos productos químicos, de conformidad con las condiciones de esas Partes. Los factores que se promoverán al examinar alternativas o combinaciones de alternativas serán los riesgos para la salud humana y las consecuencias para el medio ambiente de esas alternativas.*

5. *La Conferencia de las Partes evaluará si es necesario seguir utilizando sus productos químicos para los diversos fines aceptables y las exenciones específicas sobre la*

base de la información científica, técnica, ambiental y económica de que disponga, en particular:

- a) *La información proporcionada los informes mencionados en el párrafo 3;*
- b) *La información sobre la producción y el uso de esos productos químicos;*
- c) *La información sobre la disponibilidad, idoneidad y aplicación de alternativas para esos productos químicos;*
- d) *La información sobre los progresos logra grados en la creación de capacidad de los países para realizar el tránsito en condiciones de seguridad su dependencia a esas alternativas.*

6. *La evaluación a la que se hace referencia en el párrafo precedente se llevará a cabo a más tardar en 2015 y cada cuatro años en adelante, conjuntamente con una reunión ordinaria de la Conferencia de las Partes.*

7. *Debido a la complejidad del uso y a los muchos sectores de la sociedad involucrados, tal vez haya otros usos de sus productos químicos de los cuales los países no tengan conocimiento actualmente. Se exhorta a las Partes que tengan conocimiento de otros usos a que cuanto antes lo informen a la Secretaría.*

8. *Toda Parte podrá, en cualquier momento, retirar su nombre del Registro de Fines Aceptables previa notificación por escrito a la Secretaría. Esa decisión entrará en vigor a partir de la fecha especificada en la notificación.*

9. *Las disposiciones de la nota iii) de la parte I del anexo B no se aplicarán a estos productos químicos.*

8. **UNEP/POPS/COP.4/SC-4/19:**¹¹ Establecimiento de los elementos indicativos de un programa de trabajo para facilitar la eliminación de los éteres de difenilo bromado y la restricción o eliminación del sulfonato de perfluorooctano y sus sales, del fluoruro de sulfonil perfluorooctano y otros productos químicos de las listas de los anexos A o B del Convenio en la cuarta reunión de la Conferencia de las Partes.

9. **UNEP/POPS/POPRC.5/6:**¹² Resumen de la labor entre reuniones sobre sustitución y alternativas.

10. Borrador Documento Guía sobre alternativas al ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y sus derivados.

¹¹ <http://chm.pops.int/Convention/COP/hrMeetings/COP4/COP4Documents/tabid/531/language/en-US/Default.aspx>

¹² http://www.unon.org/confss/doc/unep/pops/POPRC_05/UNEP_POPS_POPRC_5_06/K0952345.pdf

11. **UNEP/POPS/POPRC.5/10/Add.1:** Orientación general sobre consideraciones relacionadas con alternativas y sustitutos de los COP incluidos y productos químicos propuestos.

A destacar la decisión del Convenio SC-4/17, que permite la inclusión del ácido perfluorooctano sulfónico, sus sales y el fluoruro de sulfonil perfluorooctano en la parte I del Anexo B del Convenio, que incluye las finalidades aceptables y las exenciones específicas para estos compuestos. También, se incluye la parte III dentro del Anexo B, que trata sobre la producción y uso de estos compuestos.

2. OTROS CONVENIOS INTERNACIONALES

2.1. CONVENIO DE RÓTERDAM Y CONVENIO DE BASILEA

Es necesario asegurar la coordinación y coherencia al aplicar a nivel comunitario las disposiciones de los Convenios de Róterdam¹³, Estocolmo y Basilea;¹⁴ y al participar en el desarrollo del enfoque estratégico respecto a la Gestión Internacional de Sustancias Químicas (en inglés *Strategic Approach to International Chemicals and Management*, acrónimo SAICM),¹⁵ en el marco de las Naciones Unidas para eliminar la producción, comercialización y uso de COP, producidos de forma deliberada. SAICM proporciona un marco normativo para orientar los esfuerzos encaminados a alcanzar el objetivo del Plan de aplicación de las decisiones de Johannesburgo, para que en 2020, los productos químicos se utilicen y produzcan de manera que se reduzcan al mínimo los efectos adversos de importancia que puedan tener en la salud humana y en el medio ambiente.

Esta coordinación se logró en la Cuarta Conferencia de las Partes del Convenio de Estocolmo, UNEP/POPS/COP.4/32, acerca del Fomento de la Cooperación y la Coordinación entre los Convenios de Basilea, Róterdam y Estocolmo. De forma que se creó un grupo de trabajo especial sobre el fomento de la cooperación y la coordinación entre los Convenios de Basilea, Róterdam y Estocolmo, se estableció de conformidad con la decisión SC-2/15 de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Estocolmo¹⁶ sobre COP, la decisión RC-3/8 de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Róterdam¹⁷ sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional y la decisión VIII/8¹⁸ de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

2.2. CONVENIO OSPAR

El Convenio OSPAR¹⁹ se firmó en 1992, incluye a los quince gobiernos de la costa Occidental y las cuencas de los ríos europeos, junto con la Comunidad Europea; estos Estados cooperan para la protección del medio marino del Atlántico Nororiental. Este Convenio fue ampliado para cubrir las fuentes terrestres y la industria marítima por el

¹³ <http://www.pic.int/home.php?type=s&id=77>

¹⁴ <http://www.basel.int/>

¹⁵ <http://www.saicm.org/index.php?qI=h&content=home>

¹⁶ http://www.pops.int/documents/meetings/cop_2/followup/synergies/sc2_15/SC2_15_e.pdf

¹⁷ <http://www.basel.int/meetings/cop/cop8/docs/i11e.pdf>

¹⁸ <http://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/K08/406/85/pdf/K0840685.pdf?OpenElement>

¹⁹ <http://www.ospar.org/>

Convenio de París de 1974, de forma que estos dos convenios se unificaron, actualizaron y ampliaron creando el Convenio OSPAR de 1992. En 1998 se adoptó un nuevo anexo sobre biodiversidad y ecosistemas para cubrir actividades humanas no contaminantes que pudieran afectar negativamente al mar. La lista OSPAR incluye sustancias de posible preocupación, y fue adoptada en 2002, es una lista dinámica de trabajo y se revisa con regularidad, a medida que se obtienen nuevas informaciones sobre las sustancias, por ello se han eliminado ciertas sustancias de la lista. En este momento hay 315 sustancias que podrían merecer una acción por OSPAR, debido a su persistencia, bioacumulación y toxicidad. Algunas de las sustancias de la lista se han incluido en la Lista de Productos Químicos de Acción Prioritaria.

Los objetivos principales del Convenio OSPAR serían:

- Acciones y medidas para la protección de la biodiversidad marina, incluyendo una coherente y bien dirigida red de áreas marítimas protegidas, que incluso puede cubrir áreas más allá de su jurisdicción;
- Cambio climático y acidificación de los océanos;
- Alcanzar un buen estado medioambiental en el Noreste Atlántico para el año 2020, proveyendo una plataforma regional para la implementación de la Directiva Marco de Estrategia Marítima.

De esta forma, OSPAR ha adoptado la estrategia relativa a sustancias peligrosas, en la que se establecen una serie de principios como: (i) el principio de precaución; (ii) el principio "quien contamina paga"; (iii) las mejores técnicas disponibles (MTD) y mejores prácticas ambientales (MPA), incluyendo, en su caso, las tecnologías limpias medidas de control de promover la aplicación de MTD y medidas en la emisión y límites de vertido para las industrias más importantes. Otras de sus acciones comprenden medidas relativas a la sustitución de sustancias peligrosas, la prohibición de uso o restricciones, y las MPA, para minimizar las emisiones o los vertidos de sustancias peligrosas procedentes de fuentes difusas, tales como productos de consumo. Para el Convenio OSPAR las sustancias peligrosas, serían sustancias PBT (persistentes, bioacumulables y tóxicas), o de preocupación equivalente, por ejemplo las que interfieren con el sistema hormonal de los organismos.

Debido a la trayectoria del sector químico en la Comunidad Europea, marcada por la influencia de la Directiva Marco del Agua y el Reglamento sobre registro, evaluación y autorización de sustancias químicas (REACH), el trabajo desarrollado por el Convenio OSPAR sobre la selección y priorización de las sustancias ha quedado en relegado, de manera que ahora el Convenio colabora con la Comunidad Europea en el establecimiento de los valores límite relativos a las propiedades PBT.

El PFOS es un producto de descomposición de otras sustancias altamente tóxicas y persistentes, provenientes de compuestos que contienen el grupo perfluorooctanil sulfonilo, a estas sustancias se las conoce como precursores del PFOS. Varios de estos precursores se incluyen en la lista OSPAR de sustancias de posible preocupación. En el documento de referencia han sido identificados estos precursores y, en caso necesario, se tomarán las medidas de control adecuadas (Ver **Anexo 2**).

3. MARCO LEGISLATIVO

3.1. REGLAMENTO (CE) N° 850/2004

El Reglamento (CE) N° 850/2004²⁰ del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004 sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP) y por el que se modifica la Directiva 79/117/CEE,²¹ transpuesto por la Directiva 2006/122/CE², de 12 de diciembre, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (sulfonatos de perfluorooctano); indica que es prioritaria la protección del medio ambiente y de la salud humana.

Mediante este Reglamento se establece la creación de un Plan Nacional de Aplicación (PNA) por cada Estado Miembro del Convenio de Estocolmo. Este PNA estará disponible al público en general, y se procederá al intercambio de información con la Comisión y con los demás Estados miembros.

Los principios básicos en cuanto a medidas de gestión se basan en reducir al mínimo las posibles emisiones de COP, para ello es necesario y conveniente prohibir asimismo la producción de COP y limitar al máximo posible cualquier exención, de modo que las exenciones solamente se apliquen en los casos en que la sustancia cumple una función esencial en una aplicación específica y no existen alternativas técnicamente y socio-económicamente viables.

En relación a las disposiciones de este Reglamento sobre existencias de contaminantes orgánicos persistentes obsoletas y almacenadas de forma inadecuada pueden constituir un peligro grave para el medio ambiente y la salud humana a través, por ejemplo, de la contaminación del suelo y las aguas subterráneas. Por consiguiente, conviene adoptar disposiciones que vayan más allá de las previstas en el Convenio. Las existencias de sustancias prohibidas deben tratarse como residuos, mientras que las existencias de sustancias cuya producción o uso todavía estén permitidos deben notificarse a las autoridades o vigilarse de forma adecuada. En particular, las actuales existencias de COP prohibidos o que los contengan deben gestionarse como residuos lo antes posible. Si en el futuro se prohíben otras sustancias, sus existencias deben ser también destruidas de forma inmediata y no pueden formar parte de nuevos productos.

En virtud del Convenio de Estocolmo, el contenido de COP en los residuos debe destruirse o transformarse de forma irreversible en sustancias que no presenten

²⁰ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:229:0005:0022:ES:PDF>

²¹ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31979L0117:ES:NOT>

características similares, salvo que, desde el punto de vista medioambiental, sean preferibles otras operaciones. En este Reglamento, y para garantizar un nivel de protección elevado, se establecen los límites comunes de concentraciones de sustancias en los residuos. Además, se reconoce la importancia que tiene la identificación y separación de los residuos consistentes en COP o que los contengan en origen, para minimizar la extensión de dichas sustancias a otros residuos.

Los Estados miembros deben adoptar cuantas medidas sean necesarias para exigir que toda empresa o establecimiento que vierta, recupere, recoja o transporte residuos peligrosos no mezcle entre sí las distintas categorías de residuos peligrosos ni mezcle tampoco los residuos peligrosos con los residuos no peligrosos.

Este Reglamento ha sido modificado recientemente por los Reglamentos (CE) Nº 756/2010²² y Nº 757/2010²³, de forma que según lo establecido por el Comité de Examen de los COP en la reunión COP4 respecto al PFOS y sustancias relacionadas a.

El Reglamento (CE) Nº 756/2010 indica en su apartado 6), que en la COP4, se decidió incluir el ácido perfluorooctano sulfónico y sus derivados (en lo sucesivo denominados «PFOS») al anexo B («Restricción») del Convenio, con algunas exenciones para aplicaciones específicas.

Actualmente, el uso de PFOS está permitido para determinadas aplicaciones. Dado su ciclo de vida, los artículos que contienen PFOS continuarán entrando en el flujo de residuos durante algunos años, aunque sea en un volumen cada vez inferior. Pueden producirse dificultades prácticas de identificación de determinados materiales con PFOS en un flujo de residuos determinado.

Actualmente, todavía no se dispone de datos suficientes sobre las cantidades y las concentraciones de PFOS en los artículos y los residuos. Ampliar a los PFOS la obligación establecida en el Reglamento (CE) Nº 850/2004 de destruir o transformar irreversiblemente los COP en el caso de los residuos que superen los límites de concentración establecidos en el anexo IV podría influir en los sistemas de reciclado existentes, lo cual podría poner en peligro la prioridad medioambiental de garantizar el uso sostenible de los recursos. En vista de ello, se incluyen los PFOS en los anexos IV y V sin indicar los límites de concentración.

El Reglamento (CE) Nº 757/2010 indica en su apartado 5), que la comercialización y utilización de PFOS están restringidas en la Unión en virtud del anexo XVII del Reglamento (CE) Nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo (4), relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH).

²² <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:223:0020:0028:ES:PDF>

²³ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:223:0029:0036:ES:PDF>

La restricción impuesta en la actualidad a los PFOS en la Unión Europea tiene pocas excepciones, en comparación con las previstas en la decisión de la COP4. Los PFOS también se han incluido en el anexo I del Protocolo revisado, que se adoptó el 18 de diciembre de 2009. Por consiguiente, los PFOS deben incluirse en el anexo I del Reglamento (CE) Nº 850/2006, junto con las otras ocho sustancias. Se han tenido en cuenta las excepciones aplicables a los PFOS cuando se incluyeron en el anexo XVII, y se han incluido en el anexo I del Reglamento (CE) Nº 850/2004 con unas pocas modificaciones tan solo. Las excepciones deben estar sujetas a la utilización de la mejor técnica disponible, cuando sea aplicable. La excepción específica que permite el uso de PFOS como agentes humectantes para su utilización en sistemas controlados de galvanización tiene carácter temporal, de acuerdo con la decisión de la COP4. De resultar justificado desde el punto de vista técnico, el plazo puede ampliarse, si lo aprueba la Conferencia de las Partes en el Convenio. Los Estados miembros tienen que presentar cada cuatro años un informe acerca de la aplicación de las excepciones autorizadas. El informe de la Unión Europea, como Parte en el Convenio, debe basarse en los de los Estados miembros. La Comisión debe seguir revisando las excepciones restantes y la disponibilidad de tecnologías o sustancias alternativas más seguras.

En el Anexo 1 de este Reglamento se indican las exenciones específicas respecto a un uso como intermediario u otra especificación, de forma resumida, se limita a 0,001% en peso la concentración de PFOS, cuando esté presente en sustancias y preparados, y la concentración debe ser inferior a 0,1% en peso en artículos o productos semielaborados o partes de ellos, en el caso de tejidos u otros materiales recubiertos, la cantidad de PFOS debe ser inferior a 1 µg/m² del material revestido.

3.2. DIRECTIVA 2006/122/CE

La Directiva 2006/122/CE², de 12 de diciembre, del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se modifica por trigésima vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (sulfonato de perfluorooctano), tiene por objeto restringir la comercialización y el uso de PFOS, cubriendo la mayor parte de riesgos de exposición.

Esta Directiva se dirige a los procesos de cromado en los que se utilizan PFOS o sustancias relacionadas y, por consiguiente, considera que deben restringirse al máximo las emisiones resultantes de estos procesos aplicando las MTD y tomando plenamente en consideración toda la información pertinente que figura en el documento de referencia sobre las MTD para el tratamiento superficial de metales y plásticos, tal y como hayan sido desarrolladas para su utilización con arreglo a la Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (Directiva IPPC). Los Estados miembros deben establecer inventarios de dichos usos con el

fin de disponer de información sobre las cantidades reales utilizadas y emitidas. Los productos y artículos semi-acabados que contienen PFOS se someten a restricción, también para proteger el medio ambiente. Las restricciones deben aplicarse a todos los productos y artículos a los que se añadan PFOS de forma intencionada, teniendo en cuenta que se han podido añadir los PFOS solo a determinadas partes diferenciadas o se han podido incluir en el revestimiento de determinados productos y artículos. Las restricciones de la presente Directiva deben aplicarse solamente a los nuevos productos y no a los productos que ya se están utilizando o se comercializan en el mercado de productos reutilizados. Se prohibirá el PFOS y las sustancias afines como sustancias o componentes de preparaciones en concentraciones iguales o superiores a 0,005%, en productos y artículos semi-terminados a un nivel de 0,1% excepto para los textiles o los materiales recubiertos, para los que la cantidad restringida de PFOS será 1 µg/m².

3.3. ORDEN PRE/374/2008

La ORDEN PRE/374/2008³, de 31 de enero, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989²⁴, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (sulfonatos de perfluorooctano-PFOS), transpone la Directiva 2006/122/CE a la legislación nacional.

El Real Decreto 1406/1989, en el que se basa esta ORDEN PRE, es aquel por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos esta Real Decreto se aprobó de acuerdo con la normativa de la Unión Europea que regula esta materia, fundamentalmente la Directiva 76/769/CEE²⁵ del Consejo, de 27 de Julio de 1976, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos, y por el conjunto de sus posteriores modificaciones y adaptaciones al progreso técnico.

Mediante esta Orden PRE/374/2008, se añade al anexo I parte 1 del Real Decreto 1409/1989, el punto 53 (sulfonatos de perfluorooctano-PFOS), que figura en el siguiente anexo con sus correspondientes limitaciones, **Tabla 2**. Es importante señalar el punto 4 del anexo que dice: la espuma anti-incendios comercializada antes de 27 de diciembre de 2006 podrá ser utilizada hasta el 27 de junio de 2011, se establece así un periodo de caducidad para las espumas anti-incendios comercializadas y que contienen PFOS o sustancias relacionadas.

²⁴ http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-1989-27466

²⁵ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31976L0769:es:HTML>

Tabla 2. Anexo Orden PRE/374/2008

ANEXO	
Modificación del anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos	
Denominación de las sustancias, de los grupos de sustancias o de los preparados	Limitaciones
<p>53.</p> <p>Sulfonatos de perfluorooctano (PFOS).</p> <p>$C_8F_{17}SO_2X$</p> <p>[X = OH, sal metálica (O-M+), halogenuro, amida y otros derivados, incluidos los polímeros].</p>	<p>1) No podrá comercializarse o utilizarse como sustancia o componente de preparados en concentraciones iguales o superiores al 0,005% en masa.</p> <p>2) No podrá comercializarse en artículos o productos semiacabados o en partes de ellos, si la concentración de PFOS es igual o superior al 0,1% en masa calculada con referencia a la masa de las partes diferenciadas con carácter estructural o microestructural que contengan PFOS o, para los textiles u otro material de revestimiento, si la cantidad de PFOS es igual o superior a 1 µg/m² del material de revestimiento.</p> <p>3) No obstante, los puntos 1 y 2 no se aplicarán a los siguientes artículos, ni a las sustancias ni preparados necesarios para fabricarlos:</p> <p>a) Las resinas fotosensibles o los recubrimientos antirreflejantes para procesos fotolitográficos.</p> <p>b) Los recubrimientos aplicados en fotografía a las películas, el papel o las planchas para impresión.</p> <p>c) Los tratamientos antivaho para el cromado no decorativo endurecido (VI) y los agentes humectantes para su utilización en sistemas controlados de galvanización cuando la cantidad de PFOS emitida en el medio ambiente sea la mínima posible mediante la plena aplicación de las MTDs pertinentes desarrolladas en el marco de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.</p> <p>d) Los fluidos hidráulicos para la aviación.</p> <p>4) No obstante lo dispuesto en el punto 1, la espuma anti-incendios comercializada antes de 27 de</p>

	<p>diciembre de 2006 podrá ser utilizada hasta el 27 de junio de 2011.</p> <p>5) Los puntos 1 y 2 se aplicarán sin perjuicio de lo dispuesto en el Reglamento (CE) n.º 648/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 31 de marzo de 2004, sobre detergentes.</p> <p>6) A más tardar el 27 de diciembre de 2008 el Ministerio de Medio Ambiente establecerá y comunicará a la Comisión un inventario en el que figuren:</p> <p>a) Los procesos que se acogen a la excepción prevista en el punto 3.c) y las cantidades de PFOS utilizadas y emitidas en el curso de las mismas.</p> <p>b) Las existencias actuales de espuma anti-incendios que contengan PFOS.</p>
--	--

4. ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

4.1. INFORMACIÓN GENERAL

Las espumas anti-incendios son eficaces para prevenir, suprimir y extinguir incendios que provienen de una fuente de combustible. Si se usan los equipos de extinción adecuados, pueden ser el método más efectivo, y se pueden utilizar de una manera ambientalmente racional. Las espumas anti-incendios (utilizadas en sistemas de protección anti-incendios), siempre han tenido algún grado de impacto ambiental, por ello es necesaria una planificación de cómo esta espuma va a ser utilizada, de forma que se tenga en cuenta la protección del medio ambiente. La normativa actual no regula que disolventes o surfactantes han de llevar estas espumas medioambientalmente menos dañinas. Sin embargo, todas las espumas anti-incendios están sujetas a normativa en algún punto de su ciclo de vida, especialmente las espumas utilizadas en entrenamientos, o para sofocar un incendio, sin olvidar los disolventes o surfactantes utilizados en esta espuma. Estas espumas anti-incendios se encuentran reguladas debido a que generalmente sus ingredientes se encuentran en alguno de los anexos de la normativa medioambiental, o tienen características físico-químicas adversas, como por ejemplo espumación, que pueden causar un daño medioambiental, durante el almacenamiento, uso o descarga en el medio ambiente. Sustituir una espuma por otra puede mejorar la protección medioambiental; el mejor método para asegurar esta protección es diseñar un sistema de protección adecuado, con la cantidad correcta de agua y de espuma, y con el mantenimiento adecuado de las conducciones, prevención de descargas accidentales, y un método de captura y control de las descargas de espuma.

Existen diferentes tipos de espuma que se describirán a lo largo de este Capítulo 4, incluyendo: espuma formadora de película acuosa (AFFF), espumas formadoras de película acuosa resistentes a medios polares (AR-AFFF), espumas proteínicas resistentes a medios polares, espumas fluoroproteínicas, espumas para fuegos de Clase A, espumas de media y alta expansión, agentes humectantes, espumas de entrenamiento, etc. Cada una de estas espumas se utiliza con diferentes propósitos, o debido a sus estándares o especificaciones se utilizan en sistemas específicos. Las espumas anti-incendios normalmente se comercializan como un concentrado, que se diluye con agua y se le inyecta aire hasta obtener la disolución de espuma.

Las espumas anti-incendios se disponen normalmente en instalaciones contra incendios situadas en industrias de diferentes sectores, o bien en camiones de bomberos, o cerca de fuentes donde haya un extremado peligro de incendio. Cuando se usan en instalaciones fijas, el diseño debe incorporar una cubeta de contención, que recoja la espuma, y permita su

tratamiento para su posterior retirada, o emisión. Este tipo de contenciones previene que la espuma entre en contacto directo con el medioambiente y por tanto, previene un mayor impacto medioambiental y responsabilidades posteriores (Capítulo 7). Si las espumas se utilizan en camiones de bomberos, los procedimientos estandarizados para contener el flujo de espuma se deben aplicar *in situ*.

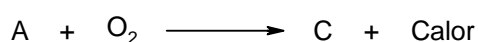
Estos procedimientos y sistemas son importantes cuando la espuma se utiliza en entrenamientos, durante descargas accidentales y en incendios reales. A pesar de que la extinción del fuego es el objetivo, no hay que olvidar utilizar los sistemas adecuados, y los procedimientos normalizados establecidos que protejan al medioambiente.

La espuma anti-incendios se utiliza para incendios generados por líquidos inflamables y combustibles. A diferencia de otros agentes extintores, como agua, polvo químico, CO₂, una espuma acuosa puede extinguir un líquido inflamable o combustible por los mecanismos combinados de enfriamiento y/o separación de la llama (o bien de la fuente de ignición) de la superficie de los productos, de esta forma se suprimen los vapores y se extingue finalmente el incendio. También, pueden asegurar la no re-ignición durante prolongados periodos de tiempo.

Por el contrario, si se utiliza agua sobre un hidrocarburo, ésta es más densa que la mayoría de estos líquidos, y si se aplica directamente sobre la superficie del combustible, quedará debajo de este teniendo poco o ningún efecto en la extinción o supresión de vapores. Si el líquido combustible se calienta por encima de 100°C, se puede producir la ebullición del agua debajo del combustible, hasta llegar a expandir el combustible fuera de su área de contención (explosión) y de esta forma esparcir el fuego. Por esta razón, según la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (National Fire Protection Association - NFPA), la espuma es la mejor opción como agente de extinción para todas las áreas o riesgos donde se transporten, procesen o almacenen líquidos inflamables.²⁶

4.1.1. PROCESO DE COMBUSTIÓN

De forma abreviada, el proceso de combustión se puede describir como resultado de una reacción química de oxido-reducción fuertemente exotérmica:



dónde:

A: es el combustible

²⁶ NFPA 1145: Guide for the Use of Class A Foams in Manual Structural Fire Fighting, 2006 Edition.

O₂: es el comburente, oxígeno

C: es el producto de combustión, calcinado

El combustible y el comburente se deberán encontrar en el espacio y tiempo en un estado energético suficiente para que el choque molecular sea efectivo y se produzca la reacción. La cantidad de materia A que en la unidad de tiempo pasa a C determinará la "velocidad de reacción", mientras que la velocidad con la que se extiende el frente de reacción, que separa la zona destruida de los productos de la reacción recibe el nombre de "velocidad de propagación". La velocidad de propagación se ve influenciada por los siguientes factores: superficie de contacto, concentración combustible-comburente y temperatura de los productos reactivos.

Para que se produzca el incendio se precisa de la concurrencia de tres factores, que se han dado en llamar "triángulo de fuego": combustible, comburente y fuente de calor. Actualmente se introduce un cuarto factor, que es la reacción en cadena, y por tanto se obtiene el de "tetraedro del fuego", **Figura 1**.²⁷

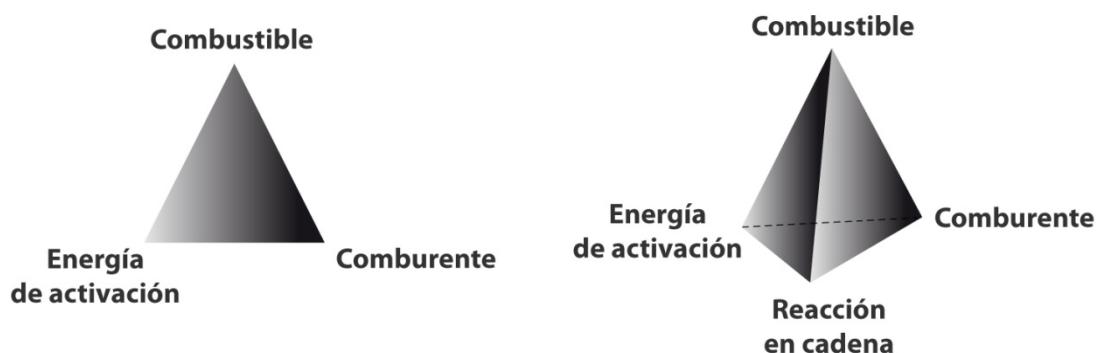


Figura 1. Representación del triángulo y tetraedro de fuego

Factores:

- Combustible: sustancia susceptible de combinarse con el oxígeno, de forma rápida y exotérmica.

De las características del combustible cabe señalar:

- *Punto de inflamación*: Temperatura mínima a la cual un líquido desprende la suficiente cantidad de vapores para que al mezclarse con el aire, se produzca la ignición mediante un aporte de la energía de activación.

²⁷ C

➤ *Temperatura de auto-ignición*: Temperatura mínima a la cual la sustancia debe ser calentada para iniciar o causar su propia combustión en ausencia de chispa o llama.

➤ *Límites de inflamabilidad*: Límite inferior (L.I.I.): Concentración mínima en % en volumen de combustible en mezcla con el aire, por debajo del cual la mezcla es demasiado pobre en combustible para que arda. Límite superior (L.S.I.): Concentración máxima por encima de la cual la mezcla está demasiado enriquecida en combustible para que arda.

➤ *Potencia calorífica*: Cantidad de calor que una sustancia puede desprender por unidad de masa en un proceso de combustión.

- Comburente: mezcla de gases en la cual el oxígeno está en proporción suficiente para que se produzca la combustión.
- Energía de activación: energía mínima necesaria para que se inicie la reacción.

La energía de activación es proporcionada por los "focos de ignición". Estos focos pueden ser: eléctricos (arco eléctrico, calentamiento por resistencia, calentamiento por inducción, cargas estáticas, etc.), mecánicos (calor de fricción, calor de compresión, etc.) térmicos (chispas de combustión, superficies calientes, radiación solar, etc.) y químicos (calor de combustión, calor de descomposición, calor de disoluciones, calentamiento espontáneo, etc.).

- Reacción en cadena: secuencia de reacciones, en la que cada producto recién formado cataliza la transformación subsiguiente de otro producto.

4.1.2. PROPAGACIÓN DEL INCENDIO

En la propagación del incendio influyen una serie de factores que se pueden incluir en dos grupos: factores técnicos y factores humanos.

Factores técnicos:

- Situación, distribución y características de los combustibles en el local.
- Carga térmica del local o sector (Mcal/m²)

$$C_t = \frac{P_c \cdot K}{S}$$

dónde: C_t = carga térmica o carga de fuego

P_c = potencia calorífica (Mcal/Kg)

K = kilogramos de combustible

S = superficie del local (m^2)

- Resistencia al fuego del local (condiciones estructurales y existencia de huecos).
- Suficiencia y adecuación de los medios de detección, alarma y extinción.
- Mantenimiento de dichos sistemas.

Factores humanos:

- Adiestramiento del personal en las técnicas de lucha contra incendios.
- Organización de la lucha contra incendios.

La prevención de un incendio se realiza analizando todos los factores que intervienen; para evitar su inicio y propagación debe actuarse de las siguientes maneras:

- Retirando el material combustible
- Disponiendo de sistemas de detección y alarma
- Utilizando equipos y medios de extinción
- Planificando sistemas de evacuación

El diseño de una nueva planta industrial conlleva la realización de un estudio detallado, en el que se tengan en cuenta los edificios próximos existentes o por construir, su carácter industrial o de vivienda, las condiciones climáticas de la zona, abastecimiento de agua, facilidades de acceso, etc.; deberán tenerse en cuenta todas las normas u ordenanzas que

puedan afectarles, el Real Decreto 314/2006,²⁸ de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) (y deroga a la norma básica de la edificación NBE-CPI/9, el Real Decreto 2177/1996), y el Real Decreto 173/2010,²⁹ de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad.

4.1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales utilizados en construcción se pueden clasificar de diversas formas, según el Real Decreto 312/2005,³⁰ por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia al fuego, es la transposición de la Directiva 89/106/CEE sobre productos de construcción, que se concreta en la norma europea UNE-EN 13501-1:2002 "Clasificación de la reacción al fuego de los materiales de construcción. Se establece la definición de resistencia al fuego como la capacidad de un elemento de construcción para mantener durante un período de tiempo determinado la función portante que le sea exigible, así como la integridad y el aislamiento térmico en los términos especificados en el ensayo normalizado correspondiente.

Según esta clasificación, los materiales se clasifican de la siguiente manera, **Tabla 3**.

Tabla 3. Clases de reacción al fuego de los productos de construcción		
Clase	Descripción	Criterios de clasificación
A1	No combustible. Sin contribución en grado máximo al fuego.	tf = 0
A2	No combustible. Sin contribución en grado menor al fuego.	tf ≤ 20 seg.
B	Combustible. Contribución muy limitada al fuego.	Fs ≤ 150 mm. en 60 seg. THR_{600s} ≤ 7,5 MJ
C	Combustible. Contribución limitada al fuego.	Fs ≤ 150 mm. en 60 seg. THR_{600s} ≤ 15 MJ

²⁸ <http://www.boe.es/boe/dias/2006/03/28/pdfs/A11816-11831.pdf>

²⁹ <http://www.boe.es/boe/dias/2010/03/11/pdfs/BOE-A-2010-4056.pdf>

³⁰ http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/ba40f3d2-16fb-4bc7-bff0-cf432cdb3845/13655/Disp_RD3122005ClasFuego.pdf

D	Combustible. Contribución media al fuego.	F_s ≤ 150 mm. en 60 seg. FIGRA ≤ 750 w/seg
E	Combustible. Contribución alta al fuego.	F_s ≤ 150 mm. en 20 seg.
F	Sin clasificar. Sin determinación de propiedades.	Sin determinación de propiedades.

Dónde:

t_f = *acrónimo en inglés de time flame* (duración de la llama)

F_s = *acrónimo en inglés de spherical flame propagation* (propagación de las llamas)

THR_{600s} = *acrónimo en inglés de total heat release* (emisión total de calor) (MJ)

FIGRA = *acrónimo en inglés de fire growth rate* (velocidad de propagación del fuego) (MJ)

Además, los materiales deben clasificarse, de forma obligatoria por la opacidad de los humos que generan "s" (smoke), este concepto incorpora velocidad de propagación y producción total de humos. Según esta clasificación los materiales se dividen en las siguientes clases de materiales, **Tabla 4:**

Tabla 4. Clases de materiales según el criterio "s"	
Clase	Descripción

S ₁	Opacidad baja
S ₂	Opacidad media
S ₃	Opacidad alta

Esta clasificación está basada en la aplicación de los siguientes criterios:

S₁: SMOGRA ≤ 30 m²/s² y TSP_{600s} ≤ 50m²

S₂: SMOGRA ≤ 180 m²/s² y TSP_{600s} ≤ 200 m²

S₃: ni S₁ ni S₂

Dónde:

SMOGRA = *acrónimo en inglés de smoke growth rate* (velocidad de propagación del humo)

TSP_{600s} = *acrónimo en inglés de total smoke production* (producción total de humo)

Igualmente, de manera adicional, y con carácter obligatorio, los materiales deben clasificarse también por la caída de gotas y partículas inflamadas "d" (drop), UNE-EN 13823:2002, según esta clasificación los materiales se dividen en (**Tabla 5**):

Tabla 5. Clases de materiales según el criterio "d"	
Clase	Descripción
d ₀	Nulo. Sin caída de gotas ni partículas inflamadas en UNE-EN 13823:2002 (SBI) en 600 s
d ₁	Media. Sin caída de gotas ni partículas inflamadas durante más de 10 s. en UNE-EN 13823:2002

	(SBI) en 600 s.
d ₂	Alta. Ni d ₀ ni d ₁ ; la ignición del papel UNE-EN-ISO 11925-2:2002 determina una clasificación d ₂

También se clasifican los toldos y carpas conforme al CTI y las cubiertas expuestas a un fuego exterior según UNE-EN 1187.

4.1.4. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE FUEGOS

La norma UNE 23-010-76 establece las clases de fuego normalizadas, **Tabla 6.**

Tabla 6. Clasificación de los materiales combustibles	
TIPO DE FUEGO	MATERIALES COMBUSTIBLES
Clase A	Combustibles sólidos, generalmente de tipo orgánico, cuya combustión tienen lugar normalmente con la formación de brasas y sólidos de alto punto de fusión (madera, papel, tejido, etc.)
Clase B	Combustibles sólidos de bajo punto de fusión y líquidos inflamables (disolventes orgánicos, destilados de hulla o petróleo como gasolinas, asfaltos, grasas, disolventes sintéticos, pinturas, alcohol, etc.)
Clase C	Combustibles gaseosos (propano, butano, acetileno, gas ciudad, etc.)
Clase D	Combustibles constituidos por metales y productos químicos reactivos (magnesio, titanio, sodio, potasio, etc.)

4.2. MECANISMO DE ACCIÓN DE LA ESPUMA ANTI-INCENDIOS

En condiciones normales, la eliminación o extinción del fuego se consigue interviniendo en uno de los factores que forman el tetraedro del fuego. Las espumas anti-incendios no interfieren en la reacción química, sino que actúan de las siguientes formas (**Figura 2**):

- **Sofocación:** La espuma cubre con una capa la superficie del combustible sofocando el fuego, impide el contacto del oxígeno del aire con la superficie de evaporación del líquido inflamable.
- **Separación:** La capa de espuma separa la llamas (o bien la fuente de ignición) de la superficie del combustible

- Refrigeración: La espuma enfría el combustible y superficies metálicas adyacentes, absorbiendo el calor generado.
- Eliminación del combustible: La capa de espuma suprime la liberación de vapores inflamables provenientes de la superficie del líquido.

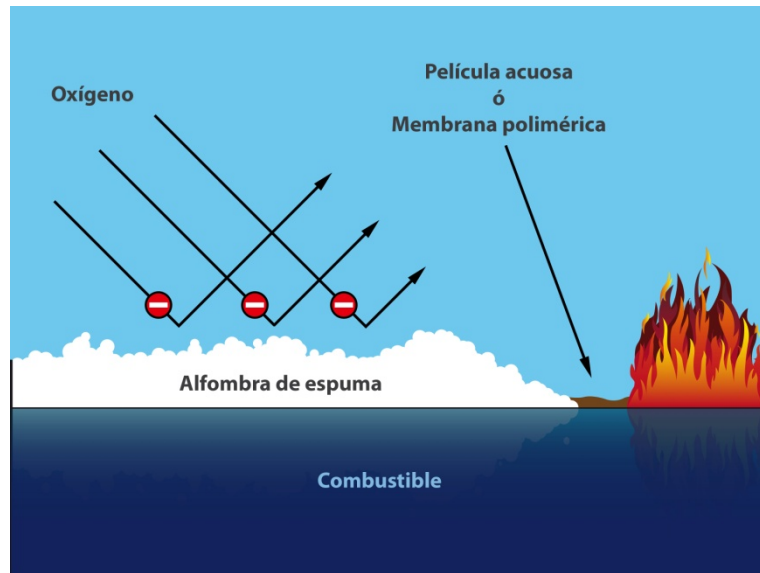


Figura 2. Acción de la espuma anti-incendios

4.3. EQUIPOS Y MEDIOS DE EXTINCIÓN

Los procedimientos de extinción están basados en la eliminación de uno de los factores que componen el tetraedro del fuego.

De acuerdo con lo expuesto, la actuación sobre el incendio conlleva:

- Eliminación del combustible
- Eliminación del comburente (sofocación)
- Eliminación de la energía de activación (refrigeración)
- Eliminación de la reacción en cadena (inhibición)

4.3.1. AGENTES EXTINTORES

Para lograr la extinción del incendio se recurre a los agentes extintores (agua, agua pulverizada, espuma, anhídrido carbónico, polvo) que se proyectan sobre los combustibles en ignición. A continuación se describen algunos de los agentes extintores (**Tabla 7**).

Tabla 7. Descripción de los agentes extintores más comunes

Agente	Descripción	Características
Agua	Sustancia extintora más utilizada, actúa como refrigerante y como sofocante de incendios, ya que al evaporarse produce vapor de agua que cubre el fuego, dificultando el aporte de oxígeno.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ventajas: economía, abundancia, disponibilidad, inocuidad. ➤ Inconvenientes: dispersa el incendio en líquidos y sólidos subdivididos, produce daños considerables y no puede utilizarse donde exista riesgo eléctrico. ➤ Aplicación: surtidor o pulverizada mediante difusores que la reducen a gotas muy finas favoreciendo su evaporación, y por consiguiente la refrigeración. ➤ La adición al agua de un espumante especial (1 - 3 - 6%) forma las espumas formadoras de película acuosa (AFFF).
Anhídrido carbónico	Gas que se licúa por compresión y enfriamiento debiéndose almacenar en recipientes adecuados, ya que su presión es de 60 atmósferas a temperatura ambiente. La descarga de CO ₂ fuera del recipiente produce una expansión que genera una especie de nieve conocida como nieve carbónica, la cual actúa como sofocante. Al igual que el polvo normal tampoco el CO ₂ apaga brasas.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ventajas: no tóxico, aplicación a fuegos eléctricos, no produce daños ni deterioros, sale autoimpulsado, etc. ➤ Inconvenientes: no puede aplicarse a fuegos con brasas, poco efectivo en exteriores y produce asfixia en porcentajes superiores al 4%.
Polvo	<p>Se clasifican en: polvo normal B, C; polvo anti-brasa A, B, C (polivalente) y polvos especiales.</p> <p>Los polvos normales y polivalentes son sales metálicas con algunos aditivos, siendo el bicarbonato sódico o potásico su componente básico. Los polvos normales tienen como ventaja buenas cualidades extintoras son buenos inhibidores (impiden la reacción en cadena) actuando como sofocantes, los polvos anti-brasa añaden a las cualidades anteriores la de ser refrigerantes, y los especiales, por sus propiedades particulares, se aplican también en fuegos especiales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ventaja: aplicables a fuegos eléctricos y no tóxicos ➤ Inconveniente: no pueden utilizarse en máquinas o instalaciones delicadas y tienen peligro de reactivación del fuego al cesar el aporte de polvo.

Espumas	<p>Son burbujas de aire o gas en base acuosa, que flotan en las superficies de los líquidos debido a su baja densidad, impidiendo que el combustible continúe en contacto con el aire. También, pueden utilizarse en los fuegos con brasas debido al alto porcentaje de agua que tiene su composición.</p> <p>La espuma puede ser química (generada por reacción química) o física (generada por la mezcla de un producto espumógeno, agua y aire, con productos estabilizadores de la espuma).</p>	<p>➤ Inconveniente: no pueden ser utilizadas en fuegos eléctricos (excepto la espuma de alta expansión) y además, son muy corrosivas.</p>
---------	---	---

Las espumas se clasifican según el índice de expansión (IE = volumen de espuma generado/volumen de líquido empleado):

- De baja expansión (IE: 10:1)
- De media expansión (IE = 100:1)
- De alta expansión (IE = 1000:1)

Se denominan de baja expansión cuando la espuma mediante la adición de aire a presión se ha expandido de 1 a 20 veces, se denominan de media expansión cuando la espuma se ha expandido de 20 a 200 veces y se denominan de alta expansión cuando la espuma se ha expandido de 200 a 2000 veces más de su volumen inicial.³¹

Cada espuma es adecuada para un tipo de fuego sobre el que ofrecen una protección específica. Las espumas de baja expansión poseen la característica de desplazarse bien por superficies líquidas. Las espumas de media expansión se utilizan para la supresión de vapores o humos tóxicos. La espuma de alta expansión es la más adecuada para fuegos que se expanden de forma tridimensional, pero también se utiliza para apagar fuegos producidos por líquidos derramados.

4.3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

La clasificación de las espumas anti-incendios también se puede realizar en base a diferentes características de la espuma del siguiente modo (**Tabla 8**):

³¹ Workman, M., *Sistemas de Espuma – Baja Expansión, Media Expansión, Alta Expansión, División de Riesgos Especiales. Viking Corporation. Marzo 2006.*

Tabla 8. Clasificación de los tipos de espumas anti-incendios

Criterio de clasificación	Subtipos	
Índice de expansión	Espuma de baja expansión (IE= 10:1)	
	Espuma de media expansión (IE = 100:1)	
	Espuma de alta expansión (IE = 1000:1)	
Líquido combustible sobre el que actúan	Espuma para fuegos de hidrocarburos (no miscibles en agua)	
	Espuma para fuegos de líquidos polares (miscibles en agua)	
	Espuma polivalente (apta para ambos)	
Mecanismo de sofocación	Espuma convencional	
	Espuma formadora de película acuosa (AFFF)	
Forma de aplicación	Espuma para aplicar sobre superficie (superficial)	
	Espuma para aplicar desde el fondo (subsuperficial)	
Productos contenidos en el espumógeno	Espumas proteínicas	Espumógenos proteínicos convencionales
		Espumógenos fluoroproteínicos
		Espumógenos fluoroproteínicos anti-alcohol
		Espumógenos fluoroproteínicos AFFF
	Espumas sintéticas	Espumógenos hidrocarbonados
		Espumógenos fluorosintéticos AFFF
		Espumógenos fluorosintéticos anti-alcohol o especiales

Las AFFF son concentrados que resisten tanto medios alcohólicos, como disolventes polares, por tanto se utilizan principalmente para fuegos de líquidos que son miscibles en agua, debido a que se forma una película polimérica. Estas son espumas mecánicas sintéticas de baja expansión. Están disponibles en dos concentraciones, la más común es la de 3%-6% que se usa al 3% en hidrocarburos y al 6% en disolventes, y la otra presentación, denominado multipropósito, 3%-3%, se usa para todo tipo de combustibles.³²

Se pueden encontrar otras denominaciones de espumas como espumas para fuegos Clase A, o agentes humectantes o espumas de entrenamiento, que entrarían en las categorías anteriormente mencionadas.

Las espumas AFFF y AR-AFFF se pueden usar con equipos de aspiración de aire o sin ellos. Cuando se apliquen sobre fuegos de hidrocarburos polares se debe disponer de un dispositivo de aspiración, pues se genera una masa adicional y de esta forma se consigue una aplicación más suave sobre la superficie del líquido, optimizando su eficacia. Otros factores a tener en cuenta en el momento de la extinción serían: la intensidad del fuego, la distancia que la espuma debe recorrer hasta llegar al fuego, la densidad de aplicación de espuma, etc.; así como, también el tipo de boquilla óptimo que se deben utilizar.

En general, es posible aplicar varios tipos de espuma diferentes en un incendio. Sin embargo, en cuanto a la mezcla y almacenaje, no es recomendable almacenar espumas de diferentes fabricantes y se recomienda limpiar minuciosamente los equipos una vez que han sido utilizados, debido a la alta corrosión que producen las espumas, de otra forma los equipos se estropearían y habría que renovarlos.

4.3.3. COMPONENTES DE LAS ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

Los componentes de las espumas anti-incendios concentradas consisten en agua, disolventes, surfactantes, y otros aditivos en menor proporción, que pueden ser, inhibidores de la corrosión, preservadores, colorantes (**Tabla 9**).

Tabla 9. Componentes de las espumas anti-incendios
Diluyente
Agua
Disolventes

³² <http://www.productosmesa.es/catalogo/?idf=209&idp=462>

(2-Metoximetiletoxi)propanol	1,2-Propanodiol	1H-Benzotriazol
2-Butoxietanol	Butilcarbital	Etanol
Glicol	Hexilenglicol	Hidrocarburos
Isopropanol	Alcohol laúrico	Metil-1H-benzotriazol
Propilenglicol tert-butiléter	N-propanol	Tert-butil alcohol
Tetraetilenglicol dimetiléter	Trietanolamina	Etilenglicol
Surfactantes		
Óxidos de alquil dimetilamina	Alquil poliglicósido	Octilfenoxipolietoxietanol
N-Lauril beta-iminopropionato	Sulfato magnésico	Surfactantes fluoroalquilícos
Octanol sulfato de sodio	Benzotriazol	Proteínas hidrolizadas
Sal de C-Isodecil éster	Fluorosurfactantes	Mezcla de detergentes sintética
Sales de C ₁₀ -C ₁₆ alquil ésteres		
Otros		
Ácido acético	Biocida	Diclorofenol
EDTA (Ácido etilendiamino tetraacético)	Sulfato férrico	Nonilfenol etoxilato
Goma polisacárida	Cloruro de sodio	Óxido de zinc
Sal de sodio de 2-bifenilol	Inhibidores de la corrosión	

Las cantidades de cada componente en las espumas anti-incendios son, aproximadamente 17 % de surfactantes, 16 % de disolventes, 65 % de agua y 2 % de otros componentes. Por ejemplo, para una espuma AFFF al 3 %, que ha sido expandida: 3 % de espuma y 97 % de agua, los porcentajes aproximados serían 0.52 % de surfactantes, 0.49 % de disolventes, 98.94 % de agua y 0.05 % de otras sustancias.

La vida media de estas espumas puede ser de hasta 20 años aunque depende de las condiciones de almacenaje, de la temperatura, tipo de contenedor, y otros factores, sin embargo, NFPA recomienda un análisis anual de todos los espumógenos. Existen empresas del sector que proporcionan un servicio técnico analizando el estado de sus espumógenos, verificando el comportamiento de las espumas con distintos combustibles. El análisis de los espumógenos incluye, además de las comprobaciones tradicionales de laboratorio, las pruebas necesarias para determinar exactamente el nivel de eficacia según el tipo de producto utilizado y el tipo de fuego que se pueda generar.

4.3.4. SISTEMAS DE EXTINCIÓN

Los sistemas de extinción se pueden clasificar como: extintores portátiles (la mezcla de espuma AFFF ya está preparada y lista para su uso), instalaciones fijas (abiertas o cerradas), extinción por aplicación manual, y aquellos en que la mezcla de espuma se efectúa *in situ*. En todos estos casos, la descarga de AFFF al medio supone un grave problema, ya que grandes cantidades de esta espuma son perjudiciales para el medio ambiente. Para evitarlo, **no se debe permitir que el flujo de espuma llegue al ecosistema sin tratar o alcance los cauces de aguas residuales**. Para ello hay que controlar el vertido previamente y tratarlos posteriormente.

4.3.4.1. EQUIPOS PORTÁTILES (EXTINTORES)

Son recipientes cerrados, que contienen en su interior una sustancia extintora que puede ser proyectada y dirigida sobre un fuego por la acción de una presión interior. Esta presión puede obtenerse por una compresión previa permanente, por una reacción química o por la liberación de un gas auxiliar.

Los extintores móviles se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios como se indica en la siguiente tabla, **Tabla 10**.

Tabla 10. Clasificación de extintores	
POR SU CARGA	<p>Portátiles manuales: su masa total transportable es menor de 20 Kg.</p> <p>Portátiles dorsales: su masa total transportable es menor de 30 Kg.</p> <p>Sobre ruedas: para ser transportados por una o varias personas.</p>
POR SU EFICACIA	<p>Los extintores se clasifican según el hogar-tipo que son capaces de extinguir y se identifican con un número y con una letra (según la norma UNE 23110 parte I).</p>

	El número significa la cantidad de combustible que se utiliza en el hogar-tipo, y la letra la clase de fuego. Esta eficacia debe acreditarla el fabricante mediante un Certificado de Idoneidad, que nos permite conocer realmente la eficacia de un extintor.
POR SU FORMA DE IMPULSIÓN	De presión auxiliar permanente (incorporada). De presión propia permanente. De presión por reacción química. De presión auxiliar por botellín.
POR LA SUSTANCIA EXTINTORA	Extintores de soda-ácida y espuma química. Extintores de agua. Extintores de polvo químico. Extintores de CO ₂ .

En la elección del extintor deberá tenerse en cuenta la naturaleza del combustible o clase de fuego, grado de riesgo existente, condiciones ambientales, toxicidad del agente y eficacia del extintor.

En el documento básico "DB-SI: Documento Básico de Seguridad anti-incendios" perteneciente al CTE, se concretan las exigencias básicas para las instalaciones de protección anti-incendios. En general, los equipos e instalaciones adecuados para hacer posible la detección, el control y la extinción del incendio, así como la transmisión de alarma de los ocupantes.

Los agentes extintores más adecuados a cada tipo de fuego se reflejan en la **Tabla 11**, según la normativa vigente, Real Decreto 1942/1993,³³ de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección anti-incendios modificada por la Orden de 16 de abril de 1998³⁴ sobre normas de procedimiento y desarrollo.

Tabla 11. Agentes extintores y su adecuación a distintas clases de fuego				
AGENTE EXTINTOR	CLASES DE FUEGO (UNE 23010)			
	A (Sólidos)	B (Líquidos)	C (Gases)	D (Metales)

³³ http://www.boe.es/boe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-1993-29581

³⁴ <http://www.boe.es/boe/dias/1998/04/28/pdfs/A14109-14112.pdf>

				especiales)
Agua pulverizada	(2) xxx	x		
Agua a chorro	(2) xx			
Polvo BC (convencional)		xxx	xx	
Polvo ABC (polivalente)	xx	xx	xx	
Polvo específico metales				xx
Espuma física	(2) xx	xx		
Anhídrido carbónico	• x	x		
Hidrocarburos halogenados	(1) x	xx		

xxx: Muy adecuado xx: Adecuado x: Aceptable

(1) En fuegos poco profundos (profundidad inferior a 5 mm) puede asignarse xx

(2) En presencia de tensión eléctrica no son aceptables como agentes extintores el agua a chorro, ni la espuma. El restos de los agentes extintores podrán utilizarse en aquellos extintores que superen el ensayo dieléctrico normalizado en UNE 23.110

4.3.4.2. INSTALACIONES FIJAS

Se entiende por instalaciones o sistemas fijos, los formados por una red de tuberías, tanques de almacenamiento del agente extintor, equipos y elementos terminales que cubren permanentemente las zonas donde se localice algún riesgo de incendio.

Estas instalaciones pueden ser de distintos tipos:

- Según el sistema de accionamiento: manual o automático (rociadores o "sprinklers").
- Según la sustancia extintora: sistema de agua, de espuma, de CO₂, de polvo seco, etc.
- Según la zona de actuación: parcial o por inundación total.
- Según el modo de aplicación: sistemas semifijos, fijos o móviles.

Los más extendidos son los sistemas de agua, destacando como más frecuentes los de "columna seca", los de "boca de incendios equipadas" (BIE), los de "hidrantes exteriores", los de "extinción por rociadores automáticos", los de "agua pulverizada", los de "extinción por polvo" y los de "agentes extintores gaseosos".

Los rociadores o "sprinklers", son instalaciones automáticas fijas muy utilizadas, ya que permiten detectar y apagar el fuego. Estos sistemas están formados por una red de tuberías extendida por toda la zona a proteger, y contiene un conjunto de rociadores, que distribuyen el agua o la espuma en forma de lluvia, de manera individualizada cuando se alcanza una temperatura determinada. Cada sprinkler cubre una superficie aproximada de 9-16 m². Habitualmente los sprinklers se colocan a altura, pero en ocasiones la instalación zonas bajas.

4.3.4.2.1 SISTEMAS DE EXTINCIÓN MEDIANTE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

Los sistemas de extinción por espuma física de baja expansión deben ajustarse a las normas UNE que se enumeran:

- **UNE 23.521.1990** Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Generalidades.
- **UNE 23.522.1983** Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Sistemas fijos para protección de riesgos interiores.
- **UNE 23.523.1984** Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Sistemas fijos para protección de riesgos exteriores. Tanques de almacenamiento de combustibles líquidos.
- **UNE 23.524.1983** Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Sistemas fijos para protección de riesgos exteriores. Espuma pulverizada.
- **UNE 23.525.1983** Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Sistemas para protección de riesgos exteriores. Monitores de lanza y espuma.
- **UNE 23.526.1984** Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Ensayos de recepción y mantenimiento.

El **mantenimiento de sistemas fijos de extinción** (rociadores de agua, agua pulverizada, polvo, espuma y agentes extintores gaseosos) debe hacerse cada tres meses, por el titular de la instalación, incluyendo la comprobación de que las boquillas del agente extintor o rociadores están en buen estado y libres de obstáculos para su funcionamiento correcto. Además, se debe comprobar el buen estado de los componentes del sistema, especialmente de la válvula de prueba en los sistemas de rociadores o los mandos manuales de la instalación de los sistemas de polvo, o agentes extintores gaseosos. También, se debe

comprobar el estado de la carga, la señalización de los indicadores de control y la limpieza general de todos los componentes.

El mantenimiento a realizar por personal especializado del fabricante o instalador del equipo o sistema se debe realizar cada tres meses y esto incluye comprobación integral, incluyendo en todo caso la verificación de los componentes del sistema, especialmente los dispositivos de disparo y alarma, la comprobación de la carga de agente extintor y del indicador de la misma (medida alternativa del peso o presión), comprobación del estado del agente extintor y prueba de la instalación.

Según la Orden de 16 de abril de 1998, sobre normas de procedimiento y desarrollo del Real Decreto 1942/1993, se debe revisar cada año, por el personal especializado del fabricante o instalador del equipo o sistema o por el personal de la empresa mantenedora autorizada, el sistema de abastecimiento de agua anti-incendios, incluyendo la gama de mantenimiento anual de motores y bombas de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Esta revisión incluye limpieza de filtros y elementos de retención de suciedad en alimentación de agua, prueba del estado de carga de baterías y electrolito de acuerdo con las instrucciones del fabricante y prueba en condiciones de su recepción, con realización de curvas de abastecimiento con cada fuente de agua y de energía.

Los sistemas fijos de extinción abiertos, consisten en un oscilante y sistemas fijos de boquilla, así como rociadores. Estos sistemas vierten espuma por la activación de los detectores de humo o de llama, o bien, por activación manual de los sistemas de extinción de emergencias. Para tener la posibilidad de controlar un incendio se requiere, además de un Plan Pre-Incidente, contar con un sistema de Rociadores Automáticos debiendo diseñarse e instalarse de acuerdo con NFPA 13, NFPA 231 y NFPA 231C. En el caso más desfavorable, para un accidente, en el que el sistema de protección produce una descarga, la contención del incendio supondrá que el sistema deberá mantener un mínimo de 10 minutos de flujo continuo. Esta capacidad debe ser mayor según aumenta el tiempo de respuesta del cuerpo de bomberos.

Los sistemas de extinción cerrados, son sistemas que no tienen orificios abiertos. Para que estos sistemas funcionen el fuego tienen que provocar un calor suficiente para fundir la válvula del rociador y de esta forma comenzar la extinción. Para estos sistemas, se define el caso más desfavorable como, a partir de un control periódico, deben mantener un flujo continuo durante 3 minutos. El diseño y las dimensiones del sistema de contención, pueden afectarse por una serie de factores como son, el número, tamaño y dosificación de los sprinklers. De manera que, cada sprinkler deberá ser evaluado individualmente. Por ejemplo, para un hangar de aviones, si la tasa de flujo es de 9500 lpm (litros por minuto), la prueba debe mantener 3 minutos y por tanto el sistema debe tener al menos 29000 lpm.

Como se ha indicado previamente, los sistemas de extinción de incendios se diseñarán para contener la mayor cantidad de flujo de espuma AFFF, es decir, el caso más desfavorable. En el caso de un incendio, los sistemas automáticos colocados en los hangares, deben controlar la cantidad de espuma expulsada. Generalmente, esta cantidad siempre es menor que la espuma utilizada por una manguera cuando los bomberos sofocan un incendio. Se debe contener el flujo de espuma mediante los dispositivos especificados (Capítulo 7).

4.3.4.2. EXTINCIÓN POR APLICACIÓN MANUAL

Las espumas anti-incendios normalmente vienen concentradas, y se mezclan en los sistemas o en los camiones de bomberos, o en las localizaciones donde se encuentran los combustibles, la mezcla suele ser con agua, y se agitan o se airean para formar la solución de espuma.

Cuando se utilizan estas espumas en camiones de bomberos, se deben aplicar procedimientos para la captura y contención del flujo de espuma. Todos estos sistemas son importantes cuando las espumas se utilizan en entrenamientos, durante descargas accidentales, sistemas de comprobación, y durante incendios en progreso. A pesar de que la seguridad en la extinción/supresión del incendio es fundamental, si se dispone de los sistemas diseñados específicamente se protegerá el medio ambiente también.

Las AFFF, se suelen suministrar en los hangares, están en los sistemas de extinción fijos, y permiten extinguir incendios que se generen de sustancias inflamables o combustibles, lo que se denomina fuego líquido. Este tipo de sistemas de protección es necesario para proteger aeronaves, y por tanto en hangares. Un ejemplo de almacenaje de espumas contra incendios se presenta en la **Figura 3**.



Figura 3. Almacenamiento de espuma anti-incendios

En el caso de un incendio, los sistemas automáticos colocados en los hangares, deben controlar la cantidad de espuma expulsada. Generalmente, esta cantidad siempre es menor que la espuma utilizada por una manguera cuando los bomberos sofocan un incendio.

4.4. RIESGOS LABORALES EN EL USO DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

La Ley 31/1995,³⁵ de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL) por la que se transpone la Directiva Marco 89/391/CEE, "relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo" y el importante desarrollo reglamentario derivado de esta Ley. Han sido ampliados y modificados por las leyes: Ley 50/1998,³⁶ de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, la Ley 39/1999,³⁷ de 5 de noviembre, y el Real Decreto Legislativo 5/2000,³⁸ de 4 de agosto, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social.

Según la legislación vigente se establece que los profesionales en seguridad y salud en el trabajo, deberán elaborar un plan de prevención para cada instalación, en el que se aborde la protección anti-incendios, y en el que se realice la evaluación de riesgos, la ordenación de las medidas preventivas y el control de la efectividad de las mismas, teniendo en cuenta las características de los COP. También, deberán proporcionar formación e información de los trabajadores acerca de los riesgos existentes en el trabajo y la forma de prevenirlos y evitarlos. Todos los planes de prevención deberán atenerse a estos principios y observar las normas laborales locales o nacionales.

En general, se puede describir tres maneras de proteger a los trabajadores contra los sustancias químicas peligrosas (en orden de preferencia):

- Mantener al trabajador alejado de toda posible fuente de contaminación;
- Controlar los contaminantes para reducir al mínimo la posibilidad de exposición;
- Proteger al trabajador por medio de equipo de protección personal.

Esto, referido a las espumas anti-incendios, supone que el trabajador no debe mantener un contacto directo con las espumas, y para minimizar el riesgo de exposición debe llevar ropa de trabajo adecuada, y los equipos de protección individual pertinentes. Estas medidas de seguridad, a medio plazo mejorarán la salud humana, en cuanto a los valores encontrados de PFOS, sus sales y sustancias relacionadas en humanos, y con ello se pretende minimizar los efectos tóxicos para la reproducción.

³⁵ http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-1995-24292

³⁶ <http://www.boe.es/boe/dias/1998/12/31/pdfs/A44412-44495.pdf>

³⁷ http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-1999-21568

³⁸ <http://www.boe.es/boe/dias/2000/08/08/pdfs/A28285-28300.pdf>

4.4.1. MEDIDAS PARA HACER FRENTE A SITUACIONES DE EMERGENCIA

Los factores socio-económicos indican que, las espumas anti-incendios AFFF seguirán utilizándose, especialmente en el sector petrolífero y otras refinerías. Además, hay que tener en cuenta la industria emergente de combustibles alternativos como etanol o biocombustibles. Los hidrocarburos polares requieren AFFF, por tanto si las infraestructuras en este sector aumentan, la demanda de estas espumas será mayor.

4.5. IMPACTO AMBIENTAL Y TOXICIDAD DE LAS ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

Las espumas anti-incendios tienen diferentes propiedades intrínsecas que pueden causar daños medioambientales, incluyendo: formación de espumas, demanda de oxígeno, toxicidad acuática, biodegradación y formación de emulsiones oleosas. La mitigación de los daños medioambientales que suponen las espumas anti-incendios, supone una cuidadosa planificación y gestión.³⁹ Esto debe incluir, sistemas de ingeniería para la captura y contención de estas espumas, equipo de contención temporal, procedimientos operativos estándar optimizados y otras medidas (Capítulo 7). La simple sustitución de la espuma por otra "medioambientalmente favorable" no elimina los impactos medioambientales. En orden a realizar una elección final de qué tipo de espuma utilizar, para el sistema de protección anti-incendios, es esencial realizar una completa revisión de los riesgos medioambientales y, de los beneficios de usar sustancias químicas para la supresión de los incendios. Esto incluiría tanto a los sistemas de protección anti-incendios como a los profesionales medioambientales para asegurar un equilibrio entre el máximo nivel de protección y el cuidado del medio ambiente.

La identificación de un caso de surfactantes fluorados en aguas subterráneas, como consecuencia de la lucha anti-incendios ha creado una gran preocupación debido al potencial daño medioambiental resultante de la utilización de AFFF.⁴⁰

Las AFFF, como se ha visto previamente, incluyen en su formulación surfactantes fluorados. Son sustancias químicas con características especiales, ya que sus propiedades físico-químicas les distinguen de los surfactantes hidrocarbonados (tamaño, rigidez, conformación, hidroficidad, polarizabilidad química y estabilidad física) por ello se prueban diferentes surfactantes aniónicos para preparar las espumas.⁴¹

³⁹ Ruppert, W.H., Verdonik, D.P. and Hanauska, C. "Environmental Impacts of Firefighting Foams", 2004 Hughes Associates, Inc.

⁴⁰ Moody, C.A., Field, J.A., 2000. Perfluorinated Surfactants and the Environmental Implications of Their Use in Fire-fighting foams, Environ. Sci. Technol. 34(18), 3864-3870.

⁴¹ Mishra, N.C., Müller, H-J., Möhwald, H and Krastev, R., 2006. Properties of foam Films stabilized with tetraethylammonium perfluorooctane-sulfonate, Journal of Fluorine Chemistry, 127, 133-139.

Hasta el momento, no existen demasiados datos acerca del transporte, biodegradación y toxicidad de los surfactantes fluorados en el medio ambiente. Sin embargo, el hecho es que los surfactantes fluorados, así como otros componentes de las AFFF, pueden aparecer junto a otros contaminantes prioritarios (por ejemplo, fuel o disolventes clorados), lo que complica los estudios de destino medioambiental, por tanto se debe incidir en el estudio de estas AFFF.

Los estudios publicados reflejan que, pese a la carencia de datos, los ríos europeos analizados muestran una contaminación por derivados de perfluorooctano, a pesar de que las fuentes de fabricación de fluoropolímeros están alejadas, lo cual indica que otras fuentes difusas contribuyen a la contaminación de estos ríos.⁴² **Se ha demostrado que la detección de surfactantes perfluorados implica que las aguas subterráneas pueden estar potencialmente contaminadas con AFFF.**

Actualmente las AFFF contienen compuestos perfluorados que resisten la degradación y persisten en el medio ambiente, esta resistencia se debe a la naturaleza del enlace C-F, y a la rigidez de la cadena fluorocarbonada. Aunque algunos de los componentes de las espumas, como los sulfatos de hidrocarburos alquílicos, se consideran biodegradables en condiciones aeróbicas y anaeróbicas, en general, es necesario un mayor conocimiento de la biodegradación de los componentes de las AFFF. Las propiedades físico-químicas indican que existe gran solubilidad en agua y moderada adsorción en suelos.⁴³

La toxicidad de las mezclas de los componentes de las espumas anti-incendios y sus residuos en el medio ambiente son difíciles de estimar, ya que las aguas residuales son mezclas complejas que, además, pueden contener otros contaminantes prioritarios, junto a los compuestos tóxicos provenientes de la combustión. Por ello, se establece una sinergia en la toxicidad debido a la mezcla de componentes, lo que dificulta la determinación de la toxicidad medio ambiental de las AFFF en sí.

4.5.1. TOXICIDAD ACUÁTICA

La actual Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas^{44/45} establece que la política de la Comunidad en el ámbito del medio ambiente debe contribuir a alcanzar los objetivos siguientes: la conservación, la protección y la mejora de la calidad del medio ambiente, y la utilización prudente y racional de los

⁴² McLachlan, M.S., Holmström, K.E., Reth, M. and Berger, M. 2007, Riverine discharges of perfluorinated carboxylates from the European Continent, *Environ. Sci. Technol.* 41(21), 7260-7265.

⁴³ Prevedouros, K., Cousins, I.T., Buck, R.C. and Korzeniowski, S.H. 2006. Sources, fate and transport of perfluorocarboxylates. *Environ. Sci. Technol.* 40(1), 32-44.

⁴⁴ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:es:HTML>

⁴⁵ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52008PC0487:ES:NOT>

recursos naturales. Asimismo, debe basarse en el “principio de precaución” y en los principios de acción preventiva, de corrección de los atentados al medio ambiente preferentemente en la fuente misma. La mejor forma de alcanzar estos objetivos se basa en la creación de Cuencas Hidrográficas, y con el establecimiento de valores umbrales como una norma de calidad de las aguas subterráneas, fijada por los Estados miembros según el artículo 3 de la Directiva 2006/118/CE,⁴⁶ relativa a la protección de aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

Los análisis de toxicidad realizados por exposición a AFFF, indican que las plantas y los animales son los más afectados. Debido a la vía de entrada, generalmente ingestión o respiración, causante de los efectos más dañinos. Las plantas y animales en aguas están menos expuestos. La toxicidad acuática se determina utilizando una serie de pruebas: toxicidad aguda (a corto plazo), o toxicidad crónica (a largo plazo), expresadas como nivel de concentración letal para el 50% de los individuos (LC₅₀), o nivel de concentración en el que se observan efectos sobre el 50% de los individuos (EC₅₀), u otros parámetros de determinación de toxicidad.

La toxicidad obtenida debe ser comparada con una referencia de toxicidad estándar, y de esta forma se puede determinar el potencial impacto sobre el medioambiente, que se evaluará según las condiciones específicas de uso. Se puede utilizar una escala de referencia como la que establece el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (United States Fish and Wildlife Service (FWS), **Tabla 12**.

Tabla 12. Escala de toxicidad agua (FWS)	
Toxicidad relativa	EC₅₀ o LC₅₀ (mg/L)
Super tóxico	< 0.01
Extremadamente tóxico	0.01 - 0.1
Altamente tóxico	0.1 - 1
Moderadamente tóxico	1 - 10
Levemente tóxico	10 - 100

⁴⁶ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:372:0019:0031:ES:PDF>

Prácticamente no tóxico	100 - 1000
Relativamente inocuo	> 1000

Los parámetros de toxicidad se establecen de manera que un número mayor indica un menor nivel de toxicidad. En las espumas anti-incendios, existen una gran variedad de espumas dentro de los niveles comprendidos entre prácticamente no tóxicas y levemente tóxicas. Una vez que el concentrado de espuma es diluído casi todas se incluyen dentro de la categoría de relativamente inocuo.

Para establecer una comparativa de la toxicidad de diferentes espumas anti-incendios, se han realizado ensayos de toxicidad con seis concentrados de espumas diferentes, en dos especies acuáticas distintas.⁴⁷ Las espumas que se incluyen en el ensayo, son tres tipos de AFFF, un agente humectante y dos tipos de espumas "libres de fluor". De las espumas AFFF, se incluyen una resistente a hidrocarburos polares (AR-AFFF), otra certificada por un laboratorio acreditado (UL), y otra que cumple las especificaciones de la armada americana ("military specification: Mil-F-24385"). El agente humectante y las espumas "libres de fluor" se incluyeron porque se comercializan como "medioambientalmente benignas", y como alternativas a las AFFF. Todos los concentrados de espuma examinados se obtuvieron de un almacén de productos puestos en el mercado. Todas las espumas excepto el agente humectante se comercializaban al 3%, para diluir con 97% de agua.

Los resultados obtenidos en los ensayos se muestran en la **Tabla 13**, se realizaron por exposición de los peces a aguas que contenían diferentes concentraciones de la sustancia prueba, durante un periodo de cuatro días.

Tabla 13. Ensayo de 96 h LC₅₀		
Espumógeno	<i>Oncorhynchus mykiss</i> LC₅₀ (mg/L)	<i>Pimephales promelas</i> LC₅₀ (mg/L)
Agente humectante	1,06	0,887
Espuma "libre de fluor" A	65	171

⁴⁷ Fire Fighting Foam Coalition, "Aquatic Toxicity of Fire Fighting Foams", October 2006.

Espuma "libre de flúor" B	71	171
Milspec AFFF	2176	884
AR-AFFF	3536	1487
UL-AFFF	5657	1726

La **Figura 4** representa los valores obtenidos en los ensayos. El agente humectante tiene la toxicidad más aguda, de todos los concentrados de espuma analizados, con un LC₅₀ alrededor de 1 mg/L, para las dos especies acuáticas. Se podría considerar altamente tóxico según la **Tabla 11**. Los dos concentrados de espuma "libres de flúor" ensayados tienen una toxicidad un orden de magnitud menor, con un LC₅₀ que varía de 65 a 171 mg/L, por tanto estos concentrados están considerados de levemente tóxicos a prácticamente no tóxicos según la **Tabla 11**. Finalmente los concentrados de espuma AFFF, se encontraban en el rango de 884 a 5657 mg/L de LC₅₀, que es un orden de magnitud menor en toxicidad, con respecto a las espumas "libre de flúor", por tanto los concentrados AFFF pueden ser considerados prácticamente no tóxicos según la escala FWS reflejada en la **Tabla 11**.

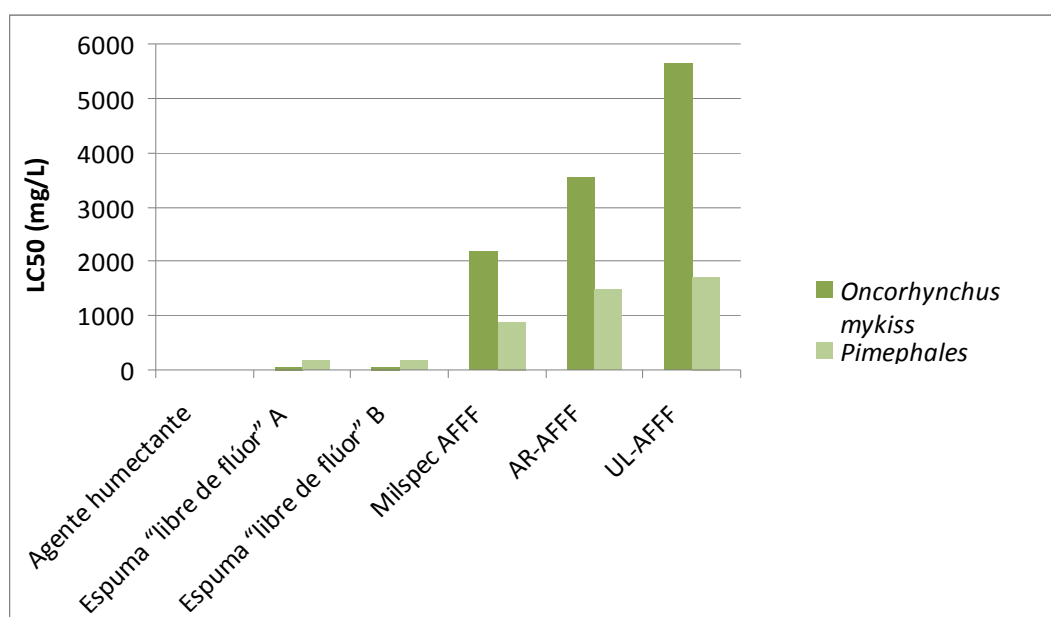


Figura 4. Ensayo de toxicidad para diferentes tipos de espumas anti-incendios en organismos acuáticos

Según se refleja en la gráfica, los concentrados de espuma "libre de flúor" analizados, no

garantizan que, por el hecho de no contener flúor sean inocuos para el medioambiente. La industria ratifica que los concentrados de espuma “libre de fluor” contienen mayores cantidades de surfactantes hidrocarbonados y de disolventes que son, con respecto al medio ambiente acuático, más tóxicos que los fluorosurfactantes.

4.5.2. TOXICIDAD EN SUELOS

La legislación nacional en cuanto a suelos se rige por Real Decreto 9/2005,⁴⁸ de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

Este Real Decreto, pretende establecer una relación de actividades industriales susceptibles de causar la contaminación del suelo, así como adoptar criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. De esta forma, se pretende elaborar un inventario de suelos contaminados por Comunidades Autónomas y posteriormente, el Inventario Nacional de Suelos Contaminados.

Sin embargo, este Real Decreto no tiene establecidos valores de niveles genéricos de referencia para determinar la posibilidad de que un suelo esté contaminado por PFOS, sus sales o sustancias relacionadas. Sí es posible, determinar una contaminación de suelo realizando el informe preliminar que se especifica en el Anexo II (Alcance y contenido mínimo del informe preliminar de situación de un suelo). Pero para determinar según el Anexo III (Criterios para la consideración de un suelo como contaminado) que un suelo está contaminado por PFOS, sus sales o sustancias relacionadas se debe tener en cuenta que, la concentración en el suelo de cualquier contaminante químico no recogido en el Anexo V para ese suelo excede 100 o más veces, el nivel genérico de referencia calculado de acuerdo con los criterios establecidos en el Anexo VII (Criterios para el cálculo de niveles genéricos de referencia).

Ante la carencia de un nivel genérico de referencia, se utilizarán otros métodos, identificando la sustancia o sustancias contaminantes y determinando su valor significativo de concentración (máximo medido, p95 (percentil 95) u otro estadístico debidamente justificado).

Se ha calculado que, aproximadamente un 80% del PFOS puede migrar de suelos/lodos a aguas en un periodo de tiempo.⁴⁹ PFOS tiene una solubilidad de 550 mg/L en agua pura a 24-25 °C, la solubilidad desciende significativamente a medida que aumenta la salinidad, por ejemplo, para la sal de potasio de PFOS la solubilidad en agua es 370 mg/L, y en agua de mar 25 mg/L. Debido a las propiedades como surfactantes del PFOS el log Kow no se puede

⁴⁸ http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-2005-895# analisis

⁴⁹ 3M PFOS KAW AR226-0051 1999, 95-104.

medir. La sal de potasio tiene una presión de vapor de 3.31×10^{-4} Pa a $T^a = 20$ °C. En algunos estudios se ha concebido una concentración de 31 mg/Kg para suelos levemente contaminados y 151 mg/Kg para suelos moderadamente contaminados. Además, la actividad de dehidrogenasa en suelos es más sensible en suelos ácidos que en alcalinos, al PFOS. Esto indica una influencia importante del pH del suelo en la toxicidad de PFOA. No existen datos contrastados de toxicidad de PFOS, sus sales o sustancias relacionadas, en organismos de suelos, gusanos y plantas, para más datos ver **Anexo 1**.

5. NIVELES DE PROTECCIÓN

5.1. REGLAMENTO DE INSTALACIONES PETROLÍFERAS (REAL DECRETO 2085/1994)

Sobre instalaciones petrolíferas actualmente se hallan vigentes varias normativas referidas a refinerías de petróleo y parques de almacenamiento, utilización de productos petrolíferos para calefacción y otros usos no industriales y condiciones de los almacenamientos de petróleos pesados y ligeros. El Reglamento 2085/1994,⁵⁰ se ocupa de las instalaciones petrolíferas en sus aspectos de refino, almacenamiento y distribución, excluyendo en las dos últimas partes los productos de clase A por estar regulados en otras disposiciones.

En este Real Decreto se aprueban las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) MI-IP 01 "refinerías" y MI-IP 02 "parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos". Este Real Decreto, en su artículo 27, contempla específicamente los medios generales de lucha anti-incendios. De esta forma se especifican la utilización del agua, la utilización de espuma y la utilización de extintores. Respecto a la utilización de espuma, debe haber una reserva de espumante, independientemente de la cantidad de espumógeno necesaria para el funcionamiento del sistema de protección por espuma según los caudales y tiempos de aplicación que se indican para el cálculo del caudal de agua necesario, se dispondrá además de una reserva, que será como mínimo la necesaria para proteger el tanque que requiera más espumógeno.

El caudal de agua necesario se puede calcular, para los tanques de lecho fijo, se deberá suministrar un caudal mínimo de cuatro litros/minuto de solución acuosa por cada metro cuadrado de superficie a cubrir. Durante un tiempo mínimo de cincuenta y cinco minutos.

Para los tanques de techo flotante, existen dos posibilidades, según la situación de las bocas de descarga:

A. Bocas por encima del cierre: la distancia máxima entre dos bocas de descarga será de 12 metros, medidos sobre la circunferencia del tanque, si se utiliza una pantalla de retención de la espuma de 30 centímetros de altura y de 24 metros si la pantalla es de 60 centímetros. El caudal de aplicación y suministro de espumógeno debe calcularse utilizando el área de la corona circular comprendida entre la pantalla de retención de la espuma y el cuerpo cilíndrico del tanque. El caudal mínimo de espumante debe ser de 6,5 litros/minuto/metro cuadrado. El suministro será el necesario para mantener el sistema en funcionamiento veinte minutos.

⁵⁰ http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-1995-2122

B. Bocas de descarga están por debajo del cierre: el caudal de aplicación y suministro de espumógeno debe calcularse utilizando el área de la corona circular comprendida entre el cuerpo cilíndrico del tanque y el borde del techo flotante. El caudal mínimo de espumante debe ser de 20 litros/minuto/metro cuadrado. El suministro será el necesario para mantener el sistema en funcionamiento durante diez minutos. Si se utiliza cierre tubular, la distancia entre dos bocas no debe exceder dieciocho metros. Si se utiliza cierre tipo pantógrafo, la distancia entre dos bocas no debe exceder de cuarenta metros.

Deberá contarse con medios apropiados para la protección anti-incendios en derrames dentro de cubetos.

En todas las instalaciones en que se almacenen o manejen hidrocarburos se preverá la colocación de extintores de polvo portátiles o sobre ruedas, del tipo adecuado a la clase de fuego que pueda producirse. También, se utilizará material móvil de gran potencia, que permitirá completar la protección suministrada por las diferentes instalaciones fijas.

5.2. SEGURIDAD ANTI-INCENDIOS EN ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES (REAL DECRETO 2267/2004)

De acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 2267/2004,⁵¹ de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad anti-incendios en los establecimientos industriales, se entiende por estos: las industrias, tal y como se definen en el artículo 3.1 de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria; los almacenamientos industriales; los talleres de reparación y los estacionamientos de vehículos destinados al transporte de personas y al transporte de mercancías. Y los servicios auxiliares o complementarios de las actividades comprendidas en los puntos anteriores.

Se aplicará, además a todos los almacenamientos de cualquier tipo de establecimiento cuando su carga de fuego total, calculada según el anexo I, sea igual o superior a tres millones de Megajulios (MJ).

Asimismo, se aplicará a las industrias existentes antes de la entrada en vigor de este reglamento cuando su nivel de riesgo intrínseco, su situación o sus características impliquen un riesgo grave para las personas, los bienes o el entorno, y así se determine por la administración autonómica competente.

Quedan excluidas del ámbito de aplicación de este reglamento las actividades en establecimientos industriales o instalaciones nucleares, radiactivas, las de extracción de minerales, las actividades agropecuarias y las instalaciones para usos militares.

⁵¹ <http://www.boe.es/boe/dias/2004/12/17/pdfs/A41194-41255.pdf>

Igualmente, quedan excluidas de la aplicación de este reglamento las actividades industriales y talleres artesanales similares cuya densidad de carga de fuego, calculada de acuerdo con el anexo I de este Real Decreto, no supere 10 Mcal/m² (42 MJ/m²), siempre que su superficie útil sea inferior o igual a 60 m², excepto en lo recogido en los apartados 8 (extintores de incendio) y 16 (sistemas de alumbrado de emergencia) del anexo III.

En el anexo I, se detalla la caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad anti-incendios:

Su configuración y ubicación con relación al entorno, y

- Su nivel de riesgo intrínseco

Clasificándose de acuerdo con su configuración y ubicación en:

a) Establecimientos industriales ubicados en un edificio.

Tipo A: Ocupe parcialmente un edificio que tiene, además, otros establecimientos, ya sean estos de uso industrial o de otros usos.

Tipo B: Ocupe totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de 3 metros del edificio más próximo a otros establecimientos.

Tipo C: Ocupe totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de metros del edificio más próximo de otros establecimientos.

b) Establecimientos industriales que desarrollan su actividad en espacios abiertos que no constituyen un edificio.

c) Se consideran los siguientes tipos, según que:

Tipo D: Ocupe un espacio abierto, que puede tener cubierta más del 50% de la superficie ocupada.

Tipo E: Ocupe un espacio abierto, que puede tener cubierta hasta el 50% de la superficie ocupada.

Los edificios industriales también pueden ser caracterizados por su nivel de riesgo intrínseco. Para ello, hay que cubrir dos aspectos fundamentales, sectores de incendio y carga de fuego.

Los establecimientos industriales, en general, estarán constituidos por una o varias configuraciones de los tipos A, B, C, D y E. Cada una de estas configuraciones constituirá una o varias zonas (sectores o áreas de incendio) del establecimiento industrial.

1. Para los tipos A, B y C se considera "sector de incendio" el espacio del edificio cerrado por elementos resistentes al fuego durante el tiempo que se establezca en cada caso.

2. Para los tipos D y E se considera que la superficie que ocupan constituye un "área de incendio" abierta, definida solamente por su perímetro.

Los establecimientos industriales se clasifican según su grado de riesgo intrínseco, determinándose éste, de acuerdo a la carga de fuego unitaria, la carga de fuego ponderada, la carga de fuego media, etc. Lo que determinará la periodicidad de las inspecciones de sus instalaciones, cinco años para los establecimientos de riesgo intrínseco bajo, tres años para los de riesgo intrínseco medio y dos años para los de riesgo alto, esta carga de fuego deberá ser analizada por un Organismo de Control facultado para ello.

El nivel de riesgo intrínseco de cada sector o área de incendio se evaluará:

1. Calculando la siguiente expresión, que determina la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de dicho sector o área de incendio:

dónde:

$$Q_s = \frac{\sum_i G_i q_i C_i}{A} K R_a \left(\text{MJ/m}^2 \right) \text{ o } \left(\text{Mcal/m}^2 \right)$$

Q_s = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en

MJ/m² o Mcal/m².

G_i = masa, en kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector o área de

incendio (incluidos los materiales constructivos combustibles).

q_i = poder calorífico, en MJ/kg o Mcal/kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen

en el sector de incendio.

C_i = coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.

R_a = coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc.
Cuando existen varias actividades en el mismo sector, se tomará como factor de riesgo de activación el inherente a la actividad de mayor riesgo de activación, siempre que dicha actividad ocupe al menos el 10 por ciento de la superficie del sector o área de incendio.

A = superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m².

Los valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad, C_i , de cada combustible pueden deducirse de la tabla 1.1, del Catálogo CEA de productos y mercancías (omitida en este documento), o de tablas similares de reconocido prestigio cuyo uso debe justificarse.

Los valores del coeficiente de peligrosidad por activación, R_a , pueden deducirse de la tabla 1.2 de este Real Decreto (omitida en este documento).

Los valores del poder calorífico q_i , de cada combustible, pueden deducirse de la tabla 1.4

de este Real Decreto (omitida en este documento).

5.3. NIVELES DE PROTECCIÓN EN AERODROMOS

La **Organización de Aviación Civil Internacional, OACI**⁵² (o ICAO, por sus siglas en inglés *International Civil Aviation Organization*) evalúa los problemas de la aviación civil internacional y promueve los reglamentos y normas únicos en la aeronáutica mundial.

Los fines y objetivos de esta organización son:

- Desarrollar los principios y la técnica de la navegación aérea internacional, y
- Fomentar la formulación de planes y el desarrollo del transporte aéreo internacional.

La OACI estableció un código de aeropuertos OACI, que es un código de designación de aeropuertos compuesto de 4 caracteres alfanuméricos que sirve para identificarlos, y son usados para el control del tráfico aéreo y operaciones de aerolíneas tales como la planificación de vuelos.

Además, la OACI establece una Normas y métodos recomendados internacionales, entre los cuales cabe destacar el **ANEXO 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional Aeródromos (Volúmenes I y II)**.⁵³ Este anexo trata de las especificaciones para el diseño y equipamiento de aeródromos, y consta de dos volúmenes, Volumen I: Diseño y operación de aeródromos, y Volumen II: Helipuertos.

Este Anexo 14 trata diferentes temas, desde la planificación de aeropuertos y helipuertos hasta detalles como el tiempo que deben tardar en entrar en servicio las fuentes secundarias de energía eléctrica; desde aspectos de ingeniería civil hasta la iluminación; desde la provisión de los equipos de salvamento y extinción de incendios hasta los requisitos para reducir el peligro que representan las aves en los aeropuertos.

El Anexo 14 uno de los documentos que hay que actualizar con más frecuencia. El Volumen I del Anexo 14, aborda el diseño y las operaciones de aeródromos y el Volumen II que trata del diseño de helipuertos.

⁵² www.icao.int

⁵³ "Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil internacional" Aeródromos. Volumen I: Diseño y operaciones de aeródromos, OACI, Noviembre 2004.

El Volumen I refleja las disposiciones relativas a sus las características físicas de los aeródromos, es decir, anchura, pendientes de sus superficies y distancias de separación de otras instalaciones. Existen disposiciones relativas a nuevas instalaciones, desconocidas en los orígenes de la OACI, por ejemplo, las áreas de seguridad de extremo de pista, las zonas libres de obstáculos, y las zonas de parada.

Para el funcionamiento de correcto de un aeropuerto es vital el **servicio de salvamento y extinción de incendios**, con el cual deben contar todos los aeropuertos internacionales de conformidad con el Anexo 14. El Anexo indica qué agentes extintores deben utilizarse, así como la cantidad y el tiempo límite en que deben llegar al lugar del siniestro.

Los servicios, equipo e instalaciones del aeródromo vienen determinados de manera que los factores más importantes que afectan al salvamento eficaz en los accidentes de aviación en los que haya supervivientes son el adiestramiento recibido, la eficacia del equipo y la rapidez con que pueda emplearse el personal y el equipo asignados al salvamento y a la extinción de incendios.

Los requisitos que deben cumplir los aeródromos con respecto al salvamento y la extinción de incendios no se ajustan a los requisitos relativos a la extinción de incendios de edificios y depósitos de combustible o al recubrimiento de las pistas con espuma sin o que el nivel de protección que ha de proporcionarse en un aeródromo a efectos de salvamento y extinción de incendios será apropiado a la categoría del aeródromo, que se establecerá utilizando los principios estipulados en la **Tabla 14** y **Tabla 15**. Cabe realizar una puntualización excepcional, ya que si el número de movimientos de aviones de la categoría más elevada que normalmente utilizan el aeródromo es menos de 700 durante los tres meses consecutivos de mayor actividad, el nivel de protección que se proporcionará será un nivel que no se encuentre más de una categoría por debajo de la categoría fijada.

Tabla 14. Categoría del aeródromo a efectos de salvamento y extinción de incendios		
Categoría del aeródromo (1)	Longitud total del avión (2)	Anchura máxima del fuselaje (3)
1	de 0 a 9 m exclusive	2 m

2	de 9 a 12 m exclusive	2 m
3	de 12 a 18 m exclusive	3 m
4	de 18 a 24 m exclusive	4 m
5	de 24 a 28 m exclusive	4 m
6	de 28 a 39 m exclusive	5 m
7	de 39 a 49 m exclusive	5 m
8	de 49 a 61 m exclusive	7 m
9	de 61 a 76 m exclusive	7 m
10	de 76 a 90 m exclusive	8 m

La **Tabla 14** se basa en el avión de mayor longitud que normalmente utilizará el aeródromo y en la anchura de su fuselaje. Si después de seleccionar la categoría correspondiente a la longitud total del avión, la anchura del fuselaje del avión es mayor que la anchura máxima establecida en la **Tabla 14**, columna 3, para dicha categoría, la categoría para ese avión será del nivel siguiente más elevado.

Durante los periodos en que se prevea una disminución de actividades, el nivel de protección disponible no será inferior al que se precise para la categoría más elevada del avión que se prevea utilizará el aeródromo durante esos periodos, independientemente del número de movimientos.

En los aeródromos deberían suministrarse agentes extintores principales y complementarios.

El agente extintor principal debería ser:

- a) una espuma de eficacia mínima de nivel A; o***
- b) una espuma de eficacia mínima de nivel B; o***
- c) una combinación de estos agentes.***

El agente extintor principal para aeródromos de las categorías 1 a 3 debería ser, de preferencia, de eficacia mínima de nivel B.

El agente extintor complementario debería ser un producto químico seco en polvo adecuado para extinguir incendios de hidrocarburos.

Tabla 15. Cantidades mínimas utilizables de agentes extintores					
	Espuma de eficacia de nivel A		Espuma de eficacia de nivel B		Agentes complementarios
Categoría del aeródromo	Agua* (L)	Régimen de descarga solución de espuma por min (L)	Agua* (L)	Régimen de descarga solución de espuma por min (L)	Productos** químicos secos en polvo (kg)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	350	350	230	230	45
2	1000	800	670	550	90
3	1800	1300	1200	900	135
4	3600	2600	2400	1800	135
5	8100	4500	5400	3000	180
6	11800	6000	7900	4000	225
7	18200	7900	12100	5300	225
8	27300	10800	18200	7200	450
9	36400	13500	24300	9000	450
10	48200	16600	32300	11200	450

** Las cantidades de agua que se indican en las columnas 2 y 4 se basan en la longitud general media de las aeronaves en una categoría determinada. Cuando se prevea que se realizarán operaciones de una aeronave de mayor envergadura que el tamaño medio, se deben recalcular las cantidades de agua. Véase el Manual de servicios de aeropuertos, Parte 1, para obtener directrices adicionales.*

*** Puede utilizarse cualquier otro agente complementario que tenga una capacidad equivalente de extinción de incendios.*

La **Tabla 15** muestra las cantidades de agua para la producción de espuma y los agentes complementarios que han de llevar los vehículos de salvamento y extinción de incendios, y que deberán estar de acuerdo con la categoría del aeródromo.

De tal forma que,

- a) en aeródromos de las categorías 1 y 2 podría sustituirse hasta el 100% del agua por agentes complementarios; o
- b) en aeródromos de las categorías 3 a 10, cuando se utilice una espuma de eficacia de nivel A, podría sustituirse hasta el 30% del agua por agentes complementarios.

A los efectos de sustitución de los agentes, deberán emplearse las siguientes equivalencias:

***1 kg agente complementario = 1 L de agua para la producción de espuma de
eficacia de nivel A***

***1 kg agente complementario = 0,66 L de agua para la producción de espuma de
eficacia de nivel B***

La cantidad de concentrado de espuma que ha de transportarse por separado en los vehículos para producir la espuma será proporcional a la cantidad de agua transportada y al concentrado de espuma elegido.

La cantidad de concentrado de espuma que ha de transportarse en un vehículo debería bastar para aplicar, como mínimo, dos cargas de solución de espuma.

Deberían proporcionarse suministros de agua suplementarios para el reaprovisionamiento rápido de los vehículos de salvamento y extinción de incendios en el lugar donde ocurra un accidente de aeronave.

Cuando deba emplearse tanto una espuma de eficacia de nivel A como una espuma de eficacia de nivel B, la cantidad total de agua que ha de proveerse para la producción de espuma debería basarse, en primer término, en la cantidad que sería necesaria en el caso de emplearse solamente una espuma de eficacia de nivel A, reduciéndola en 3 L por cada 2 L de agua suministrada para la espuma de eficacia de nivel B.

El régimen de descarga de la solución de espuma no deberá ser inferior a los regímenes indicados en la **Tabla 15**.

Los agentes complementarios deberían cumplir con las especificaciones pertinentes de la Organización Internacional de Normalización (ISO).

El régimen de descarga de los agentes complementarios debería elegirse de manera que se logre la máxima eficacia del agente.

A efectos de reabastecer a los vehículos, debería mantenerse en el aeródromo una reserva de concentrado de espuma y agentes complementarios, equivalente al 200% de las cantidades de estos agentes que han de suministrarse en los vehículos de salvamento y extinción de incendios. Cuando se prevea una demora importante en la reposición, debería aumentarse la cantidad de reserva.

El Volumen II del Anexo 14 contempla especificaciones que complementan las del Volumen I que, en algunos casos, se aplican también a los helipuertos, estas especificaciones describen las características físicas y las superficies limitadoras de obstáculos requeridas para las operaciones de helicópteros, desde los helipuertos de superficie y elevados en tierra y las heliplataformas, en condiciones meteorológicas de vuelo visual y de vuelo por instrumentos.

Se han incluido también el Volumen II, textos relativos a señales y luces de los helipuertos y a los requisitos de éstos en materia de salvamento y extinción de incendios. Aunque las especificaciones sobre señales y luces de los helipuertos sólo se aplican a las condiciones meteorológicas de vuelo visual, se están ideando ayudas visuales apropiadas para las operaciones de helicópteros en condiciones meteorológicas de vuelo por instrumentos.

6. COMERCIALIZACIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

6.1. CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO

La clasificación y etiquetado de los productos químicos está en un proceso de actualización continua debido a la aparición de nuevos datos acerca de los posibles daños medioambientales que las sustancias químicas pueden producir sobre el medio ambiente o sobre la salud humana, especialmente aquellas de origen antropogénico, de mayor peligrosidad por su alto volumen de producción, por sus características PBT (persistencia, bioacumulación y toxicidad), o bien muy persistentes y muy bioacumulables (mPmB).

Para realizar la identificación de las sustancias, a través de las diferentes etapas de su ciclo de vida, fabricación, manipulación, transporte, uso y eliminación como residuos, se ha intentado dar un enfoque internacional armonizado de clasificación y etiquetado, de esta forma se alcanzó el "Sistema Mundialmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos" (GHS) que constituye la base para la armonización de normas y reglamentos sobre los productos químicos a nivel nacional, regional y mundial, y por tanto es un elemento que facilita el comercio internacional. Este sistema propone la utilización de las Fichas de Datos de Seguridad (FDS), a través de toda la cadena de suministro, y el etiquetado de la mercancía de una manera globalizada.

La **Figura 5**, presenta un ejemplo de etiquetado utilizado actualmente para las espumas anti-incendios AFFF.



Figura 5. Etiqueta utilizada actualmente para comercializar espumógenos AFFF

6.1.1. REGLAMENTO (CE) Nº 1907/2006 (REACH)

A nivel europeo el Reglamento (CE) Nº 1907/2006,⁵⁴ del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, establece las disposiciones para la circulación de sustancias químicas dentro del territorio europeo. Las fichas de datos de seguridad han sido un método bien aceptado y efectivo para facilitar información sobre sustancias y mezclas en la Comunidad, y han pasado a ser parte integrante del sistema establecido por este Reglamento.

La modificación de los anexos de este Reglamento se presentan en la ORDEN PRE/1244/2006, de 20 de abril, por la que se modifican los anexos I y V del Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995,⁵⁵ de 10 de marzo.

Se han realizado varias modificaciones del Reglamento, el Reglamento (UE) Nº 453/2010,⁵⁶ de 20 de mayo, por el que se modifica el Reglamento REACH, de forma que en el Anexo II, se muestra la Guía para la elaboración de las Fichas de Datos de Seguridad (FDS).

La FDS incluirá las 16 secciones siguientes de conformidad con el artículo 31, apartado 6, así como los epígrafes que se indican con excepción de la sección 3, en la que solamente es necesario incluir, según proceda, los epígrafes 3.1 o 3.2. (Ver **Anexo 3** de este documento: Epígrafes de la FDS según el Reglamento REACH.

Las nuevas FDS serán obligatorias a partir del 1 de Diciembre de 2010 para las sustancias, y del 1 de Junio de 2015 para las mezclas. No obstante, se podrán utilizar con anterioridad a estas fechas.

Y la última modificación corresponde al Real Decreto 1436/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifican diversos reales decretos para su adaptación a la Directiva 2008/112/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, que modifica varias directivas para adaptarlas al Reglamento (CE) Nº 1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas. La adopción de este Reglamento implicará, a partir del 1 de junio de 2015, la completa derogación de las dos directivas comunitarias que regulaban la materia: la Directiva 67/548/CEE.

⁵⁴ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:136:0003:0003:ES:PDF>

⁵⁵ <http://www.boe.es/boe/dias/2006/04/28/pdfs/C00001-00167.pdf>

⁵⁶ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:133:0001:0043:ES:PDF>

Las principales modificaciones que la transposición de la Directiva 2008/112/CE implican: la sustitución de los términos “preparado” o “preparados” por “mezcla” o “mezclas”, la redefinición del concepto de “sustancia peligrosa”, “recubrimiento” o la remisión a la aplicación de las previsiones del Reglamento (CE) nº 1272/2008. En relación con las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles, además de las modificaciones que se han mencionado, se introduce una sustitución progresiva y escalonada de las frases de riesgo por indicaciones de peligro, en un principio coexisten estas dos denominaciones y finalmente, a partir del 1 de junio de 2015 se producirá la derogación completa, y la sustitución definitiva subsistiendo únicamente las indicaciones de peligro, que es la terminología utilizada por el reglamento comunitario.

6.1.2. REGLAMENTO (CE) Nº 1272/2008 (CLP)

Este Reglamento REACH, se modificó por el Reglamento (CE) Nº 1272/2008, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de mezclas (CLP).⁵⁷ En el Anexo I de este Reglamento, se tratan los Requisitos de Clasificación y Etiquetado de Sustancias y Mezclas Peligrosas.

Este Anexo I, consta de diferentes partes:

- Parte 1: Principios Generales de Clasificación y Etiquetado
- Parte 2: Peligros físicos
- Parte 3: Peligros para la salud
- Parte 4: Peligros para el medio ambiente
- Parte 5: Clase de peligro adicional para la UE

De conformidad a este Reglamento se establecen la clasificación y etiquetado de sustancias relacionadas con PFOS, ya que este como tal no aparece en ninguno de los anexos, en la **Tabla 16**, se refleja un extracto de la Tabla 3.1 del CLP: Lista armonizada de clasificación y etiquetado de sustancias peligrosas.

⁵⁷ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:es:PDF>

Tabla 16. Clasificación y etiquetado de sustancias peligrosas precursoras de PFOS según el Reglamento REACH

Nº Índice	Denominación Química Internacional	Nº CE	Nº CAS	Clasificación		Etiquetado			Límites de concentración específicos y factores M	Notas
				Códigos de clase y categoría de peligro	Códigos de indicaciones de peligro ²⁾	Códigos de pictogramas y palabras de advertencia ³⁾	Códigos de indicaciones de peligro ²⁾	Códigos de indicaciones de peligro suplementaria		
607-344-00-6	Mezcla de: Ácido 3-(N-(3-dimetilaminopropil)-(C ₄₋₈)perfluoroalquilsulfonamido) propionico; <i>Propionato de N</i> -[dimethyl-3-(C ₄₋₈ -perfluoroalquilsulfonamido) propilamonio; <i>Propionato de 3-(N-(3-dimetilpropilamonio)-(C₄₋₈)perfluoroalquilsulfonamido) propionico</i>	407-810-7	—	STOT RE ¹⁾ 2 (*)	H373 (*)(*)	GHS08 Wng	H373 (*)(*)			
613-183-00-2	Mezcla de: 5-(Nmetilperfluorooctilsulfonamido) metil-3-octadecil-1,3-oxazolidin-2-ona; 5-(Nmetilperfluoroheptilsulfonamido) metil-3-octadecil-1,3-oxazolidin-2-ona	413-640-4	—	STOT RE 2 (*) Aquatic Acute 1 Aquatic Chronic 1	H373 (**) H400 H410	GHS08 GHS09 Wng	H373 (**) H410			

¹⁾ STOT Re 2: Toxicidad específica en determinados órganos por exposición repetida, Tabla 3.8.4 del CLP.

²⁾ Para establecer correspondencia en cuantos a los Códigos de indicaciones de peligro revisar ANEXO VII Tabla de correspondencias entre la clasificación de la Directiva 67/548/CEE y la clasificación del presente Reglamento. En el anexo VII se presenta una tabla que ayuda a establecer las correspondencias entre la clasificación de una

sustancia o mezcla según la Directiva 67/548/CEE o la Directiva 1999/45/CE, respectivamente, y su correspondiente clasificación según el presente Reglamento. Cuando se disponga de datos para la sustancia o mezcla, se realizará una evaluación y una clasificación con arreglo a los artículos 9 a 13.

³⁾ Para establecer los pictogramas se utiliza el ANEXO V del CLP: PICTOGRAMAS DE PELIGRO. Los pictogramas correspondientes a cada clase, diferenciación y categoría de peligro se ajustarán a lo dispuesto en este anexo y en el anexo I, sección 1.2, y a las muestras que se presentan, en cuanto a color, símbolos y formato general.

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

En la **Tabla 17**, se refleja un extracto de la Tabla 3.2 del CLP: Lista armonizada de clasificación y etiquetado de sustancias peligrosas del Anexo I de la Directiva 67/548/CEE.

Tabla 17. Clasificación y etiquetado de sustancias peligrosas precursoras de PFOS según el Reglamento CLP							
Nº Índice	Denominación Química Internacional	Nº CE	Nº CAS	Clasificación	Etiquetado	Límites de concentración	Notas
607-344-00-6	Mezcla de: Ácido 3-(<i>N</i> -(3-dimetilaminopropil)-(C ₄₋₈)perfluoroalquilsulfonamido) propionico; Propionato de <i>N</i> -[dimethyl-3-(C ₄₋₈ -perfluoroalquilsulfonamido)propilamonio]; Propionato de 3-(<i>N</i> -(3-dimetilpropilamonio)-(C ₄₋₈)perfluoroalquilsulfonamido)propionico	407-810-7	—	Xn; R48/22	Xn R: 48/22 S: (2-)21-22-36/37		
613-183-00-2	Mezcla de: 5-(<i>N</i> -metilperfluorooctilsulfonamido) metil-3-octadecil-1,3-oxazolidin-2-ona; 5-(<i>N</i> -metilperfluoroheptilsulfonamido) metil-3-octadecil-1,3-oxazolidin-2-ona	413-640-4	—	Xn; R48/22 N; R50-53	Xn; N R: 48/22-50/53 S: (2-)36-60-61		

Xn: Nocivo

N: Nocivo para el medio ambiente

R48/22: Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión

R50/53: Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

R51-53: Tóxico para organismos acuáticos, puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático.

S2: Manténgase fuera del alcance de los niños.

S21: No fumar durante su utilización.

S22: No respirar el polvo.

S36: Úsese indumentaria protectora adecuada.

S60: Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos.

S61: Evítense su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

S36/37: Úsense indumentaria y guantes de protección adecuados.

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

De acuerdo a la Directiva 2009/2/CE,⁵⁸ del 15 de enero, por la que se adapta al progreso técnico, por trigésimo primera vez, la Directiva 67/548/CEE,⁵⁹ del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas, en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas, todos los artículos que contengan compuestos perfluorados deben ser clasificados de acuerdo a la siguiente **Tabla 18**:

Tabla 18. Clasificación y etiquetado de sustancias perfluoradas de acuerdo a la Directiva 2009/2/CE						
Index N°	Nombre del Compuesto	N° CE	N° CAS	Clasificación	Etiquetado	Límites de concentración
607-624-00-8	Acido perfluorooctano sulfónico ó Acido heptadecafluorooctano-1-sulfónico [1]	217-179-8 [1]	1763-23-1 [1]	Carc. Cat.3; R40 Repr. Cat. 2: R61 T: R48/25 Xn: R20/22 R64 N: R51-53	T; N R: 61-20/22-40-48/25-64-51/53 S: 53-45-61	
	Perfluorooctano sulfonato de potasio heptadecafluorooctano-1-sulfonato de potasio [2]	220-527-1 [2]	2795-39-3 [2]			
	Perfluorooctano-sulfonato de dietanolamina [3]	274-460-8 [3]	70225-14-8 [3]			
	Perfluorooctano-sulfonato de amonio ó Heptadecafluorooctano-sulfonato de amonio [4]	249-415-0 [4]	29081-56-9 [4]			
	Perfluorooctano-sulfonato de litio;	249-644-6 [5]	29457-72-5 [5]			

⁵⁸ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:011:0006:0006:ES:PDF>

⁵⁹ http://ec.europa.eu/environment/chemicals/dansub/main67_548/index_es.htm

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

	heptadecafluorooctano-sulfonato de litio [5]					
--	--	--	--	--	--	--

T: Tóxico

Xn: Nocivo

R40: Carcinógeno de categoría 3; pruebas limitadas de efecto carcinógeno

R61: Puede causar daños fetales

R48/25: Tóxico; peligro de daño grave a la salud por exposición prolongada en caso de ingestión.

R20/22: Dañino por la inhalación y si es tragado

R64: Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna.

R51-53: Tóxico para organismos acuáticos, puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático.

S53: Evítese la exposición - recábense instrucciones especiales antes del uso.

S45: En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrele la etiqueta).

S61: Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

6.2. FABRICANTES DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS A NIVEL INTERNACIONAL

A nivel internacional, entre los fabricantes o compañías que fabrican y comercializan este tipo de espumas, de forma no exhaustiva, se puede nombrar a Ansul Incorporated,⁶⁰ Chemguard Inc.,⁶¹ National Foam Inc.,⁶² and Viking Corporation (The).⁶³

Los fabricantes de materias primas, entre los que se encuentran surfactantes fluorados, para la posterior elaboración de la mezcla total que es el espumógeno serían 3M⁶⁴ y DuPont.⁶⁵ Otras empresas a nivel internacional son Asashi, Clariant y Daikin. En el año 2000, 3M decidió eliminar la producción de PFOA, PFOS y productos relacionados con PFOS. 3M completó su eliminación de la producción de PFOS en el año 2002. En cuanto a PFOA, 3M había fabricado el compuesto principalmente para su venta comercial a otras empresas. Una filial de 3M, Dyneon, proporciona PFOA a industrias de producción de

⁶⁰ <http://www.ansul.com>

⁶¹ <http://www.chemguard.com>

⁶² <http://www.kide-fire.com>

⁶³ <http://www.vikingcorp.com>

⁶⁴ <http://www.3m.es>

⁶⁵ <http://www.dupont.com>

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

fluoropolímeros. Debido a sus propiedades únicas y su importante papel en aplicaciones industriales, las alternativas al PFOA eran inexistentes. Sin embargo, en 2008 Dyneon anunció que había desarrollado un posible compuesto para reemplazar el PFOA y al final del año la compañía dejó de usar el PFOA en sus procesos de fabricación. Dupont y el resto de empresas nombradas realizan la síntesis de fluorotelómeros de forma que estos no contienen o se degradan a PFOS. Según esto los fabricantes de telómeros trabajan con el objetivo de eliminar de las trazas de PFOA y productos relacionados para el año 2015.

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

La gestión de espumas anti-incendios incluye diversos aspectos como son: manipulación, recolección, embalaje, etiquetado, transporte y almacenamiento; estas actividades son importantes debido al peligro de derrame o fuga del producto (por ejemplo, en la preparación para el almacenamiento o la eliminación final). Para determinar los requisitos específicos del transporte y el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos conviene consultar el *Convenio de Basilea: Manual de aplicación* (PNUMA 1995)⁶⁶, el *Código Internacional Marítimo de Mercancías Peligrosas* (Organización Marítima Internacional 2002),⁶⁷ el *Reglamento de Mercancías Peligrosas* de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional y las Recomendaciones de las Naciones Unidas relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas: Reglamentación Modelo (Libro naranja).⁶⁸

7.1. FABRICACIÓN

Si no se gestiona la producción y el uso de PFOS, y esta sustancia continuara su producción, entonces los niveles en el medio ambiente incluso en los seres humanos y animales, probablemente aumentarían, incluso en lugares distantes de la producción y el uso. La industria ha señalado que no se prevé impacto negativo alguno debido al actual número reducido de usos críticos, principalmente por la industria de creación de imágenes (fotolitografía) y la industria de semiconductores.

7.1.1. VALORES LÍMITE AMBIENTALES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL

El Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo,⁶⁹ establece que en ausencia de valores límite ambientales de los establecidos en el anexo I, se debe remitir a los valores límite ambientales, publicados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), como valores de referencia para la evaluación y el control de los riesgos originados por la exposición de los trabajadores a dichos agentes, en el "Documento sobre límites de exposición profesional para agentes

⁶⁶ UNEP/CHW.7/8/Add.2. Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en bifenilos policlorados, terfenilos policlorados o bifenilos polibromados, que los contengan o estén contaminados con ellos. Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación Séptima reunión. Ginebra, 25 a 29 de octubre de 2004.

⁶⁷ Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (Código IMDG) conforme al capítulo VII del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, 1974 (BOE de 18 de junio de 1980). Enmienda 31-02 aplicable a partir del 1 de enero de 2004, adoptada en Londres el 24 de mayo de 2002. BOE 291, de 05-12-03.

⁶⁸ Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas - Reglamentación modelo. Decimoquinta edición revisada. Naciones Unidas 2007.

⁶⁹ http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-2001-8436

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

químicos en España", cuya aplicación es recomendada por la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.⁷⁰ En la **Tabla 20**, se reflejan los datos encontrados de valores límite de exposición diaria para trabajadores, respecto al producto perfluorooctanoato amónico, que se corresponde con la sustancia más semejante a PFOS, sus sales y sustancias relacionadas.

Tabla 20. Valores límite ambiental (VLA)								
EINECS	CAS	Agente químico	Valores límite				NOTAS	FRASES R
			VLA-ED		VLA-EC			
			ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³		
223-320-4	3825-26-1	Perfluorooctanoato amónico		0.01			Vía dérmica	

VLA-ED: Valores límite de exposición diaria

VLA-EC: Valores límite de exposición de corta duración

7.2. ETIQUETADO

Todos los bidones, contenedores y equipos que contengan espumas anti-incendios o estén contaminados con ellos deberán llevar en lugar visible una etiqueta que contenga tanto el rótulo de aviso de peligro como la indicación de los datos específicos del equipo o el bidón (**Capítulo 6**). Estos datos indicarán el contenido del bidón o el equipo (cantidades exactas de equipos o volumen de líquido), el tipo de desecho y el nombre y número de teléfono de la persona responsable por parte de la empresa comercializadora.

Los desechos consistentes espumas anti-incendios, que los contengan o estén contaminados con ellos deberán embalarse antes de ser almacenados o transportados. Los desechos líquidos se colocarán en bidones de acero de doble tapón. En los reglamentos que rigen el transporte se especifican contenedores de una determinada calidad (p.ej. de acero calibre 16 revestidos por dentro con resina epoxídica). Por ello, los contenedores utilizados para el almacenamiento deberán cumplir los requisitos de transporte previendo la posibilidad de que sean transportados en el futuro.

⁷⁰ "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España", José N. Tejedor Transpaderne, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Mayo 2010.

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

Un equipo de grandes dimensiones conteniendo aguas de drenado, podrá ser colocado dentro de un contenedor de gran tamaño (contenedor de contenedores) o forrarse con un plástico reforzado, si se quieren evitar las fugas. Las piezas pequeñas de los equipos, estén libres de líquido o no, deberán colocarse en bidones con un material absorbente (serrín, vermiculita o turba).

Los bidones y el equipo se pueden colocar en plataformas de carga que puedan ser trasladadas por montacargas de horquilla y almacenadas. El equipo y los bidones deberán amarrarse a las plataformas antes de cualquier movimiento.

7.3. MANIPULACIÓN/USO

Un espumógeno es una mezcla de productos que se añaden al agua para modificar su tensión superficial y para que, mezclado con aire, forme burbujas, consiguiéndose dos efectos distintos, por un lado la flotabilidad sobre el combustible, al reducir la densidad respecto a este, y por otro, la modificación de la tensión superficial del agua de dos formas distintas, oleofóbica (repele las disoluciones aceitosas) y oleofílica (afín a disoluciones acuosas).⁷¹

Con la foma oleofóbica, se consigue una repulsión con cualquier líquido apolar (inmiscible con el agua), como son casi todos los combustibles derivados del petróleo, evitando que la espuma contenga restos de combustibles. Estos espumógenos son aptos para fuegos de Clase B.

Con la forma oleofílica, se consigue una afinidad con los productos de descomposición pirolítica de sustancias orgánicas, sirviendo éstos, a modo de camino por el que el agua que contiene la espuma se introduce por capilaridad (se comporta como un humectante), en el lugar donde se están formando estos productos, y a la vez, la espuma se adhiere a las superficies previamente enfriadas, actuando como barrera contra el calor, evitando que continúe la pirolisis.

Para un servicio de extinción, en la industria, o en cualquier otra actividad donde sea necesario el disponer de espumógeno, se ha de disponer de uno específico para el riesgo a cubrir. En el caso de servicios de bomberos para extinción de incendios se deben tener varios tipos:

- Espumógeno polivalente, de tipo flúor-proteínico, AFFF-AR, reuniendo las ventajas de alta resistencia térmica, estabilidad de almacenamiento, formación

⁷¹ "Espumas. Criterios de aplicación y novedades". Carlos Utrera Martín, Boletín N^o 5, 2001, Escuela de Seguridad Pública del Ayuntamiento de Málaga.

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

de película acuosa y formación de película polimérica, ante la presencia de líquidos polares.

- Espumógeno sintético de alta expansión, para el sellado de derrames, y para la evacuación de gases en espacios confinados
- Espumógeno para incendios de Clase A

Una vez determinado el tipo de espumógeno que se va a manipular, hay que tener en cuenta otra serie de características intrínsecas del espumógeno, que vienen especificadas en la ficha técnica proporcionada por el fabricante o distribuidor:

- **Dosificación:** % de espumante presente en la mezcla agua/líquido espumante.
- **Expansión:** aumento de volumen que sufre la mezcla al aplicarle aire. Se consigue en la lanza.
- **Densidad de aplicación:** litros por minuto de espuma que se han de aplicar por m² de superficie incendiada. Es una característica propia de cada espumante.
- **Tiempo de drenaje:** tiempo que tarda la espuma en descomponerse y precipitar un 25 % de la situada en la superficie de un líquido.

Se pueden seguir unas pautas para el proceso de manipulación:

- Elección del agente espumante
- Elección del equipo de aplicación
- Elección de la forma de aplicación

Para fuegos de Clase B, tendremos que distinguir el tipo de derrame, estático o dinámico, en este último caso, tanto la espuma de baja expansión, como la película acuosa, como la capa polimérica, en el caso de líquidos polares, se rompen debido a la superficie irregular del derrame, haciendo muy complicada su extinción o el sellado del derrame. En este caso, se debe recurrir a aumentar el índice de expansión de la espuma, utilizando media expansión y apoyarse en obstáculos transversales a la circulación del combustible, para evitar que la corriente arrastre la espuma, y una mayor tasa de aplicación de esta.

Si el derrame no está ardiendo y se pretenden controlar los vapores combustibles, hay que recurrir a un espumógeno sintético de media expansión (si no es un líquido polar), por un criterio económico, ya que es más barato que cualquier AFFF.

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

El calor irradiado, debido a la combustión del hidrocarburo, produce un cambio de estado de una parte del agua que contiene la espuma de extinción, por lo que, una cierta cantidad de espuma se destruye antes de depositarse sobre la superficie del líquido ardiendo.

Para ello, a) cuando se requieran varios equipos de espuma trabajando simultáneamente sobre el mismo fuego, se deberá intentar que la espuma vertida por cada equipo confluya en el mismo lugar, a fin de minimizar la cantidad de espuma destruida por el calor; y b) la cantidad de espuma necesaria para lograr la extinción, depende del calor generado por el incendio, y éste de la cantidad de sustancia ardiendo, y tratándose de líquidos, de la superficie en llamas.

A la mínima cantidad de espuma necesaria para lograr la extinción de una determinada sustancia se le denomina "tasa de aplicación" y se expresa en litros de mezcla de espumante por minuto y metro cuadrado de superficie ardiendo.

Cada combustible tiene su tasa de aplicación específica, y por ello, para lograr su extinción es conveniente conocerla, pero para un servicio de extinción esto no suele ser práctico, por se puede suponer una tasa de aplicación teórica y calcular la superficie de llamas que es capaz de apagar el equipo destinado.

Los equipos necesarios para extinguir un incendio utilizando espumógeno son: proporcionadores, lanzas de expansión de espuma, etc.

Proporcionador:

Se utiliza para mezclar agua con una solución de espumógeno. Estos son sistemas de equilibrado de presión extremadamente versátiles y precisos. Su diseño permite una gran maniobrabilidad en las labores de extinción, son pequeños y ligeros y esto permitesu utilización con diversos equipos contra incendios, y de esta forma obtener espuma de una manera rápida y eficaz (p.ej. lanzas de todo tipo, mangueras, B.I.E., hidrantes, motobombas, etc.). Generalmente, los proporcionadores están fabricados con una aleación de aluminio, con tratamiento anodizado duro e impregnación de PTFE, este les confiere resistencia a la rotura, a la corrosión por agua salada, etc.

A menudo, estos sistemas se asocian con sistemas fijos y equipos móviles especializados, en estos casos su diseño es complejo.

El funcionamiento del proporcionador se basa en la utilización de un dosificador modificado por un venturi, que se conoce como un controlador de la relación. Cuando el agua pasa a través de un chorro en la entrada del controlador de relación, se crea una zona de presión reducida entre el chorro y una sección posterior, que es el receptor. Esta reducción

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

de presión hace que la espuma líquida fluya a través de un orificio a la zona de presión reducida. A medida que el flujo de agua, que pasa por el controlador de relación aumenta, disminuye la presión, de manera que, a medida que el líquido entra se produce la entrada de espuma en el orificio. Cuando el agua y la espuma entran en la zona de presión reducida, se debe mantener constante la presión de entrada en el proporcionador.

Para operaciones manuales no se necesita la válvula de diafragma, la presión de la espuma líquida se ajusta mediante una válvula manual.

La pérdida de presión en el proporcionador es aproximadamente 25-30 psi (pounds per square inch) cuando el flujo es máximo. Para el flujo mínimo, la proporción es 15% del máximo para el que está diseñado.

Existe la posibilidad de tener un proporcionador con by-pass, es decir, con una ruta alternativa a otra normal, de esta forma durante su funcionamiento podrá ser seleccionada la disposición para descargar espuma ó agua. Cuando el proporcionador no tiene by-pass sólo descarga espuma.

Los proporcionadores se pueden calibrar entre un 1% y el 6%, y tienen conexión rosca 2" para todos los modelos.

Lanzas:

Para un uso más efectivo y económico de la espuma, esta debe ser adecuadamente expandida. Las lanzas habituales no proporcionan una adecuada expansión de la espuma, y por tanto no son las más efectivas, especialmente en el caso de disolventes polares, ya que en este caso se pueden crear burbujas de niebla, por evaporación del disolvente, y no extinguir el incendio.

Las lanzas están específicamente diseñadas para aspirar aire (expandir) el concentrado de espuma y formar la espuma. Hay tres tipos principales de lanzas: a) De baja expansión, expanden el espumógeno en una proporción de 20:1. Estas lanzas cogen aire y la solución de espumógeno, que discurren a través de un tubo (tiempo de residencia) y finalmente se obtiene espuma expandida; b) Media expansión, niveles de expansión de 200:1, generalmente se utiliza una expansión 50:1. Operan del mismo modo que las lanzas de baja expansión, sin embargo, el diámetro de la lanza es mayor. Estas lanzas tienen la ventaja de suprimir el incendio, especialmente para vapores de sustancias químicas; y , c) Alta expansión, se forma una espuma con una expansión mayor de 200:1, los concentrados usados sirven para sofocar incendios provocados por líquidos inflamables. Este tipo de espumas no se suele aplicar como una primera respuesta a la extinción del incendio.

Lanzas de espuma: baja expansión S-2, S-4, S-8; media expansión M-2, M-4, M-8.

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

Ejemplo de elección para extinción de incendio:

Para un proporcionador de 200 litros por minuto, y suponiendo una tasa de aplicación de 6 litros por minuto y metro cuadrado, la superficie en llama que se podría apagar sería:

$$S = 200 \text{ (L/min)} / 6 \text{ (L/min}\cdot\text{m}^2) = 33,33 \text{ m}^2; \text{ aproximada a la baja } 30 \text{ m}^2$$

Por extensión, un equipo de 400 litros por minuto, es capaz de apagar un fuego de 60 m² y un equipo de 800 litros por minuto es capaz de apagar un fuego a 120 m².

Una vez elegido el proporcionador adecuado al tamaño del fuego, tendremos que seleccionar las lanzas de expansión adecuada y comprobar que disponemos de suficiente espumógeno para lograr la extinción.

Para calcular la cantidad de espumógeno necesario se debe suponer una aplicación mínima durante 15 minutos (según NFPA) y tener en cuenta la tasa de mezcla recomendada por el fabricante (que en ningún caso se debe variar). Así, para un equipo de 2000 litros por minuto, con un espumógeno de dosificación al 6%, durante 15 minutos, se aplicarían 3000 litros de mezcla espumante, de la que el 6% sería espumógeno, es decir, 180 litros. Es posible que se consiguiera la extinción con menor cantidad de espumógeno, pero en incendios de gran tamaño es preferible elegir una tasa de aplicación alta, debido a que la cantidad de calor generado afecta a la espuma aplicada y la reserva de espumógeno se convierte en crítica, **no debiéndose comenzar la aplicación de espuma en tanto no se disponga de todo el espumógeno necesario.**

Respecto a la elección de las lanzas, hay que tener en cuenta, que la resistencia de la espuma a cualquier agente externo es función inversa del tamaño de las burbujas, es decir, mientras más pequeña sea la burbuja más resistente será la espuma, y además, mientras mayor sea el tamaño de la burbuja, menor densidad tendrá la espuma. Por ello, las espumas de alta expansión, no deben utilizarse en incendios de altas temperaturas, se ha demostrado que de esta forma no es posible extinguir el incendio por inundación total, y se muestran más efectivas las lanzas de penetración con pulverización tridimensional.

Las lanzas de media expansión deben emplearse en la extinción de derrames dinámicos, en la evacuación de gases confinados en espacios relativamente pequeños, como alcantarillado, etc. y en el control de todos los derrames (estáticos y dinámicos) que no estén incendiados.

El uso de aditivos AFFF, permite el uso de lanzas tradicionales no expansivas en la aplicación de la espuma, pero siempre, la película acuosa debe tener una capa de espuma, así que, la mezcla espumante se debe aplicar de manera indirecta, haciéndola incidir sobre

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

un obstáculo para que las turbulencias creadas permitan la mezcla con aire formándose la mínima capa de espuma necesaria.

Todas las técnicas de aplicación de la espuma tratan en síntesis de evitar que la espuma se sumerja en el líquido (excepto las espumas preparadas específicamente para ser inyectadas), pues la presión hidrostática contribuirá a la destrucción de la espuma.

Entre los métodos de aplicación podemos destacar los siguientes:

Tabla 21. Métodos de aplicación de la espuma		
Método	Características de uso	Aplicación
Elevación	Cuando la superficie del líquido sobre el que se desea aplicar la espuma, queda por encima de la vista del bombero que aplica la espuma.	Inclinar la lanza de forma que la espuma incida sobre la superficie del líquido con un ángulo lo más "tumbado" posible y dejar que la capa de espuma fluya por la superficie hasta cubrirla completamente sin mover la lanza
Rebote	Ante la presencia de líquidos polares (miscibles con el agua) y cuando tengamos derrames contenidos.	Consiste en hacer rebotar la espuma contra el borde del depósito o algún obstáculo colocado expresamente, para que la espuma pierda en el choque y se deposite suavemente sobre la superficie del líquido.
Rodillo	Cuando queda vista la superficie del líquido y ante derrames no contenidos.	Consiste en hacer "rodar" la capa de espuma usando la energía del chorro de espuma, avanzando conforme porrese la capa de espuma

También, ha aparecido recientemente en el mercado un dosificador electrónico continuo, que incorpora una bomba autoaspirante de membrana, especialmente diseñado para acoplar a las autobombas. El rango de dosificación oscila entre el 0.1 % y el 9.9 %. La dosificación precisa se consigue con una medición continua de los caudales de agua y espumógeno, mediante un microprocesador, que funciona independientemente del caudal y de la presión de bomba.

El desarrollo de dosificadores, con bajas tasas de dosificación y regulación muy precisa de esta, ha permitido la aparición de CAFS (sistemas de espuma por aire comprimido),

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

apareciendo junto a estos, espumógenos de alta concentración para ser dosificados por debajo del 1%, tanto para fuegos de Clase A como de Clase B.

CAFS (*en inglés: Compressed Air Foam System*) son sistemas que mezclan la solución espumante con aire comprimido para generar una espuma muy adherente, densa y compacta de burbujas muy pequeñas.

Los componentes básicos de un CAFS son una bomba, un compresor, y un dosificador. La relación aire-mezcla debe mantenerse constante, independientemente de la presión y caudal de la bomba, por lo que el compresor, suele montarse con un sistema de transmisión conectado al eje de la bomba. Igualmente, la tasa de dosificación debe también mantenerse fija independientemente de la presión y caudal de la bomba, por lo que se requiere un sofisticado dosificador.

En los CAFS no se establecen los índices de expansión, como en el resto de las espumas, pues la relación aire-mezcla espumante se mantiene dentro de un intervalo pequeño, y al variar ésta, se obtienen espumas "secas" y espumas "húmedas" en función del tipo de fuego a extinguir o el uso que se le quiera dar a la espuma.

Además de la rapidez en la extinción y el ahorro, tanto de agua como de espumógeno, hay varias diferencias y ventajas de los CAFS, que conviene destacar:

- El aporte energético suministrado por el aire comprimido, permite, no sólo eliminar las pérdidas de carga en las mangueras, sino suministrar una energía adicional, que permite alcances mayores que con el agua, a igualdad de condiciones de bombeo.
- La generación de la espuma en el primer tramo de manguera, reduce ostensiblemente los esfuerzos necesarios para el manejo del mangaje.
- La homogeneidad de las burbujas y su pequeño tamaño le dotan de una alta adherencia, permitiendo actuar a la espuma como un calorífugo que aísla a los materiales susceptibles de pirolisis (con espumógeno Clase A).

7.4. ALMACENAJE

Una parte importante del volumen total nacional espumas anti-incendios se puede encontrar en industrias en pequeñas cantidades, de forma que es difícil para los poseedores eliminar estos materiales. Por ejemplo, tal vez el régimen de reglamentación exija que se inscriban como productores de desechos, posiblemente las consideraciones logísticas impidan o desaconsejen la recolección y los costos podrían ser prohibitivos. Los gobiernos nacionales, regionales o municipales deberían considerar la posibilidad de establecer centros de

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

recolección para estas pequeñas cantidades, de manera que los poseedores de pequeñas cantidades no tengan que ocuparse por su cuenta del transporte y la eliminación.⁷²

Los depósitos y la periodicidad de la recolección de desechos, de espumas anti-incendios, que los contengan o estén contaminados con ellos deberán ser distintos de los de cualesquiera otros desechos. Es importante que los depósitos de almacenamiento de espumas anti-incendio no se conviertan en instalaciones permanentes

Las emisiones a la atmósfera que se producen en el proceso de extinción de un incendio, debido a la naturaleza volátil de los componentes del combustible, y a la sustancia extintora en sí misma, puede promover o dar lugar a contaminación por transferencia a la fase de vapor. La escasa información que se tiene de emisiones atmosféricas procedentes de suelos contaminados con residuos peligrosos

El riesgo de perjuicio para la salud humana y el medio ambiente es mayor cuando la cantidad de desechos es grande, incluso en condiciones de almacenamiento adecuado, que en el caso de cantidades pequeñas dispersas en una amplia zona.⁷³

La mayoría de los países no cuenta con reglamentos ni orientaciones específicas en relación con el almacenamiento de espumas anti-incendios. No obstante, cabe suponer que los procedimientos para el almacenamiento sean parecidos a los de otros productos peligrosos, dadas sus propiedades y su toxicidad. La práctica recomendada suele diferir en cierta medida de un país a otro, pero existen muchos elementos comunes para el almacenamiento de estos desechos en condiciones de seguridad.⁷⁴

7.5. TRANSPORTE

7.5.1 MOVIMIENTOS TRANSFRONTERIZOS

Existen reglamentos sobre el transporte de mercancías y desechos peligrosos a nivel nacional, que se aplican en la mayoría de los países. El movimiento transfronterizo de los residuos está regulado por el Convenio de Basilea (Capítulo 2).

Las empresas que transporten desechos dentro de su propio país deberán contar con la certificación como transportadores de materiales y desechos peligrosos.

⁷² UK, H. (1991). "Pollution Control for Chemical Recovery Processes", UK Department of the Environment, DoE/HMIP/RR/92/029.

⁷³ Eklund, B.; Roes, S.; Thompson, P.; Inglis, A.; Wheelless, W., et al. (1997). "Air emission from the treatment of soils contaminated with petroleum fuels and other substances", US-EPA, EPA-600/R-97-116, October 1997.

⁷⁴ Greenpeace (1998). "Technical criteria for the destruction of stockpiled persistent organic pollutants", Greenpeace, ISBN 90-73361-47-8.

7.5.2. TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS POR CARRETERA, POR FERROCARRIL O POR VÍA NAVEGABLE

La Directiva 96/35/CE, transpuesta a la normativa nacional por el Real Decreto 1566/1999, de 8 de octubre, sobre los consejeros de seguridad para el transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía navegable, regula la obligación de las empresas de transporte y de carga y descarga de mercancías peligrosas de designar consejeros de seguridad, para el transporte de mercancías peligrosas, definidas según el Acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR)⁷⁵ y el Reglamento relativo al transporte ferroviario de mercancías peligrosas (RID).⁷⁶

Según ADR el transporte de mercancías peligrosas contempla una serie de obligaciones:

- Información de transporte fácilmente identificable, visible y duradera
- Información acerca de medidas preventivas a adoptar por el transportista en un idioma aceptado por las autoridades
- Información acerca de medidas de emergencia, (ejemplo fichas de seguridad de las sustancias químicas)
- Carta de porte con la información pertinente de la carga (expedidor, consignatario, portador, matrícula de vehículo, número del contenedor, número y tipo de bultos, descripción de la mercancía, masa bruta, masa neta, volumen, número de precinto, fecha de expedición).

7.6. GESTIÓN DE RESIDUOS DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS CADUCADAS/ SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN

La existencias de espumas anti-incendios obsoletas deberán ser gestionadas como residuos peligrosos, por tanto deben existir Planes de Gestión que garanticen la gestión ambientalmente racional (GAR) de estos residuos.

Los Planes de Gestión de Residuos deben ser acordes a las características de los residuos, la capacidad de tratamiento y disposición final del país; y las normas nacionales, e internacionales de gestión de residuos peligrosos. Este Plan de Gestión, además, debe cubrir todas las operaciones que incluye la GAR de los residuos identificados. Se debe prestar especial atención a la composición química de los residuos, los volúmenes generados y su estado físico.

⁷⁵ <http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/F7404C99-781E-4A4F-B084-A4089B7FECF3/41547/ADR2009.pdf>

⁷⁶ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31996L0049:ES:NOT>

Tabla 22. Análisis de los desechos de espumas anti-incendios	
Aspecto	Detalle
Estado físico	Líquido, especificando el disolvente Sólido-semisólido, determinación del contenido de humedad
Composición	Principios activos presentes en el desecho Metabolitos de descomposición Otros contaminantes presentes
Volúmen	Volumen o masa total del desecho a tratar Masa de contaminantes presente en el desecho
Frecuencia de generación	Determinar si es una partida generada por única vez, existe la posibilidad de una generación esporádica, o se genera con cierta periodicidad

Si existe un gestor autorizado de residuos capaz de hacerse cargo de la gestión de los residuos, esta opción es preferible a exportar a otro país, que cuente con infraestructura adecuada para el tratamiento y disposición final, es decir que se cumpla el Convenio de Basilea (Capítulo 2).

En la **Figura 7** se presenta una propuesta para el proceso de gestión adecuada de espumas AFFF caducadas, caracterizadas en tipo y cantidad.

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

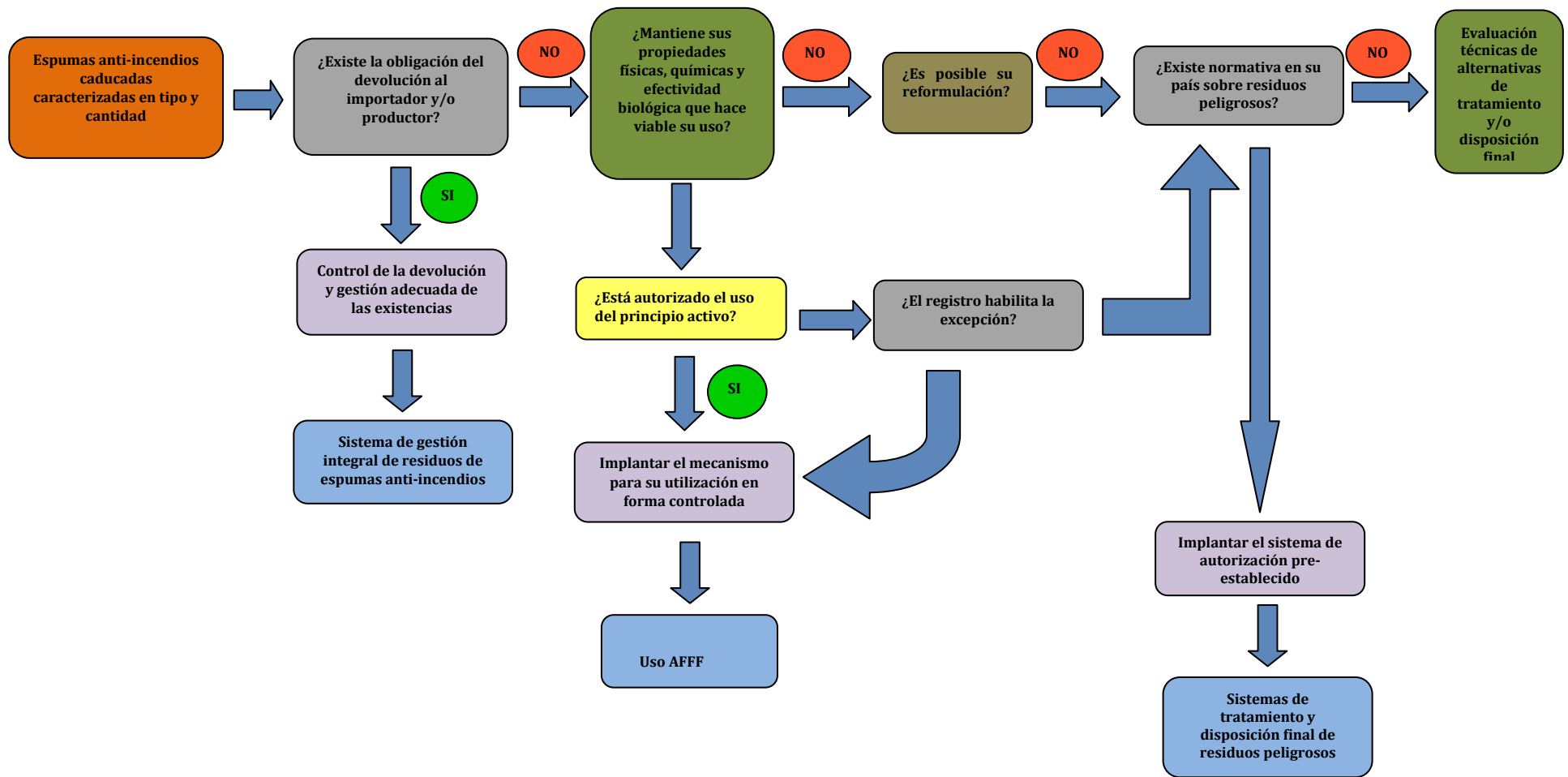


Figura 7. Propuesta para la gestión adecuada de AFFF caducadas, caracterizadas en tipo y cantidad.

7. GESTIÓN DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

Un sistema de gestión integral de residuos de espumas anti-incendios debería incluir la producción, distribución, comercialización y uso de las espumas anti-incendios. Estos sistemas involucran, en general, la implementación de un sistema de devolución por parte de los usuarios a través de puntos de recepción y la centralización de la gestión de los residuos a cargo de los productores e importadores.

Es necesario evaluar la capacidad de las plantas de tratamiento de residuos y disposición final para las existencias de espumas anti-incendios caducadas.

En la **Figura 6** se presenta un árbol de decisiones con el objetivo de apoyar la búsqueda de soluciones locales de tratamiento y/o disposición final.

Esta etapa del proceso involucra un análisis sobre las diferentes opciones de eliminación final y tendrá en cuenta una serie de criterios, los principales se presentan en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Criterios para la eliminación final de espumas anti-incendios	
Tecnológicos	Efectividad de la tecnología para transformar o contener adecuadamente el residuo. Capacidad instalada o infraestructura necesaria para gestionar los volúmenes identificados.
Ambientales	Impactos ambientales de la tecnología y riesgos asociados a su utilización.
Sociales	Niveles de rechazo social de las alternativas viables tecnológicamente.
Económicos	Costos de las alternativas viables tecnológicamente.

En todos los casos, las opciones tecnológicas seleccionadas deberán contar con la autorización, de acuerdo con las reglamentaciones vigentes, si no se utilizarán aquellas utilizadas a nivel internacional.

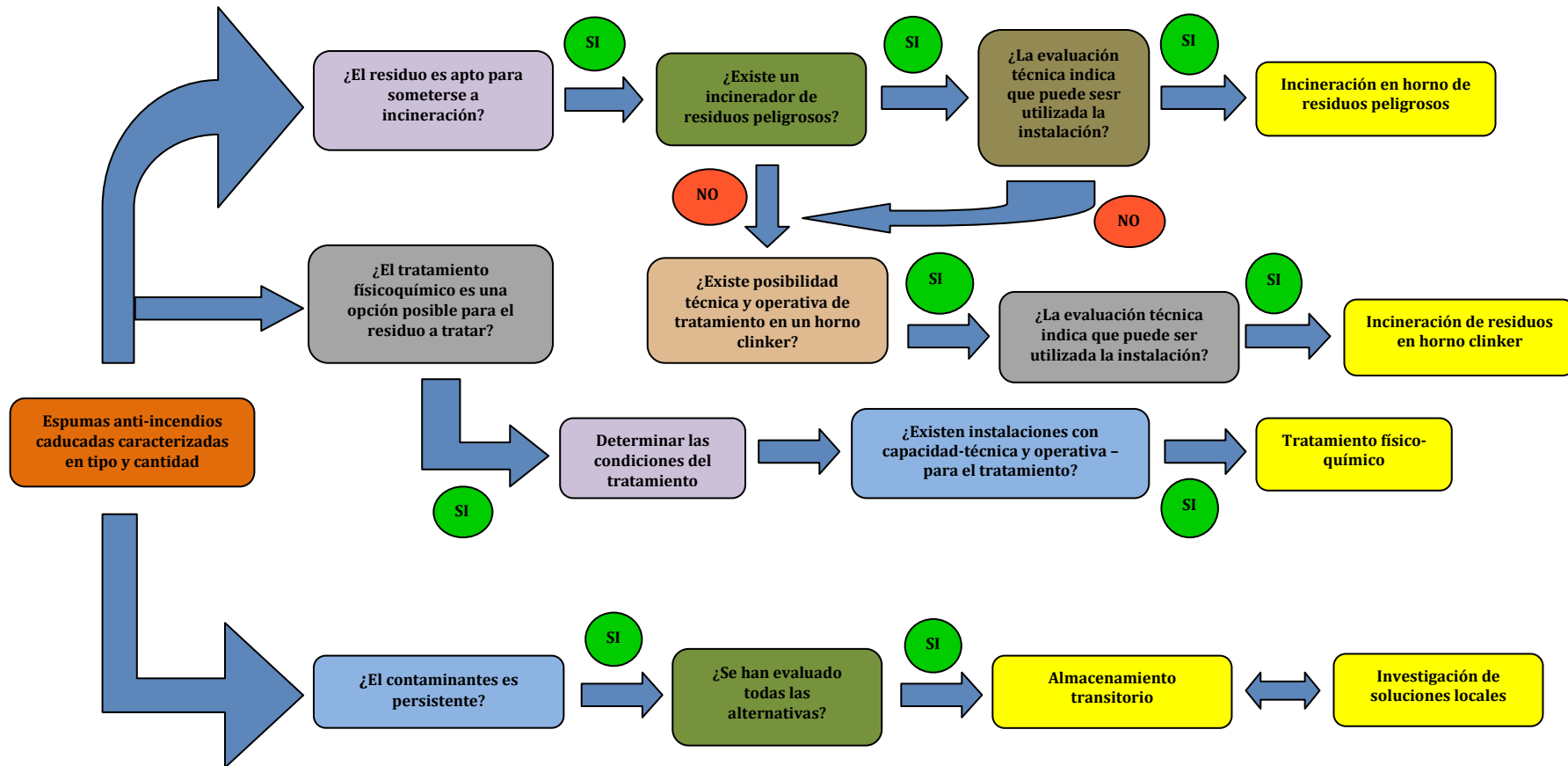


Figura 8. Propuesta para la gestión adecuada de AFFF caducadas, eliminación final

7.7. GESTIÓN DE RESIDUOS DE ESPUMAS ANTI-INCENDIOS / ELIMINACIÓN

La gestión de residuos de espumas anti-incendios y su eliminación final se debe realizar de forma ambientalmente racional. Se parte de la base de que unos sistemas de extinción anti-incendios pueden ser más responsables con el medio ambiente que otros. Las espumas anti-incendios están reguladas de un punto a otro de su ciclo de vida, especialmente cuando se utilizan para entrenamientos o en caso de incendio. Estas espumas están reguladas porque sus ingredientes están directamente incluidos en leyes medioambientales, o tienen propiedades, incluyendo la formación de espumas en sí, que pueden provocar daños en el medio ambiente. Sin embargo el mejor método para asegurar la protección medioambiental es diseñar el sistema previamente para dosificar correctamente la cantidad de agua y espuma; cumplir con los requerimientos de mantenimiento de los sistemas para evitar descargas accidentales; y proveer un método para la captura y control de las descargas de espuma.

Los problemas en la manipulación de residuos de espumas anti-incendio provienen normalmente de su uso, por ejemplo, si las espumas anti-incendio ha sido utilizadas para entrenamientos, en este caso, estas se encuentran mezcladas con otros compuestos como hidrocarburos (gasolinas, gasoil, etc.) y productos obtenidos en el proceso de combustión. Es importante desarrollar tecnologías para tratar las aguas que contienen todos los residuos y tratar de eliminar los componentes que quedan de los agentes anti-incendios en ellas.⁷⁷

Los depósitos que contengan residuos pueden producir daños, por la exposición humana o por liberaciones accidentales al medio ambiente, por ejemplo aguas recogidas en una balsa después de la extinción de un incendio. Esos residuos deberían manipularse siempre aparte. Para ello se recomiendan las siguientes prácticas:

- a) Inspección de los contenedores para detectar fugas, perforaciones, oxidación, alta temperatura;
- b) Manipulación de los residuos, si es posible, a temperaturas inferiores a 25°C debido al aumento de la volatilidad a temperaturas más altas;
- c) Comprobación de las medidas de contención para derrames, estas deben permitir la captura de los desechos líquidos en caso de derrame;

⁷⁷ Marti, D.E., van Oudenhoven. J.A.C.M. *Concawe water quality management group's specials task force on refinery waste. Oil refinery waste disposal methods, quantities and cost. 1993 survey. Report 1/95. Brussel 1995 (Brochado).*

d) Colocación de revestimientos plásticos o de alfombrillas absorbentes debajo de los contenedores antes de abrirlos, si la superficie de la zona de contención no está recubierta uniformemente con algún material de protección (pintura, uretano, resina epoxídica);

e) Drenaje de los residuos líquidos, quitando el tapón de vaciado o bombeándolos con una bomba peristáltica y un sistema de tuberías medioambientalmente adecuado, y que soporte la corrosión;

f) Utilización de bombas, sistemas de tuberías y bidones especiales que no se utilicen para otros fines para trasvasar los desechos líquidos;

g) Limpieza de todo líquido derramado con paños, papel u otros sistemas adsorbentes, medioambientalmente benignos;

h) Triple enjuague de las superficies contaminadas con un disolvente como queroseno para eliminar todos los compuestos fluorados residuales;

i) Tratamiento de todos los absorbentes y disolventes procedentes del triple enjuague, ropas de protección desechables y revestimientos plásticos que estén contaminados, cuando proceda.

7.7.1 SISTEMAS DE PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

A continuación se presentan algunas de las medidas para la contención y eliminación de AFFF, que provienen de la extinción de un incendio⁷⁸ una vez que han sido descargadas en el medio ambiente.

7.7.1.1. SISTEMAS DE DRENAJE EN EL SUELO

En el diseño de los hangares, se recomienda incluir un sistema de drenaje que permita la diseminación del combustible en el caso de un derrame no intencional. Este sistema debe constar de tuberías de drenaje, cuyo diámetro viene determinado por el caudal que se retiene en el sistema de protección anti-incendios, es decir, la AFFF que se derrame en caso de una extinción del fuego abierta.

7.7.1.2. SEPARADORES ACEITE-AGUA

Estos sistemas se instalan en instalaciones de riesgos de fuga o derrames de combustibles, y por tanto en el caso de aeródromo serían una parte integral del hangar. De

⁷⁸ U.S. Army Corps of Engineers. Department of the Army. "Engineering and Design Containment and disposal of Aqueous Film Forming Foam." Technical Letter No. 1110-3-481. March 1997.

forma que se instala un sistema de drenaje, que intercepta el aceite, o el combustible derramado en el suelo, antes de que este efluente entre en la red de alcantarillado, y evitando que llegue a la planta de tratamiento de aguas residuales (**Figura 9**).

Estos aceites (fase orgánica) suelen ser rechazados por la planta de tratamiento, ya que habitualmente se admiten en un umbral pequeño, que es fácilmente rebasado. El separador aceite-agua, esta dimensionado para recoger el caudal de derrame que se supone máximo. Un flujo por encima de este diseño disminuiría la eficacia del sistema de separación. La separación se basa en proporcionar un tiempo de retención suficiente para permitir que el aceite, que es menos denso que el agua, quede en la zona superior de donde se retira.

En un hangar protegido con sistemas abiertos de extinción de incendio, la activación del sistema de espuma se traduciría en grandes cantidades de disolución a tratar posteriormente. Si se recoge esta agua, esta espuma llegará como un influente al sistema de drenaje, y por tanto al separador aceite-agua. Este gran volumen de espuma desbordaría la capacidad del separador, ya que está diseñado para recuperar una cantidad mucho menor de combustible derramado. El resultado sería la acumulación de cantidades excesivas de solución de espuma dentro de las instalaciones. Para impedir esto, las válvulas de accionamiento automático deben colocarse aguas arriba del separador aceite-agua, de esta forma se evita que estas grandes cantidades de desechos de espuma anti-incendios entren en el separador. El flujo debe ser separado a otro sistema de contención.

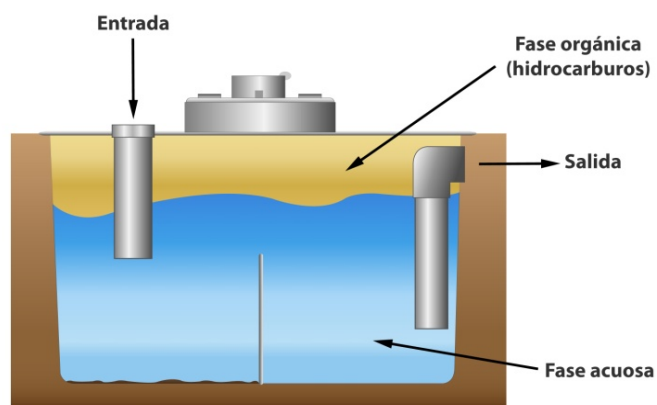


Figura 9. Separador aceite-agua

7.7.1.3. SISTEMAS DE CONTENCIÓN

Los sistemas de contención son sistemas diseñados para recoger y contener la solución de AFFF, y son necesarios en el caso de tener un sistema fijo de extinción de incendios, ya sea de sprinklers abiertos o cerrados. Se pueden usar diferentes sistemas de contención, dependiendo del fuego, del sistema de protección, caudales máximos previstos, tamaño de la instalación, condiciones del entorno, condiciones climáticas, etc. Posteriormente se muestran algunos de ellos, y se exhorta a utilizar los sistemas más innovadores.

7.7.1.3.1. TANQUES SUBTERRÁNEOS

Los tanques subterráneos se utilizan una vez que se ha descargado la espuma. Por tanto se almacena la espuma, que lleva bastante agua de dilución. El depósito podrá estar diseñado, en la mayoría de los casos, de tal manera que el flujo se recoja mediante un sistema de gravedad. Después se procederá a su liberación controlada o disposición por otros medios.

El tanque subterráneo no tiene que ser de un tamaño que pueda alojar las aguas de lluvia durante el período de retención. En general, los depósitos subterráneos de esta aplicación no tienen que ser de doble pared, pero deben estar aislados del terreno con un material impermeable y deben de contar con un sistema de detección de fugas (**Figura 10**). Estos tanques subterráneos son costosos, especialmente si el sistema de retención debe adaptarse a una gran cantidad de espuma. Por ejemplo, un tanque de retención para alojar 75.000 litros de solución tendría un diámetro aproximado de 3 metros y una longitud de 10 metros. El vaciado del tanque se llevaría a cabo con una bomba, y finalmente se trasladarían las aguas residuales a una depuradora.

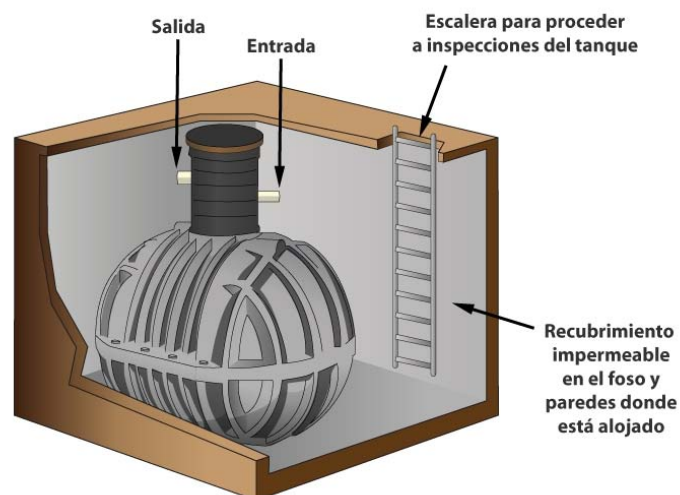


Figura 10. Tanques subterráneos

7.7.1.3.2. TANQUES SOBRE TIERRA CON UN CÁRTER

Este sistema se utiliza generalmente en sistemas de extinción abiertos que contienen AFFF. Se utiliza un tanque de recogida con una bomba de eje vertical, o una bomba sumergible, que desvía las aguas residuales a un tanque de almacenamiento vertical (**Figura 11**). En cuanto a costos, este método es adecuado si no es posible colocar un tanque subterráneo o su instalación supone más costos. Estos sistemas pueden requerir bombear grandes cantidades, y por tanto se necesitarían bombas de alto volumen, estas bombas requieren un gran mantenimiento e incrementan los costos a largo plazo de estas instalaciones.

Para sistemas de extinción cerrados que contienen AFFF, el tanque sólo recogerá aguas residuales durante las pruebas del sistema. La descarga, que contiene AFFF, se puede dirigir al sistema de contención con mangueras conectadas a un cabezal de ensayo. Esto elimina la necesidad de colocar cárter o bombas, y hace que los tanques sobre tierra sean más efectivos para sistemas cerrados de extinción de incendios.

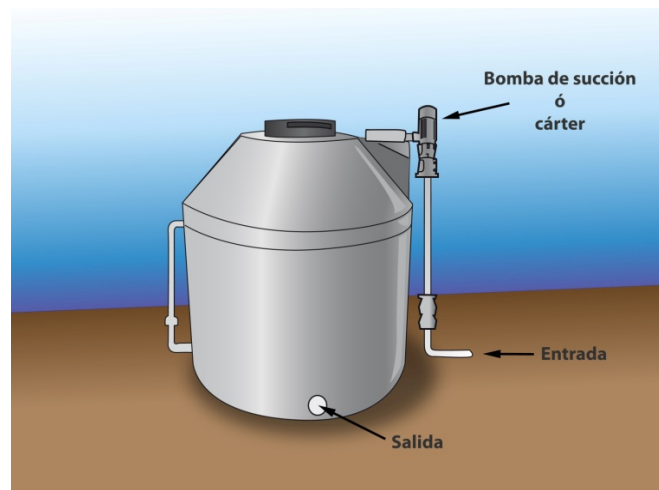


Figura 11. Tanques sobre tierra

7.7.1.3.3. BALSAS DE RETENCIÓN, EN TIERRA

Estos sistemas tienen la ventaja de su gran capacidad de contención. Sin embargo, tienen una desventaja, se necesita una gran cantidad de espacio. Las balsas deben tener la capacidad para contener la hipotética mayor precipitación de 24 horas, en un periodo de 5 años. Como características técnicas, estas balsas deben estar forradas con material impermeable, ya que la potencial filtración y la posible contaminación de aguas subterráneas son un gran problema medioambiental. Las lonas interiores deben ser resistentes a los rayos ultravioleta. El transvase, mediante flujo por gravedad, desde el estanque al sistema de

tuberías de drenaje, es la opción más favorable si la topografía del terreno lo permite. Si en el terreno existen elevaciones, que se oponen al flujo por gravedad, sería necesario instalar una bomba que transvasara las aguas retenidas en el estanque. La eliminación final de las aguas residuales de la balsa se realizaría en una planta de tratamiento de aguas residuales, o mediante evaporación solar, o una combinación de ambos. Las válvulas y tuberías instaladas deben conducir el agua de lluvia a la planta de tratamiento de aguas residuales.

7.7.1.3.4. TRINCHERA DE CONTENCIÓN

Este método utiliza una zanja de contención, con largueros de acero seguridad y protección contra la lluvia de las rejillas y recubrimiento impermeable de la zanja, de esta forma se contiene la espuma hasta pueda ser eliminada (**Figura 12**). Este sistema se coloca a lo largo de pistas de aterrizaje en aeródromos, o bien en hangares de reparación de aviones.

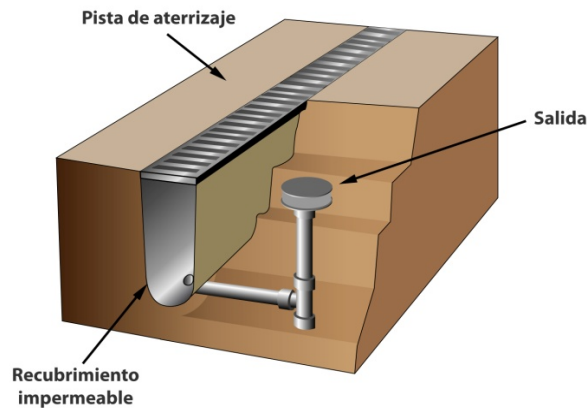


Figura 12. Trinchera de contención

7.7.1.3.5. CAPACIDAD ADICIONAL EN CASO DE PRECIPITACIONES

Cuando se utilizan sistemas de retención al aire libre para AFFF, como tanques o balsas, o cuando se tienen áreas de terreno grandes, drenadas mediante un sistema de drenaje, cabe la posibilidad de alojar agua proveniente de precipitaciones en estos sistemas. Por tanto, la capacidad del sistema de almacenamiento debe ser incrementada, de forma que se recoja la lluvia de 5 hasta 24 horas, con la máxima cantidad de aguas caídas en otoño, además, de tener en cuenta el peor de los casos de descarga de espuma. Los sistemas de contención supuestos para sistemas de extinción cerrados, no requieren este exceso de capacidad, no es probable que acumulen agua de lluvia, ya que sólo se activarán en casos de prueba. Si se supone un simulacro de actuación al año, las probabilidades de que esta

actuación se produzca en 2 días (48 horas), en 5 años, hasta 24 horas de caída de lluvia máxima, es menor de 1 en 333.000. Por tanto, la contención no está diseñada para que ocurra un evento tan desfavorable.

Hay áreas geográficas en el mundo donde un sistema de contención no es necesario. Estas serían áreas de clima seco, donde no hay aguas abiertas, ni arroyos ni humedales, y donde el nivel freático del terreno no es elevado. En estas zonas, la evaporación solar puede ser un método para la eliminación de la disolución de espuma.

7.7.1.4. CONTENCIÓN PARA SISTEMAS CERRADOS

Los métodos de contención antes mencionados son, en su mayor parte, sistemas para contener las grandes descargas que se generan al abrir los sistemas de extinción. Los sistemas de extinción cerrados se limitan a pruebas o simulacros. Estas pruebas producen menores flujos de descarga. La duración de las pruebas planificadas normalmente es de 3 minutos, y se llevan a cabo de manera secuencial, en sistemas individuales, el sistema de contención se vacía de forma progresiva. El método de contención empleado en estos casos puede ser una cubeta de retención impermeable, o una bóveda abierta de cemento, que podrían contener el flujo de una prueba completamente. Es importante que los sistemas de recogida estén diseñados de manera que todo el flujo sea contenido, para ello se necesitan, teniendo en cuenta la fuerza de la corriente, varias mangueras de 3 – 5 cm., por las drenar las aguas residuales de manera que todas las mangueras fluyan al mismo tiempo.

7.8. ELIMINACIÓN FINAL Y TRATAMIENTOS CONVENCIONALES DE AGUAS CONTAMINADAS CON ESPUMAS ANTI-INCENDIOS

7.8.1. DESCARGA DIRECTA EN PLANTAS DE TRATAMIENTO

El método más común de eliminación de la disolución de espuma, es el tratamiento biológico en una planta de tratamiento de aguas residuales. Este es el método preferido de eliminación. Siempre que sea posible, la disolución debe ir directamente a la planta de tratamiento, a través de tuberías de alcantarillado sanitario. Otro método de eliminación final, sería permitir en algunas áreas la evaporación del agua mediante energía solar (ver 7.8.5).

7.8.2. DESCARGA DIRECTA A LA RED DE ALCANTARILLADO

La disolución que contiene AFFF, debe descargarse en la alcantarilla de forma controlada, para evitar que se produzca una aireación incontrolada, y se superen las recomendaciones de vertido. Niveles altos de descargas incontroladas pueden llevar a una

aireación de la espuma, y provocar un movimiento de retroceso dentro de la alcantarilla. También, se puede dar el caso de que se acumulen residuos en el interior del alcantarillado, si la descarga no ha sido realizada de forma continua.

7.8.3. FORMACIÓN DE ESPUMÓGENOS

Cuando se descarga una cantidad elevada de espuma anti-incendios, que contiene surfactantes fluoroquímicos, a una planta de tratamiento de aguas residuales, de una sola vez, puede ocurrir un fenómeno de espumación grave, incluso a pequeñas concentraciones. Se generan problemas operacionales en las alcantarillas y en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Es por esto, que el régimen de descargas siempre debe ser controlado.

7.8.4. RÉGIMEN DE DESCARGA

En general, se admite que la concentración de disolución de espuma, en el influente que llegue a la planta de tratamiento de aguas residuales, no debe ser mayor de 1.700 partes por millón (ppm). Este grado de dilución se considera suficiente para evitar el "choque-carga" y la consiguiente formación de espuma que podría alterar el funcionamiento la planta de tratamiento. Por ejemplo, si la capacidad de una descarga a una planta de tratamiento es de 22,71 millones de litros al día, esta disolución se podría haber descargado a una velocidad de 26,49 litros por minuto, que es un nivel de descarga bajo. Si se realiza una disolución, 10 a 1, se podría alcanzar una velocidad de descarga de 265 litros por minuto.

En cualquier caso, llevará varios días, e incluso semanas, eliminar toda la disolución, dependiendo de la cantidad de espuma existente. El proceso de dilución no puede aplicarse en todas las plantas de tratamiento, de manera que se debe realizar una consulta a los operadores de la planta antes de realizar cualquier descarga. Los niveles de descarga de espumas que contienen AFFF deben determinarse en el diseño de la planta. En algunos casos, es necesario realizar modificaciones en las plantas de tratamiento de aguas se pueden necesitar nuevos permisos medioambientales, o actualizar los existentes.

7.8.5. Balsa de EVAPORACIÓN SOLAR

La eliminación final de una disolución de AFFF, a través de evaporación solar, es viable en determinadas circunstancias. La viabilidad de este método está relacionada con:

- la velocidad de evaporación, que depende del área superficial de que dispone la balsa;

- la diferencia en las presiones de saturación en el punto de rocío y la temperatura en la superficie del agua;
- la velocidad del viento; y
- el calor latente necesario para el paso de agua a vapor.

El alto grado de humedad presente en muchos lugares durante el verano, provoca un efecto de disminución del ritmo de evaporación (**Figura 13**). El lugar ideal para la utilización de evaporación mediante energía solar es un clima cálido y seco, con alta velocidad de los vientos. Para facilitar el proceso de evaporación, se necesita una superficie relativamente grande. Las balsas deben ser diseñadas con poca profundidad y gran superficie. Por ejemplo, una balsa diseñada para contener 75.000 litros de disolución de espuma debería tener un área de aproximadamente 300 metros cuadrados y llenarse hasta una profundidad de aproximadamente 10 cm. De forma que un estanque circular de configuración requeriría un diámetro de unos 3 metros. Suponiendo que en ausencia de lluvias, la evaporación completa tomaría alrededor de 64 días bajo condiciones de calma y con humedad. Pero si hay viento, el tiempo es seco, una profundidad de 4 cm. llevaría menos de 3 días en evaporarse. Es importante tener en cuenta que este ejemplo está basado en la no existencia de lluvias durante el periodo de evaporación. Las precipitaciones deben ser consideradas en el tamaño de la balsa, de la misma forma que se tenían en cuenta para balsas de tierra (ver 7.7.1.3.3).

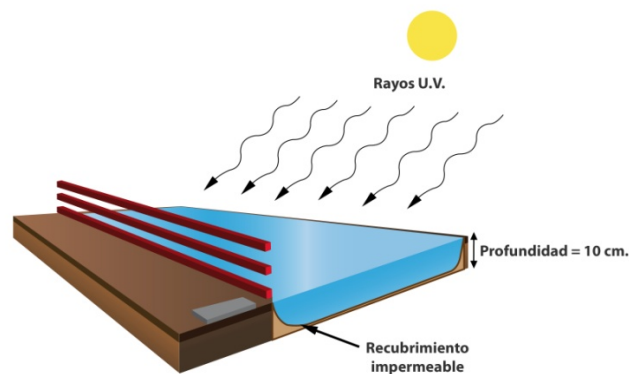


Figura 13. Balsa de evaporación solar

7.8.6. INSTALACIONES DE TRATAMIENTO *IN SITU*

Bajo ciertas condiciones, se puede realizar un tratamiento *in situ*, en cuanto a costos el tratamiento *in situ* es el más efectivo para AFFF. Este tratamiento implica digestión anaeróbica, eliminación de aire u otros métodos de tratamiento. Varios métodos diferentes

de tratamiento en el sitio de AFFF están siendo desarrollados actualmente y serán viables en el futuro. Se requieren permisos para el tratamiento del efluente, y posterior descarga a aguas superficiales.

7.8.7. TRANSPORTE POR CARRETERA O FERROVIARIO PARA UN TRATAMIENTO “OFF SITE”

En determinadas circunstancias, puede ser necesario un camión cisterna para el transporte de residuos que contienen AFFF, y así proceder a su tratamiento dentro de una instalación adecuada. Este método de tratamiento es muy costoso, y por ello debe ser considerado como una última opción.

7.9. TRATAMIENTOS AVANZADOS DE DESCONTAMINACIÓN

Debido a la poca biodegradación que se produce en los surfactantes fluorados, el mejor método para purificar aguas contaminadas es extraerlos o separarlos del agua. Para ello se han propuesto numerosas técnicas, entre ellas membranas, polímeros catiónicos para precipitar los surfactantes aniónicos, carbón activado, etc. Este último caso ha sido desarrollado en mayor profundidad utilizando un cartucho de carbón activado, y se ha llegado hasta una purificación de las aguas por debajo de 1,5 ppm para aguas que estaban contaminadas con AFFF.^{79,80}

Otras técnicas utilizadas han sido incineración, fotodegradación, nano-filtración, ultra-filtración y ósmosis inversa. A continuación se describirán de forma más detallada algunas de ellas.

7.9.1. INCINERACIÓN

El método de incineración se ha ensayado a escala de laboratorio, utilizando un incinerador de residuos peligrosos. El método consiste en proporcionar unas condiciones relativamente suaves para realizar una combustión inicial ($T^a \approx 400 \text{ }^\circ\text{C}$), posteriormente se pasaría a producir la gasificación de los materiales con una temperatura más alta ($T^a \approx 600 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$), la siguiente fase de combustión, condiciones oxidativas, se realizaría en otra zona de combustión.

Sin embargo, se puede utilizar el método de análisis termogravimétrico (TGA), este análisis proporciona información acerca de la cantidad y el cambio de peso en el material, en

⁷⁹ Pabon, M. and Corpart, J.M., 2002. Fluorinated surfactants: synthesis, properties, effluent treatment, *Journal of fluorine chemistry*, 114, 149-156.

⁸⁰ <http://www.mpicontraincendio.com>

función de la temperatura, a una presión atmosférica controlada. De forma que cuando se realiza este ensayo con el ingrediente activo ($T^a \approx 600 \text{ }^\circ\text{C}$), el ensayo mostró que se necesitarían temperaturas más elevadas para producir la gasificación del material. También, se requirió la detección de bajos niveles (0,1 %) de detección de PFOS en los gases. Esto determinó la necesidad de utilizar grandes cantidades de material para el ensayo (miligramos) y elevadas temperaturas, junto a tiempos de exposición prolongados ($T^a \approx 1250 \text{ }^\circ\text{C}$, $t = 40 \text{ s.}$). Esta es una prueba especial de pirolisis, que gasificará el gas completamente, y sus condiciones representan unas condiciones bastante extremas, en una zona primaria del incinerador. A escala real se necesitaría, por ejemplo, un horno rotatorio.

Los datos obtenidos señalaron que, la incineración de FC-1395 y FC-807A no emite PFOS al medio ambiente. Esta conclusión está basada en las medidas realizadas con el espectrómetro LC/MS, en este análisis no se detectó el ión 67-SOF, que prueba la degradación de productos derivados de PFOS, que contienen sulfonatos volátiles. La recuperación de azufre en el ensayo es bastante buena, e indica que los precursores no están presentes en el efluente del reactor. Estos hechos concuerdan con los análisis LC/MS esto apoya la teoría de que el enlace C-S se rompe (y no se vuelve a formar) durante el ensayo de combustión.

Como conclusión, de estos ensayos se puede determinar que los compuestos fluorados necesitarían un tratamiento térmico específico, de 600 a 1250 $^\circ\text{C}$, en lugar de 250 - 400 $^\circ\text{C}$ que es la temperatura que se utiliza para los residuos convencionales.

7.9.2. FOTODEGRADACIÓN

PFOS se puede degradar en tanto en agua como en medio 2-propanol alcalino, según un estudio publicado en el año 2007.⁸¹

La extremada fortaleza del enlace C-F hace que la descomposición de PFOS sea muy lenta. La fotodegradación de PFOS no queda suficientemente demostrada. Por ello se realizaron ensayos de disolución de PFOS (40 μM) en agua y en medio 2-propanol alcalino. Estas disoluciones fueron irradiadas por una lámpara de baja presión de mercurio (254 nm, 32 W), durante 10 días, y se analizaron los iones encontrados en las disoluciones. La lámpara fue sumergida dentro de la disolución, y está fue irradiada internamente, la intensidad UV en la superficie de la lámpara era de 3.73 mW/cm^2 . Se confirmó la fotodegradación de PFOS, de la siguiente manera:

⁸¹ Yamamoto, T., Noma, Y., Sakai, S-H. and Shibata, Y. 2007. Photodegradation of Perfluorooctane Sulfonate by UV Irradiation in Water and Alkaline 2-Propanol. *Environ. Sci. Technol.* 2007, 41, 5660-5665.

- en agua, 8% en 1 día, 68% en 10 días;
- en 2-propanol alcalino (20 mg/L de PFOS, 40 μ M, 2-propanol con hidróxido sódico 2.72 g., 68 mmol) la degradación es 76% en 1 día y 92% en 10 días. Se confirma que se forman iones fluoruro y sulfato por cromatografía (análisis LC/MS de electrospray negativo) y rayos X.

Las principales vías de de degradación se expresan en la siguiente **Figura 14**.

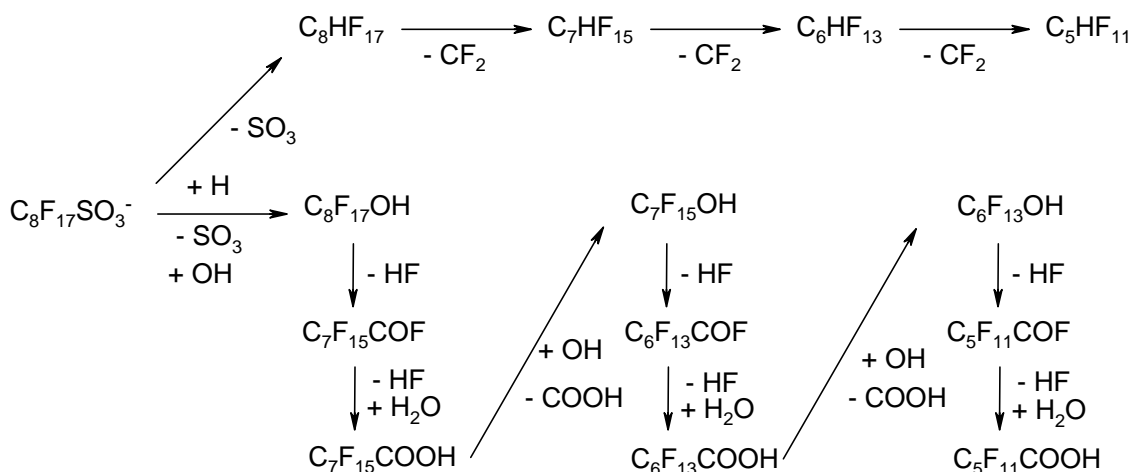


Figura 14. Vías de degradación de PFOS

En cuanto a la fotodegradación en agua, se confirma que el decrecimiento en la concentración de PFOS no es debido a fenómenos de absorción o vaporización, ya que en el experimento de control realizado en ausencia de luz, la concentración no cambia. Después de 10 días de irradiación, el descenso en la concentración de PFOS fue 27.2 μ M y el aumento de los iones sulfato fue de 24.6 μ M. Por tanto, la proporción de iones sulfato formados fue de 0.91, y la presencia de otros productos que contengan azufre, y que no sean iones sulfato, es escasa. El aumento de iones fluoruro proveniente del decrecimiento de PFOS se mantuvo en una proporción estequiométrica, 0.71, lo cual indica que el 71% del contenido en flúor del PFOS se transformó en iones fluoruro.

La fotodegradación en medio 2-propanol alcalino, este ensayo fue determinante, ya que en 1 día la concentración de PFOS disminuyó considerablemente, y después continuó bajando gradualmente durante los 9 días siguientes. La concentración de PFOS después de 1 día disminuyó 76%, y después de 10 días 92%. Se demostró en el experimento de control, que la concentración no varía en ausencia de luz, y el proceso de degradación se comprobó por rayos X del producto obtenido, se que éste era fluoruro sódico (NaF), de tal manera que los enlaces C-F del PFOS se rompen, y forman posteriormente fluoruro sódico, debido a la

presencia del hidróxido sódico en el medio. También se obtiene carbonato sódico (NaCO_3) en menor concentración.

Por tanto, la velocidad de degradación de PFOS en 2-propanol alcalino es 9.5 veces mayor que en agua. Y la degradación en presencia de luz UV y utilizando como medio 2-propanol alcalino se contempla como una posibilidad para el tratamiento de aguas residuales y productos de desecho que contengan PFOS. La fotodescomposición es una técnica que ya se ha utilizado en el tratamiento de desechos que contienen PCB. El proceso de fotodecloración de PCB progresa a través de un mecanismo radicalico, a partir de los radicales 2-hidroxipropilo formados inicialmente. Debido a que el proceso de fotodegradación de PFOS en 2-propanol alcalino es mucho más rápido que en medio acuoso, podemos suponer un mecanismo similar. Se ha estimado que las constantes de fotodegradación son de 0.13 días^{-1} en agua y 0.93 días^{-1} en propanol. Los valores de la energía de irradiación para reducir al 50% la cantidad inicial de PFOS fueron de 20000 KJ/g en agua y 2640 KJ/g en 2-propanol alcalino.

7.9.3. UTILIZACIÓN DE MEMBRANAS DE OSMOSIS INVERSA

El PFOS es fundamental en el proceso de fotolitografía, se utiliza como producto químico en la industria de semiconductores, y no se ha encontrado ningún sustituto hasta el momento. Por tanto, esta industria está buscando métodos de tratamiento efectivos para eliminar sus residuos, p.ej. la posibilidad de utilizar ósmosis inversa para tratar aguas residuales provenientes de semiconductores,⁸² aquí se describe brevemente esta técnica publicada en 2006.

El PFOS se utiliza principalmente en fotolitografía en discos, donde se utiliza como a) generador fotoácido, b) como revestimiento antirreflejo, y c) como surfactante en disoluciones de revelado. El intervalo de concentración típico varía de 0.02 – 0.1%, 0.1% y 0.01 – 1% respectivamente.

En el proceso de revestimiento de fotorresistencias, fotorresistencia, y revestimiento antirreflejo se aplican en el centro del disco, y se difunden mediante el giro del disco. Del 93 al 99% de la disolución se seca, y los restos son incinerados. Sin embargo, aproximadamente el 40% del revestimiento antirreflejo llega a las aguas residuales. Normalmente estas aguas se recogen por el sistema colectivo, se neutralizan y se llevan a

⁸² Chuyang, Y., Tang, Q., Shiang, Fu., Robertson A.P. Criddle, C.S., Leckie, J.O. 2006. Use of Reverse Osmosis Membranes to Remove Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) from Semiconductor Wastewater. *Environ. Sci. Technol.* 2006, 40, 7343 - 7349.

una planta de tratamiento de aguas residuales industriales, en este proceso se diluyen considerablemente y además, también se mezclan con aguas provenientes de otras actividades industriales.

El destino ambiental a largo término de PFOS y sus compuestos relacionados no se conoce totalmente, y por tanto se pueden hacer grandes generalizaciones. La cadena perfluorada es resistente a ataques enzimáticos, y mientras no se eliminen los átomos de flúor, sólo se puede modificar el grupo funcional enlazado. Por tanto, las aguas residuales serían la forma de entrada de PFOS en el medio ambiente, ya que tanto PFOS como precursores de PFOS se han encontrado en muestras provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. No existen evidencias de que se haya producido la degradación de PFOS.

A pesar de estos problemas, parece que el PFOS se va a mantener como parte fundamental dentro de la industria de las fotorresistencias y como revestimiento antirreflejo en los próximos años. Ya que el desarrollo de un sustituto puede llevar de 10 a 15 años, y por tanto se puede manejar un gran volumen de PFOS antes de que llegue esa fecha. Además, la industria de semiconductores todavía posee la exención para el uso de PFOS. Es por ello, que esta industria está buscando un procedimiento con unos costes viables para la eliminación de PFOS de las aguas residuales, realizando este proceso en la misma empresa antes de verter las aguas residuales al alcantarillado colectivo. Este razonamiento también se puede aplicar a las espumas anti-incendios.

El proceso de ósmosis se produce cuando una disolución que contiene un soluto atraviesa una membrana semipermeable para el disolvente pero no para el soluto, el disolvente puede ser agua. Y lo normal es que los dos lados de la membrana se encuentren a la misma presión, si aumenta la presión en el lado que hay mayor concentración de soluto, se consigue que el agua pase desde el lado de baja concentración de sales al de alta concentración. La ósmosis inversa consiste en el proceso contrario el agua pasa de una zona de alta concentración a una zona de baja concentración. Igual que en los procesos de microfiltración y ultrafiltración, la causa generadora de la fuerza impulsora para lograr la separación es una diferencia de presión de transmembrana. Sin embargo, en la ósmosis inversa el proceso de separación se debe a las diferentes solubilidad y difusividad en la membrana de los componentes de la solución acuosa. Los valores de operación de la diferencia de presión transmembrana y concentración de la solución son 7 – 70 bar y 200 – 30000 ppm, respectivamente.

En este caso el soluto que se pretende eliminar es el PFOS contenido en las aguas residuales industriales. El grado de eliminación de PFOS se determina utilizando distintas

disoluciones con un amplio intervalo de concentración de PFOS. La concentración de PFOS en las aguas residuales se mide utilizando conjuntamente cromatografía líquida y espectroscopia de masas (LC/MS/MS). Se utilizan membranas de ósmosis inversa que han sido caracterizadas en términos de permeabilidad, eliminación de sales, microscopía por escáner electrónico, microscopía de transición electrónica y potencial zeta de la superficie de membrana (medidas de potencial de corriente). Los test de filtración se realizan para determinar el flujo de membrana y el nivel de eliminación de PFOS. Partiendo de un intervalo de concentraciones (0.5 – 1500 ppm) las membranas de ósmosis inversa consiguen retirar al menos el 99% de PFOS. El grado de eliminación es mejor en membranas más fuertes, pero no se afecta al potencial zeta de la superficie de membrana. El nivel de flujo decrece a medida que aumenta la concentración de PFOS. En algunas de las membranas la reducción de flujo fue amplia, probablemente debido a un flujo inicial muy alto, las membranas más duras mantuvieron un flujo estabilizado. Para concentraciones muy altas (sobre 500 ppm), todas las membranas mostraron un flujo igual de estabilizado. El 2-propanol, presente en algunas aguas residuales provenientes de semiconductores, tiene un efecto degenerativo en las membranas. Por tanto, debe ser retirado antes de utilizar las membranas de ósmosis inversa.

Las membranas utilizadas para este estudio han sido del tipo ESPA3 y LFC3 del proveedor Hydranautics, también BW30 de Dow FilmTec y SG de GE Osmotics. Se utilizó un espectrómetro de masas para medir dos transiciones:



Los test de eliminación de PFOS se realizaron en un intervalo de concentraciones de 0.5 a 1600 ppm. La disolución de 1600 ppm contenía 5% de 2-propanol (representativo de las aguas residuales recibidas), el alcohol aumenta la solubilidad de PFOS y previene la separación en fases. El pH de la disolución se ajustó de 4.0 ± 0.1 con NaOH o HCl. Para determinar el efecto del 2-propanol en el flujo de la membrana la concentración se aumentó hasta llegar a un 5%, en cuatro fases, 1.25%, 2.50%, 3.75% y 5%, manteniendo intervalos de tiempo de 30 minutos.

Finalmente se crearon dos curvas de calibrado correspondiendo a las dos transiciones, representando el potencial zeta de superficie de membrana para cada una de las cuatro membranas comerciales. El porcentaje de PFOS que pasa a través de las membranas respecto a la cantidad de PFOS que contenía la corriente de alimentación se representó también en otra gráfica para cada una de las membranas. Se concluye que existe una gran eliminación respecto a la concentración inicial. Se postula que la eliminación es debida al tamaño molecular, la molécula de PFOS tiene un tamaño relativamente grande, además el

PFOS es una molécula lineal con una relativamente pequeña sección transversal, lo que se corresponde con el paso a través de las membranas de moléculas con mínimas dimensiones. El flujo descendió a medida que la concentración de PFOS se incrementó esto se mantuvo hasta 500 ppm, cuando la disolución estaba prácticamente saturada (la solubilidad del PFOS es de 570 mg/L).

Se concluye que, el PFOS puede ser eficientemente eliminado por las membranas de ósmosis inversa disponibles comercialmente. Es conveniente un pretratamiento de las aguas con 2-propanol. El intervalo de concentraciones en las corrientes de alimentación puede variar de 0.5 a 1600 ppm de PFOS, con la membrana adecuada se puede reducir la concentración manteniendo un flujo estable. También, se pueden diseñar membranas multicapa para optimizar el grado de eliminación.

8. ALTERNATIVAS A ESPUMAS ANTI-INCENDIOS QUE CONTIENEN PFOS Y/O SUSTANCIAS RELACIONADAS

De acuerdo con el estándar europeo EN 1568,⁸³ las espumas anti-incendios para fuegos de clase A, deben utilizarse para extinguir estos fuegos, y además evitar su reignición. Hasta el momento se sabe que los principales componentes de las espumas AFFF y AR-AFFF, son:⁸⁴

- Surfactantes hidrocarbonados, los cuales se usan para disminuir la tensión superficial entre la espuma y el disolvente.
- Surfactantes fluorados, los cuales producen una baja tensión superficial en la solución de espuma.
- Disolventes, los cuales ayudan a la disolución de los surfactantes.
- Polisacáridos solubles en agua, los cuales crean un precipitado que protege la espuma del disolvente.

La viscosidad de una espuma AFFF o AR-AFFF, puede ser reducida utilizando un nuevo aditivo que permite la reducción de la cantidad de polisacárido que se integra en la formulación de la espuma.

En espumas que se usan al 3%, y se aplican tanto para hidrocarburos en las que son miscibles como no miscibles, que son normalmente bastantes viscosas y difíciles de manejar, se ha encontrado un aditivo, adquirido por Du Pont de Nemours, en Septiembre de 2002, de forma que se obtiene una espuma que es mucho menos sensible al agua del mar. Esto es debido al uso de una molécula de bajo peso molecular. Se ha evaluado varios parámetros que prueban, independientemente de los test de incendio, que la expansión y el drenaje de la espuma, y la capacidad de supresión de vapores han mejorado.

Algunos de los espumógenos comercializados como totalmente biodegradables y totalmente "libres de flúor", tienen componentes que se degradan totalmente y no dejan residuos persistentes en el agua y la tierra; no tienen toxicidad.⁸⁵ Estas espumógenos se pueden usar para fuegos de hidrocarburos, y en bajas concentraciones; pueden ser aplicados en baja expansión, media expansión y alta expansión; además, la espuma generada es poco corrosivas, y se pueden utilizar con agua dulce, y otras aguas de distinta salinidad. Para

⁸³ EN 1568-3 Espumas de baja expansión para fuegos de hidrocarburos. EN 1568-4 Espumas de baja expansión para fuegos de disolventes polares. Estándar Europeo, Octubre 2000.

⁸⁴ Caruette M-L., Persson H., Pabon M., 2004. New Additive for Low Viscosity of AFFF/AR Concentrates – Study of the Potential Fire Performance. *Fire Technology*, 40, 367-384.

⁸⁵ http://www.bio-ex.fr/es/wp-content/uploads/2010/07/Biofor_ESP_BD.pdf

incendios de hidrocarburos se recomiendan espumas de bajas expansión y a una concentración de 0,5 %.

Las alternativas para el uso de fluorosurfactanes de PFOS es espumas contra incendios son:

- **Fluorosurfactantes no basados en PFOS con cadenas más cortas:**
 - **Fluotelómeros de longitud C₆, p.ej. perfluorohexano etil sulfonil betaína. A menudo se utilizan en combinación con hidrocarburos.**
 - **Dodecafluoro-2-metilpentan-3-ona**
- **Volver a tecnologías anteriores con espumas anti-incendios libres de flúor, p.ej. surfactantes basados en siliconas, a menudo en combinación con fluorosurfactantes**
- **Surfactantes basados en hidrocarburos, a menudo en combinación con fluorosurfactantes**
- **Espumas de detergentes sintéticos, a menudo usados en incendios forestales y aplicaciones de alta expansion y para entrenamientos, nuevos productos que contienen glicoles**
- **Espumas basadas en proteínas, que no son tan efectivas para incendios de líquidos combustibles, principalmente utilizadas para entrenamientos, pero también con aplicaciones en el mar**

Las alternativas existentes en el mercado son predominantemente fluorosurfactantes, los tipos principales comercializados son NOVECT™ 1230 de la compañía 3M; CF₃-CF₂-CO-CF(CF₃)₂; y Forafac® de la compañía DuPont, esta es una gama de tensioactivos fluorados específicamente diseñados para las espumas anti-incendios, estos tienen la capacidad de extinguir incendios más rápido y aumentar el retorno de llama, lo que favorece un mayor tiempo de seguridad. Forafac ofrece al mismo tiempo un comportamiento hidrofóbico y propiedades hidrofílicas, por lo que es extremadamente estable en el agua. Como tensioactivo fluorado, posee una gran repelencia frente al aceite. C₆F₁₃-C₂H₃ (OC₂H₄)_nOH, n= 11.5.

9. ANEXOS

ANEXO 1. PFOS Y SUSTANCIAS RELACIONADAS

IDENTIFICADORES

CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE (CAS)

El número registrado CAS es una identificación numérica única para compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones. Llamado también CAS RN (*CAS registry number*). Chemical Abstracts Service (CAS), es una división de la Sociedad Química Americana (ACS) y asigna estos identificadores a cada compuesto químico que ha sido descrito en la literatura. CAS también mantiene una base de datos de los compuestos químicos, conocida como *registro CAS*. Algo más de 23 millones de compuestos están numerados y catalogados, con alrededor de 4.000 nuevos cada día. La intención es realizar una búsqueda en la base de datos unificada, dado que a menudo se asignan distintos nombres para el mismo compuesto. Casi todas las moléculas actuales permiten una búsqueda por el número CAS.

En el caso de PFOS, y sustancias relacionadas, el anión de sulfonato de perfluorooctano no tiene asignado un número de registro del Chemical Abstracts Service, ya que no se da en el medio ambiente en forma de anión, si no que se encuentra en forma de sal. Por tanto, no se puede establecer un único número CAS, sino que se manejan varios, dependiendo del tipo de sustancia de que se trate. A continuación se presentan algunos ejemplos:

Nombre CAS: Sulfonato de perfluorooctano (PFOS); Octanosulfonato, 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8-heptadecafluoro;

Números CAS asignados para diferentes sales del anión de sulfonato de perfluorooctano:

a)	Ácido	1763-23-1
b)	Potasio	2795-39-3
c)	Litio	29457-72-5
d)	Amoníaco	29081-56-9

INVENTARIO EUROPEO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EXISTENTES (EINECS)

El fichero EINECS (acrónimo en inglés de European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances) se conoce como el Inventario Europeo de Sustancias Químicas Existentes, y proporciona información de las sustancias como puede ser el número EINECS, nombre y fórmula química de la sustancia.

EINECS se publica en O.J.C. 146ª, 15.6.199, y sus correcciones se publicaron en O.J.C. 54/13 01.03.2002, 2002/C54/08.

Actualmente en el catálogo EINECS exista 100204 sustancias, y se encuentra disponible en los idiomas alemán, inglés, español y francés.

El número EINECS del PFOS, en su forma de ácido es:

Nº EINECS: 217-179-8

Nombre: Ácido heptadecafluorooctano-1-sulfónico

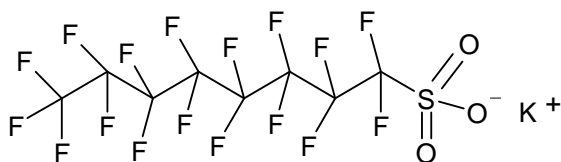
SINÓNIMOS/ABREVIATURAS

Otros nombres con los que se pueden nombrar PFOS y sustancias relacionadas son:

Ácido 1-octanosulfónico, 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-heptadecafluoro; Ácido 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-heptadecafluoro-1-octanosulfónico; Ácido 1-octanosulfónico, heptadecafluoro-; Ácido 1-perfluorooctanosulfónico; Ácido Heptadecafluoro-1-octanosulfónico; Ácido Perfluoro-n-octanosulfónico; Ácido perfluorooctanosulfónico; Ácido perfluorooctilsulfónico.

CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES DE PFOS Y SUSTANCIAS RELACIONADAS

ESTRUCTURA 2D



(forma de sal de potasio)

FÓRMULA MOLECULAR

- C₈F₁₇SO₃

PESO MOLECULAR

- 506.1 g/mol (sal de potasio)

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

- Punto de fusión: > 400 °C
- Punto de ebullición: No mensurable
- Densidad relativa (agua):
- Solubilidad en agua:
- 519 mg/L (20 ± 0,5 °C)
- 680 mg/L (24 - 25 °C)
- Presión de vapor a 25 °C: 3,31 x 10⁻⁴ Pa
- Coeficiente de reparto octanol/agua, log Kow: No mensurable

OTRAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

- Apariencia a temperatura y presión normales: Polvo blanco.
- Coeficiente de reparto aire – agua: $< 2 \times 10^{-6}$
- Constante de Henry: $3,09 \times 10^{-9}$ atm m³/mol agua pura

PERFIL DE RIESGOS

PFOS es un anión, en el cual el átomo de carbono se encuentra totalmente enlazado a átomos de flúor, se emplea como tal en algunas aplicaciones o bien se puede incorporar a polímeros. Las sustancias perfluoradas con largas cadenas de carbono (C₈), con inclusión de PFOS, repelen tanto las grasas (oleofóbicas) como el agua (hidrofóbicas). Por ello estas sustancias relacionadas con PFOS se emplean como agentes tensioactivos (reducen la tensión superficial del agua) en distintas aplicaciones. Otra característica de estas sustancias es su persistencia, son resistentes a altas temperaturas y a medios extremos, bases o ácidos fuertes. Se las emplea en muy distintos usos y procesos, en textiles y productos de cuero, chapado metálico, empaquetado de alimentos, espumas anti-incendios, productos para limpieza y abrillantadores de suelos, revestimientos y aditivos, en industria fotográfica y fotolitográfica y en fluidos hidráulicos para aviones.

PFOS se puede formar por degradación de un grupo más amplio de sustancias conexas, llamadas sustancias relacionadas con PFOS. En esta denominación se incluyen PFOS y 96 sustancias relacionadas con PFOS. Todas estas sustancias forman parte de un gran conjunto de sustancias perfluoroalquiladas, en el que también se pueden encontrar algunos sustitutos de PFOS.

PERSISTENCIA

El PFOS tiene un largo período de persistencia.⁸⁶

⁸⁶ OCDE 2002. *Co-operation on Existing Chemicals - Hazard Assessment of Perfluorooctane Sulfonate and its Salts*, Environment Directorate Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, November 21, 2002.

Los estudios llevados a cabo conforme al protocolo US-EPA OPPTS 835.2210, realizaron la hidrólisis de PFOS en agua, a distintas temperaturas y valores de pH. A temperatura de 50 °C, y pH comprendidos entre 1,5 y 11,0, no se demostró degradación alguna de la sustancia. Se determinó, finalmente, un periodo de semidesintegración de PFOS superior a 41 años.

Los estudios según el protocolo US-AP OPPTS 835.5270, para evaluar la fotólisis de PFOS en agua, demostraron que no existía evidencia de fotólisis directa o indirecta, en ninguna de las condiciones probadas. El periodo de semivida fotolítica indirecta a temperatura de 25 °C es más de 3,7 años.

La biodegradación de PFOS en condiciones aeróbicas y anaeróbicas no demostró signo alguno de biodegradación. Los ensayos incluyeron biodegradación aeróbica en lodos residuales activados, cultivos de sedimentos y cultivos de suelos y biodegradación anaeróbica en lodos residuales.

La degradación microbiana se estudió con un programa de modelización, el sistema CATABOL. Los resultados indicaron que de las 171 sustancias perfluoradas estudiadas, más del 99% se biodegradarían en ácidos sulfónicos perfluorados, incluidos PFOS, y 61 de las sustancias se degradarían a ácidos carboxílicos perfluorados.⁸⁷

BIOACUMULACIÓN

El mecanismo de bioacumulación de PFOS no se ha determinado, debido a sus inusuales características físico-químicas, por ejemplo, el coeficiente de separación octanol-agua (log Kow), y probablemente difiere de otros COP. PFOS es simultáneamente hidrofóbico y lipofóbico, por tanto *no* se acumula en el tejido adiposo. En su lugar, PFOS se une preferentemente a proteínas en el plasma, como a la albúmina y a las β -lipoproteínas,⁸⁸ y en el hígado, a las proteínas hepáticas transportadoras de ácidos grasos.⁸⁹

⁸⁷ Dimitrov, S., Kamenska V., Walker J.D., Windle W., Purdy R., Lewis M. and Mekenyan O., 2004. Predicting the biodegradation products of perfluorinated chemicals using CATABOL, SAR and QSAR. *Environ. Res.* 15(1), 69–82.

⁸⁸ Kerstner-Wood, C., Coward, L. and Gorman, G., 2003. Protein Binding of perfluorbutane sulfonate, perfluorohexanesulfonate, perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate to plasma (human, rat, monkey), and various human-derived plasma protein fractions. Southern Research Corporation, Study 9921.7. Unpublished report. Available on USEPA Administrative Record AR-226.

⁸⁹ Luebeker D.J., Hansen K.J, Bass N.M, Butenhoff J.L. and Secat A.M., 2002. Interactions of fluorochemicals with rat liver fatty acid-binding protein. *Toxicology*, 15(3), 175-85.

El factor de bioconcentración cinético, en peces se determinó en pez luna de agallas azules (*Lepomis macrochirus*) siendo 2796⁹⁰; y en truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), se estimó que los factores de bioconcentración en el hígado y en la sangre eran 2900 y 3100, respectivamente.⁹¹

Los datos de control recogidos de mayores predadores, en distintos lugares, muestran niveles muy elevados de PFOS y demuestran que PFOS tiene importantes propiedades de bioacumulación y bioampliación. Las concentraciones de PFOS en los hígados de los osos polares del Ártico superan las concentraciones de todos los demás compuestos organohalogenados conocidos.⁹² Sobre la base de la concentración de PFOS en los predadores (por ejemplo, oso polar), en relación con la concentración en su alimento principal (por ejemplo, las focas), se pueden calcular hipotéticos de factores de biomagnificación. Los factores de biomagnificación para diversos mamíferos, aves y peces van desde 22 hasta 160 entre dos niveles tróficos.^{93, 94, 95, 96, 97, 98}

Los estudios llevados a cabo para determinar la bioconcentración en diferentes niveles tróficos determinaron que el factor de bioconcentración para gobios redondos (*Neogobius melastomus*) era alrededor de 2400. Las concentraciones de PFOS (en el cuerpo completo de los gobios redondos) eran comparables a los resultados de las concentraciones en el hígado de salmones con valores de factores de biomagnificación de 10 a 20. En las águilas calvas, la concentración media de PFOS en hígado, de 400 ng/g de peso húmedo, este dato proporciona un valor de factor de biomagnificación de cuatro a cinco, comparado con los

⁹⁰ 3M, 2002. Final report, perfluorooctanesulfonate, potassium salt (PFOS): A flow-through bioconcentration test with bluegill (*Lepomis macrochirus*). Project Number 454A-134. Study conducted for 3M. Wildlife International Ltd., St. Paul, MN.

⁹¹ Martin, J.W., Mabury, S.A., Solomon, K.R. and Muir D.C.G., 2003. Bioconcentration and Tissue Distribution of Perfluorinated Acids in Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*). *Env. Tox. Chem.*, 22(1), 196-204.

⁹² Martin, J.W., Smithwick, M.M., Braune, B.M., Hoekstra, P.F., Muir, D.C.G. and Mabury, S.A., 2004a. Identification of long chain perfluorinated acids in biota from the Canadian arctic. *Environ. Sci. Technol.*, 38, 373-380.

⁹³ Giesy, J.P. and Kannan, K., 2001a. Accumulation of perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in marine mammals. Prepared for 3M, St Paul, MN. In US EPA Administrative Record AR226-1030A (and cited in OECD, 2002).

⁹⁴ Giesy, J.P. and Kannan, K., 2001b. Perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in fish-eating water birds. Prepared for 3M, St Paul, MN. In US EPA Administrative Record AR226-1030A (and cited in OECD, 2002).

⁹⁵ Giesy, J.P. and Kannan, K., 2001c. Accumulation of perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in fish tissues. Prepared for 3M, St Paul, MN. In US EPA Administrative Record AR226-1030A (and cited in OECD, 2002).

⁹⁶ Giesy, J.P. and Kannan, K., 2001d. Accumulation of perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in mink and river otters. Prepared for 3M, St Paul, MN. In US EPA Administrative Record AR226-1030A (and cited in OECD, 2002).

⁹⁷ Giesy, J.P. and Newsted, J.L., 2001. Selected Fluorochemicals in the Decatur, Alabama Area. Prepared for 3M, St Paul, MN. In US EPA Administrative Record AR226-1030A.

⁹⁸ Kannan K., Tao L., Sinclair E., Pastva S.D., Jude D.J. and Giesy J.P., 2005. Perfluorinated compounds in aquatic organisms at various trophic levels in a Great Lakes food chain. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 48(4): 559-66.

peces en niveles tróficos más altos en el estudio. Para los visones, se pueden calcular valores de factores de biomagnificación de 145 a 4000 se basan en la concentración media en el hígado, 18,000 ng/g de peso húmedo, en comparación con sus presas tales como cangrejos (cuerpo entero), carpas (músculo) y tortugas (hígado).

En general, los datos muestran que los animales en niveles tróficos más altos tienen mayores concentraciones de PFOS que los animales en niveles tróficos más bajos, lo que indica que se produce biomagnificación. Por ejemplo, se calculó un factor de magnificación trófica de 5,9 para PFOS sobre la base de una red alimentaria pelágica que incluía invertebrados, y truchas de lago.⁹⁹

Otros estudios realizados demuestran bioacumulación en tortugas, aves y mamíferos marinos como el delfín de pico largo en el océano Atlántico.^{100, 101, 102} También, en Groenlandia se mostró biomagnificación a través de la cadena alimentaria marina. Para aves, la forma preferente de exposición es la dieta y se han realizado diferentes estudios,^{103, 104} aunque se excreta rápidamente. Si las aves están crónicamente expuestas también se produce biomagnificación.¹³

PFOS se une a las proteínas, para determinar la concentración de PFOS que saturaría los sitios de unión en estas proteínas, teniendo en cuenta que la albúmina sérica es el reservorio más probable de sitios de unión del PFOS, se han llevado a cabo varios estudios con respecto a la bioconcentración en plasma.¹⁰⁵ El estudio de bioconcentración en peces, se realizó con concentraciones de PFOS en agua de hasta 1 mg/l; la concentración de PFOS en agua y plasma siguió una relación prácticamente lineal en las dosis sometidas a ensayo hasta 0,3

⁹⁹ Martin J.W., Whittle D.M., Muir D.C.G., and Mabury S.A., 2004b. Perfluoroalkyl Contaminants in a Food Web from Lake Ontario. *Environ. Sci. Technol.*, 38, 5379-5385.

¹⁰⁰ Morikawa A., Kamei N, Harada K, Inoue K, Yoshinaga T, Saito N, and Koizumi A., 2006. The bioconcentration factor of perfluorooctane sulfonate is significantly larger than that of perfluorooctanoate in wild turtles (*Trachemys scripta elegans* and *Chinemys reevesii*): An Ai river ecological study in Japan. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 65(1), 14-21.

¹⁰¹ Tomy G.T., Budakowski W., Halldorson T., Helm P.A., Stern G. A.; Freisen K.; Pepper K., Tittlemier S. A. and Fisk A. T., 2004a. Fluorinated organic compounds in an eastern Arctic marine food web. *Environ.Sci. Technol.*, 38, 6475-6481.

¹⁰² Houde, M., Bujas, T.A.D., Small, J., Wells, R., Fair, P., Bossart, G.D., Solomon, K.R., and Muir, D.C.G., 2006. Biomagnification of Perfluoroalkyl Compounds in the Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) Food Web. *Environ. Sci. Technol.*, 40 (13), 4138-4144.

¹⁰³ Gulkowska, A., Falandysz, J., Taniyasu, S., Bochentin, I., So, M.K., Yamashita, N., 2005. Perfluorinated chemicals in blood of fishes and waterfowl from the Gulf of Gdańsk, Baltic Sea. Presentation at International Symposium on Fluorinated Organics in the Environment, Toronto, Ontario, Canada, August 18-20.

¹⁰⁴ Newsted J.L., Jones P.D., Coady K. and Giesy, J.P., 2005. Avian Toxicity Reference Values for Perfluorooctane Sulfonate. *Environ. Sci. Technol.*, 139(23), 9357-62.

¹⁰⁵ Jones P.D., Hu W., De Coen W., Newsted J.L. and Giesy J.P., 2003. Binding of perfluorinated fatty acids to serum proteins. *Environ. Toxicol. Chem.*, 22(11), 2639-49.

mg/l, sin signo alguno de saturación (no se probó con 1 mg/l debido a la mortalidad a esa dosis). Esto supera las concentraciones límite desde el punto de vista ambiental.¹⁰⁶

Otro estudio determinó que el factor de bioconcentración (FBC) en peces enteros era de aproximadamente 2800 a una concentración de PFOS de 86 µg/l, sobre la base de los cálculos de captación y depuración de PFOS. Se obtuvieron niveles en estado estacionario tras 49 días de exposición. La depuración se produjo lentamente, y el aclaramiento del 50% para los tejidos del pez entero se estimó en 152 días. Debido a la mortalidad, no se pudo calcular un FBC para la otra concentración utilizada, 870 µg/l. En consecuencia, no es probable que la saturación de sitios de unión a proteínas séricas limite la bioconcentración de PFOS en peces.¹⁰⁷ En monos *Cynomolgus*, las dosis acumulativas de PFOS (0,03, 0,15, o 0,75 mg/kg/día, por vía oral, durante 182 días) mostraron un incremento lineal en el plasma en los grupos de dosis baja y media, en tanto que en el grupo de dosis alta indicó una respuesta no lineal.¹⁰⁸ No existen datos similares en otros mamíferos, pero considerando el elevado nivel de bioacumulación observado en mamíferos, y que el suero de éstos contiene altas concentraciones de proteína, no es probable que los sitios de unión limiten la bioacumulación en mamíferos expuestos desde el punto de vista ambiental.

Se puede concluir según los diversos estudios que PFOS es el fluorocósmico predominante en la biota analizada, seguido por fluorooctano de sulfonamida (PFOSA).

TRANSPORTE A LARGA DISTANCIA EN EL MEDIO AMBIENTE

La forma de PFOS como ácido no disociado, y las sulfonamidas, son especies menos hidrofílicas, pero más volátiles que las sales, y se pueden transportar a larga distancia por el aire. La sal de potasio del sulfonato de perfluorooctano tiene una presión de vapor medida de 3.31×10^{-4} Pa;¹⁰ como resultado de esta presión de vapor y de un bajo coeficiente de separación agua-aire ($< 2 \times 10^{-6}$), no se prevé que el PFOS, en sí, se volatilice en gran medida. Por lo tanto, se considera que se traslada en la atmósfera mayoritariamente unido a partículas, debido a sus propiedades tensioactivas, y no a causa de su estado gaseoso.

¹⁰⁶ Ankley G.T., Kuehl D.W., Kahl M.D., Jensen K.M., Linnum A., Leino R.L., Villeneuve D.A., 2005. Reproductive and developmental toxicity and bioconcentration of perfluorooctanesulfonate in a partial life-cycle test with the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Environ. Toxicol. Chem.*, 24 (9), 2316-24.

¹⁰⁷ 3M, 2003a. *Environmental and Health Assessment of Perfluorooctane Sulfonic Acid and its Salts*. Prepared by 3M Company, with J Moore (Hollyhouse Inc.), J Rodericks and D Turnbull (Environ Corp.) and W Warren-Hicks and Colleagues (The Cadmus Group, Inc.). August 2003.

¹⁰⁸ Covance Laboratories, 2002. *Final report: 104-week dietary chronic toxicity and carcinogenicity study with perfluorooctane sulfonic acid potassium salt (PFOS; T-6295) in rats. Study No. 6239-183, Madison, Wisconsin.*

Algunas sustancias relacionadas con PFOS tienen una presión de vapor considerablemente más alta que el mismo PFOS, y por lo tanto tienen más probabilidades de ser volátiles. Las presiones de vapor de los precursores, como el N-etilperfluorooctano sulfonamidoetanol (N-EtFOSEA) y el N-metilperfluorooctano sulfonamidoetanol (N-MeFOSEA), pueden exceder 0,5 Pa (1000 veces mayores que la de PFOS).¹⁰⁹ Entre otros precursores de PFOS considerados volátiles se incluyen el alcohol N-etilheptadecafluoro-N-(2-hidroxietil)octanosulfonamida (N-EtFOSE), el alcohol N-metilheptadecafluoro-N-(2-hidroxietil)octanosulfonamida (N-MeFOSE), N-metil-perfluorooctano sulfonamida (N-MeFOSEA) y N-etil-perfluorooctano sulfonamida (N-EtFOSEA).¹¹⁰ Estos precursores de PFOS podrían evaporarse a la atmósfera y ser diseminados a través del aire en mayor medida de lo que es posible para PFOS en sí. Una vez en la atmósfera pueden permanecer en fase gaseosa, condensarse sobre otras partículas presentes y ser transportados o depositarse con ellas, o finalmente ser arrastrados por la lluvia.

Las mediciones realizadas en el aire en Toronto y en Long Point (Ontario), para detectar ciertos precursores de PFOS, encontraron una concentración media de alcohol de N-MeFOSE de 101 pg/m³ en Toronto y 35 pg/m³ en Long Point. Las concentraciones medias de alcohol N-MeFOSE fueron de 205 pg/m³ en Toronto y 76 pg/m³ en Long Point.¹¹¹ Para los precursores liberados en el agua, la presión de vapor puede ser lo suficientemente significativa para permitir que la sustancia se transfiera a la atmósfera. Para el alcohol de N-EtFOSE, la tendencia a dejar la fase acuosa está indicada por su constante de Henry relativamente elevada ($1.9 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$).¹¹²

Respecto al transporte de PFOS en el agua de lluvia, un estudio realizado en Canadá indica una concentración de 0,59 ng/l, esta concentración de PFOS se origina, o bien por precursores transportados, que posteriormente se depositan por condensación y se degradan a PFOS, o bien por precursores que se degradan en la atmósfera, y luego se depositan por condensación. En este estudio no se llevaron a cabo mediciones de precursores potenciales de PFOS.¹¹³

¹⁰⁹ Giesy, J.P. and K. Kannan., 2002. *Perfluorochemical surfactants in the environment. Environ. Sci. Technol.*, 36, 147A-152A.

¹¹⁰ 3M, 2000. *Sulfonated Perfluorochemicals in the Environment: Sources, Dispersion, Fate and Effects (AR226-0545)*. 3M Company, St Paul, MN.

¹¹¹ Martin, J.W., Muir, D.C.G., Moody, C.A., Ellis, D.A., Kwan, W.C., Solomon, K.R., and Mabury, S.A., 2002. *Collection of airborne fluorinated organics and analysis by gas chromatography/chemical ionization mass spectrometry, Anal. Chem.*, 74, 584-590.

¹¹² Hekster, F.M., P. de Voogt, A.M., Pijnenburg C.M and Laane R.W.P.M., 2002. *Perfluoroalkylated substances—aquatic environmental assessment. Report RIKZ/2002.043. Prepared at the University of Amsterdam and RIKZ (The State Institute for Coast and Sea), July 1, 2002. 99 pp.*

¹¹³ Loewen M., Halldorson T., Wang F., Tomy G., 2005. Fluorotelomer carboxylic acids and PFOS in rainwater from an urban center in Canada. *Env. Sci. Tech.*, 39(9), 2944-51.

El período de semidesintegración atmosférica de PFOS debería ser superior a dos días, si bien este hecho no ha sido contrastado, PFOS ha exhibido una extrema resistencia a la degradación en todos los ensayos realizados. Sin embargo, mediante un programa de modelización por ordenador AOP v1.91, se ha calculado un período de semidesintegración atmosférica de 114 días para PFOS.¹¹⁴ Se estima que el período de semidesintegración fotolítica indirecta a 25°C es de más de 3,7 años.¹⁰

Teniendo en cuenta la presión de vapor y la constante de la ley de Henry de PFOS, se trata de una sustancia muy poco volátil y por tanto es difícil determinar cómo se han esparcido estas sustancias de forma globalizada debido a las pocas posibilidades que tienen de introducirse directamente en la atmósfera.¹¹⁵ Se reafirma la hipótesis de que PFOS se esparce a nivel mundial a través de contaminantes más volátiles y neutros que son transportados a largas distancias por el aire y luego se degradan y generan los ácidos libres. Como prueba de esta hipótesis, recientemente se notificó que es habitual encontrar sulfonamidas polifluoradas en toda la extensión de la troposfera de América del Norte. Las concentraciones promedio oscilan entre 22 y 403 pg/m³ y el contaminante polifluorado dominante depende del lugar en que se tome la muestra.

En la atmósfera de Griffin, en el estado de Georgia (EE.UU.), se detectaron concentraciones promedio elevadas de N-MeFOSE, que ascendían a 359 pg/m³. La especulación de los autores es que, como Griffin se encuentra en medio de la principal zona de fabricación y tratamiento de alfombras de los EE.UU., la sustancia seguramente se introduce en el medio ambiente a partir de los productos para el tratamiento de alfombras, que, en muchos casos, están compuestos de moléculas fluoradas unidas a materiales poliméricos. Por ejemplo, es posible que en las fibras de las alfombras queden productos químicos libres y, según la información de que puede disponer el público sobre productos manufacturados por 3M, la concentración de sulfonamidas polifluoradas libres en general oscila, como máximo, entre 1% y 2%. Otra explicación es que el N-MeFOSE ligado a productos químicos tal vez también se libere de las alfombras por un proceso de degradación químico, físico o biológico.

Otros estudios ofrecen pruebas para validar esta hipótesis con sus mediciones de N-MeFOSE y de la sustancia relacionada N-EtFOSE, tanto al aire libre como en el aire de

¹¹⁴ Environment Canada, 2006. *Environmental Screening Assessment Report on Perfluorooctane Sulfonate, Its Salts and Its Precursors that Contain the C₈F₁₇SO₂ or C₈F₁₇SO₃ Moiety.*

¹¹⁵ Stock N.L., Lau F.K., Ellis D.A., Martin J.W., Muir D.C.G. and Mabury S.A., 2004. Perfluorinated Telomer Alcohols and Sulfonamides in the North American Troposphere. *Env. Sci. Tech.*, Vol. 38(4), 991-996. Swedish EPA, 2004. Slutligt PM för screening av perfluorerade ämnen.

lugares cerrados.¹¹⁶ Las concentraciones promedio del aire en lugares cerrados para estas dos sustancias eran 2590 y 770 pg/m³, respectivamente, y las proporciones entre el aire de lugares cerrados y el aire libre eran de 110 y 85, respectivamente. También, en este estudio se determinó que las alfombras podían ser una fuente de N-MeFOSE y la gran cantidad de papel utilizado en el edificio una posible fuente de N-EtFOSE.

Otras posibles fuentes de estos precursores volátiles son las sustancias fluoradas residuales detectadas en materiales,¹¹⁷ incluido el 0,39% de un perfluoroalquil sulfonamido alcohol presente en un producto de protección de alfombras de venta al público. Además, en pruebas de laboratorio el N-metil perfluorobutano sulfonamidoetanol (N-MeFBSE) se ha degradado convirtiéndose en sulfonato de perfluorobutano (PFBS), aunque en pequeñas cantidades.¹¹⁸

Se ha medido el PFOS en una amplia gama de biotas en el hemisferio norte, como el Ártico canadiense, Suecia, Estados Unidos y los Países Bajos. En un estudio se midieron los niveles de PFOS en muestras de hígado de la biota del Ártico canadiense, y se lo encontró en una gran mayoría de las especies examinadas.¹¹⁹ La presencia de PFOS en la biota ártica, lejos de fuentes antropogénicas, demuestra el potencial del PFOS para ser transportado a grandes distancias. Se desconocen los mecanismos para este transporte, pero podría deberse al transporte de sustancias volátiles relacionadas con el PFOS que finalmente se degradan a PFOS.

Si bien los precursores sufrirán degradación una vez liberados al medio ambiente, las velocidades de transformación pueden variar considerablemente. Los precursores que llegan a una región remota a través de la atmósfera u otros medios pueden estar sujetos a rutas de degradación a PFOS tanto abióticas como bióticas. Los mecanismos de esta degradación no se comprenden bien. Cuando las ratas metabolizan compuestos basados en N-MeFOSE, se han confirmado varios metabolitos en las muestras de tejidos, incluidos PFOS y alcohol de N-

¹¹⁶ Shoeib M., Harner T., Ikonomonu M. and Kannan K., 2004. Indoor and Outdoor Concentrations and Phase Partitioning of Perfluoroalkyl Sulfonamides and Polybrominated Diphenyl Ethers. *Env. Sci. Tech.*, 38(5), 1313-1320.

¹¹⁷ Dinglasan-Panlilio M.J.A. and Mabury S.A., 2006. Significant Residual Fluorinated Alcohols Present in Various Fluorinated Materials, *Env. Sci. Tech.*, 40(5), 1447-1453. Environment Agency, 2004. Environmental Risk Evaluation Report: (PFOS). D Brooke, A Footitt, T A Nwaogu. Research Anti-ctor: Building Research Establishment Ltd. Risk and Policy Analysts Ltd.

¹¹⁸ D'eon J.D., Hurley M.D., Wallington T.J. and Mabury S.A. 2006. Atmospheric Chemistry of N-methyl Perfluorobutane Sulfonamidoethanol, C₄FSO₂N(CH₃)CH₂CH₂OH: Kinetics and Mechanism of Reaction with OH, *Env. Sci. Tech.*, 40, 6, 1862-1868.

¹¹⁹ Martin J.W., Whittle D.M., Muir D.C.G., and Mabury S.A., 2004. Perfluoroalkyl Contaminants in a Food Web from Lake Ontario. *Environ. Sci. Technol.*, 38, 5379-5385.

MeFOSE.¹²⁰ El PFOS aparenta ser el producto final del metabolismo de las sustancias relacionadas con el PFOS, en ratas y probablemente otros vertebrados.

Un estudio reciente realizado con microsomas hepáticos de truchas arco iris (*Onchorhynchus mykiss*) ha demostrado que la N-etil perfluorooctanosulfonamida (N-EtPFOSA) es un precursor del PFOS en peces.¹²¹ Estos resultados, combinados con las recientes mediciones de concentraciones de hasta $92,8 \pm 41,9$ ng/g de peso húmedo de N-EtPFOSA en organismos acuáticos de regiones del Ártico refuerzan la hipótesis de que las sulfonamidas perfluoradas son uno de los precursores volátiles del PFOS que recorren grandes distancias hasta el Ártico. Sin embargo, la hipótesis de que estos precursores volátiles llegan a las latitudes árticas por transporte atmosférico no ha sido aún confirmada mediante mediciones atmosféricas.¹²²

Según los resultados obtenidos, la gran resistencia a la degradación muestra que el período de semidesintegración del PFOS en la atmósfera es superior a dos días. Se ha calculado que el período de semidesintegración fotolítica indirecta del PFOS es superior a 3,7 años.

La presencia de PFOS en una gran variedad de biota del Ártico, alejada de las fuentes antropogénicas, demuestra la capacidad del PFOS de trasladarse a largas distancias.

EFFECTOS ADVERSOS

Existen pruebas de la toxicidad del PFOS en mamíferos a raíz de exposiciones agudas, crónicas y subcrónicas en ratas, exposiciones subcrónicas en monos, y un estudio de dos generaciones en ratas. Se dispone de datos toxicológicos para ratas y monos después de haber estado expuestos a dosis agudas, subcrónicas y crónicas. La sal de potasio del sulfonato de perfluorooctano en dosis elevadas provoca la muerte; en dosis menores (inferior al miligramo) se observaron lesiones gastrointestinales y pérdida de peso. Hay resultados disponibles de estudios reproductivos y de teratogenicidad en ratas y conejos. Este

¹²⁰ 3M, 2001a. Analytical laboratory report, determination of the presence and concentration of PFOS, PFOSA, PFOSAA, EtFOSE-OH, M556 and PFOSEA in serum and liver samples of CrI: CD(SD) IGS BR rats exposed to N-ethyl perfluorooctanesulfonamido ethanol. 3M Environmental Laboratory Report No. Tox-001, Laboratory Request No. U2103, 3M Reference No. T-6316.1

3M, 2001b. Analytical laboratory report, determination of the presence and concentration of PFOS, PFOSA, PFOSAA, EtFOSE-OH, M556 and PFOSEA in serum and liver samples of CrI: CD(SD) IGS BR rats exposed to N-ethyl perfluorooctanesulfonamido ethanol. 3M Environmental Laboratory Report No. Tox-002, Laboratory Request No. U2104, 3M Reference No. T-6316.1

¹²¹ Tomy G. T., Tittlemier S. A., Palace V. P., Budakowski W. R., Braekevelt E., Brinkworth, L. and Friesen K., 2004. Biotransformation of N-ethyl perfluorooctanesulfonamide by rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) liver microsomes. *Env. Sci. Tech.*, 38, 758-762.

¹²² Bossi, R.; Riget, F. F.; Dietz, R., 2005. Temporal and spatial trends of perfluorinated compounds in ringed seal (*Phoca hispida*) from Greenland. *Env. Sci. Tech.* 39, 7416-7422.

documento no incluye los detalles de dichos estudios. En un estudio multigeneracional se notificaron defunciones maternas y de las crías y toxicidad en ambas. El PFOS puede llegar a afectar la maduración de los pulmones en ratas de corta edad.¹⁰

Un estudio de 90 días realizado en monos Rhesus expuestos a sal de potasio de PFOS mediante alimentación por sonda nasogástrica, en dosis de 0, 0,5, 1,5 y 4,5 mg/kg de peso corporal por día. En dosis de 4,5 mg/kg/día todos los monos (4) murieron o fueron sacrificados en condiciones moribundas. No se observó ninguna muerte a dosis de 0,5 o 1,5 mg/kg de peso corporal por día, pero presentaron signos de toxicidad gastrointestinal. No se pudo establecer el nivel sin efectos adversos observados (NOAEL) ya que la dosis menor correspondía al nivel con efectos mínimos observados (LOAEL).¹²³

El mismo estudio indica que, realizado en dosis repetidas, 90 días, en ratas a las que se alimentó con dietas con 0, 30, 100, 300, 1000 y 3000 mg de sal de potasio de PFOS por kg de peso corporal. Al ser alimentadas con dietas de 300 mg/kg de PFOS y más (equivalentes a 18 mg/kg de peso corporal por día y más), todas las ratas murieron. A niveles de 100 mg/kg (6 mg/kg de peso corporal por día), murió el 50% (5/10) de los animales. Todas las ratas que recibieron dietas con 30 mg/kg de PFOS (2,0 mg/kg/día) sobrevivieron hasta el final del estudio, pero se informaron pequeños cambios en el peso de órganos y cuerpo. Como la dosis menor analizada correspondía al LOAEL, no se pudo establecer el NOAEL.

Un estudio de toxicidad reproductiva en dos generaciones de ratas alimentadas con sal de potasio de PFOS por sonda nasogástrica en dosis de 0,1, 0,4, 1,6 y 3,2 mg/kg de peso corporal por día. Con las dosis de 1,6 y 3,2 mg/kg de peso corporal por día se observó una reducción significativa de la viabilidad de la generación F1. En el grupo de 1,6 mg/kg de peso corporal por día, el 34% (86/254) de las crías F1 murieron dentro de los cuatro días posteriores al nacimiento. En el grupo de 3,2 mg/kg de peso corporal por día, el 45% (71/156) de las crías F1 murieron dentro del día posterior al parto. Ninguna de las crías sobrevivió después del día 4. La toxicidad materna con las dosis de 1,6 y 3,2 mg/kg de peso corporal por día se manifestó en la reducción del consumo de alimentos, aumento del peso corporal y de peso corporal terminal. También se observó alopecia localizada a dosis de 3,2 mg/kg de peso corporal por día. En este estudio, el LOAEL fue 0,4 mg/kg de peso corporal por día, sobre la base de reducciones significativas en el aumento de peso de las crías en los animales de la generación F1. El NOAEL fue 0,1 mg/kg de peso corporal por día.¹²⁴

¹²³ Goldenthal, E.I., Jessup, D.C., Geil, R.G., Jefferson, N.D. and Arceo, R.J., 1978. *Ninety-day Subacute Rat Study. Study No. 137-085, International Research and Development Corporation, Mattawan, MI. FYI-0500-1378.*

¹²⁴ Christian, M.S., Hoberman, A.M., and York, R.G. 1999. Combined Oral (Gavage) Fertility, Developmental and Perinatal/Postnatal Reproduction Toxicity Study of PFOS in Rats. Argus Research Laboratories, Inc. Protocol Number: 418-008, Sponsor Study Number: 6295.9, (8EHQ-0200-00374).

El PFOS ha mostrado una toxicidad aguda moderada en los peces. El nivel mínimo de LC₅₀ con efectos observables (96 horas) se calculó en 4,7 mg/L en el piscardo (*Pimephales promelas*) expuesto a la sal de litio del sulfonato de perfluorooctano. El nivel mínimo de LC₅₀ (96 horas) para los invertebrados acuáticos se ha observado en el camarón místico (*Mysidopsis bahia*) a 3,6 mg/L. Un estudio notificó una NOEC de 10 días de 0,0491 mg/l para el crecimiento y supervivencia de la mosquilla acuática (*Chironomus tentans*).¹²⁵ Los autores llegaron a la conclusión de que el PFOS es entre 2 y 3 veces más tóxico para los quironómidos que para otros organismos acuáticos, posiblemente debido a algún tipo de interacción con la hemoglobina, que se encuentra en todos los niveles de oxígeno disuelto (OD) en los quironómidos y no en los dáfnidos, en los que la hemoglobina se produce solamente en respuesta a una disminución en los niveles de OD.

Aparentemente, el alga más sensible es el alga verde *Pseudokirchneriella subcapitata*, con una LC₅₀ (96 horas, densidad de célula) de 48,2 mg/L. En el mismo estudio se determinó el menor valor de NOEC para las algas correspondiente a la *Pseudokirchneriella subcapitata*, 5,3 mg/l.¹²⁶

Otro estudio concluyó que la exposición de ratas preñadas en estado avanzado de gestación, a 25 mg/kg de PFOS mediante alimentación nasogástrica el día 17 a 20 de la gestación o 50 mg/kg de PFOS el día 19 a 20 de la gestación, es suficiente para inducir la mortalidad del 100% de las crías, y que el factor de causalidad puede ser la inhibición de la maduración pulmonar.¹²⁷ No obstante, en un estudio posterior realizado por el mismo autor no se pudo establecer el mecanismo por el cual se producía la muerte de las crías.¹²⁸

Los datos de toxicidad ambiental para el PFOS se observan principalmente para organismos acuáticos, como peces, invertebrados y algas, y para aves.

Se expusieron ánades y codornices comunes a PFOS en los alimentos durante un tiempo máximo de 21 semanas y se examinaron diversas variables, incluidos cambios en el peso de órganos y cuerpo en adultos, tasa de consumo de alimentos, fertilidad, incubabilidad y

¹²⁵ MacDonald, M.M., Warne, A.L., Stock, N.L., Mabury, S.A., Soloman, K.R. and Sibley, P.K., 2004. Toxicity of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid to *Chironomus tentans*. *Env. Toxicol. Chem.*, 23(9), 2116-2123.

¹²⁶ Boudreau, T.M., Sibley, P.K., Mabury, S.A., Muir, D.C.G. and Solomon, K.R., 2003. Laboratory evaluation of the toxicity of perfluorooctane sulfonate (PFOS) on *Selenastrum capricornutum*, *Chlorella vulgaris*, *Lemna gibba*, *Daphnia magna* and *Daphnia pulex*. *Arch. Env. Contam. Toxicol.*, 44, 307-313.

¹²⁷ Grasty, R.C., Grey, B.E., Lau, C.S., Rogers, J.M., 2003. Prenatal Window of Susceptibility to Perfluorooctanesulfonate-Induced Neonatal Mortality in the Sprague-Dawley Rat. *Birth Defects Research (Part B)*, 68, 465-471.

¹²⁸ Grasty R.C., Bjork J.A., Wallace K.B., Lau C.S., Rogers J.M., 2005. Effects of prenatal perfluorooctane sulfonate (PFOS) exposure on lung maturation in the perinatal rat *Birth Defects Res B Dev Reprod Toxicol.* 74 (5) 405-16. Erratum in: *Birth Defects Research (Part B)*. *Dev. Reprod. Toxicol.* 2006, 77(1), 87.

supervivencia de las crías. Con una dosis de 10 mg/kg de dieta de PFOS, los efectos en los ánades reales macho (*Anas platyrhynchos*) incluyeron la reducción de tamaño de los testículos y la disminución de la espermatogénesis.¹²⁹ A este nivel de dosis, las concentraciones de PFOS en el suero y el hígado fueron de 87,3 µg/ml y 60,9 µg/g, respectivamente.¹³⁰ Para las codornices (*Colinus virginianus*), a 10 mg/kg en la dieta se observaron efectos menores en adultos, que incluyeron un aumento en el peso del hígado (hembras), un aumento en la incidencia de tamaño pequeño de testículos (machos), y una reducción en la capacidad de supervivencia de las crías en porcentaje de la nidada. La concentración en el suero e hígado de las codornices hembra adultas fue de 84 µg.ml⁻¹ de suero (semana 5, fase pre-reproductiva) y de 8,7 µg.ml⁻¹ de suero (semana 21), y de 4,9 µg.kg⁻¹ de hígado peso húmedo; en los machos adultos, las concentraciones fueron de 141 µg.ml⁻¹ de suero y de 88,5 µg.g⁻¹ de hígado peso húmedo.¹³¹

DECLARACIÓN DE LAS RAZONES DE LA PREOCUPACIÓN

PFOS fue propuesto por el Gobierno de Suecia ante el Convenio de Estocolmo, describiendo las razones de preocupación acerca de esta sustancia.

PFOS es un anión totalmente fluorado, que generalmente se emplea en forma de sal en ciertas aplicaciones, o se incorpora a polímeros de moléculas de mayor tamaño. Debido a sus propiedades tensioactivas, históricamente ha sido utilizado en una amplia gama de aplicaciones, que típicamente incluyen las espumas anti-incendios y los productos repelentes/resistentes al aceite, el agua, la grasa o la suciedad para superficies. PFOS se puede formar por degradación de un grupo más amplio de sustancias conexas, llamadas sustancias relacionadas con PFOS.

Debido a sus propiedades intrínsecas, PFOS y sus sustancias relacionadas han sido utilizados en una amplia gama de aplicaciones. Si bien históricamente el PFOS y sus sustancias relacionadas han sido utilizados en ocho sectores diferentes, el uso actual en los países industrializados parece estar limitado a cinco sectores. Se desconoce si esto es un reflejo del uso mundial.

PFOS y sus sustancias relacionadas pueden ser liberados al medio ambiente al momento de su fabricación, durante la utilización en aplicaciones industriales y domésticas, y a partir

¹²⁹ 3M, 2003b. *Final Report PFOS: A Pilot Reproduction Study with the Mallard Wildlife International, Ltd.* Project Number: 454-108. US EPA OPPT AR226-1738.

¹³⁰ 3M, 2004. *Final Report: PFOS-A Dietary LC50 Study with Mallard. Wildlife International Ltd., Project No. 454-102.* US EPA OPPT AR226-1735.

¹³¹ 3M, 2003c. *Final Report PFOS: A Reproduction Study with the Northern Bobwhite Wildlife International, Ltd.* Project Number: 454-108. US EPA OPPT AR226-1831.

del desecho de las sustancias químicas o de los productos o artículos que las contienen, una vez utilizados.

Las áreas de entrenamiento para la lucha contra el fuego también se han revelado como fuente de emisiones de PFOS, debido a su presencia en las espumas anti-incendios. Se han detectado niveles altos de PFOS en tierras húmedas aledañas a una de esas áreas en Suecia al igual que en aguas subterráneas de los Estados Unidos, cerca de un área de entrenamiento anti-incendios.¹³²

En gran medida se desconoce la velocidad y el grado de formación de PFOS a partir de las sustancias químicas relacionadas. La falta de datos dificulta estimar la contribución neta de la transformación de cada una de las sustancias relacionadas con el PFOS a las cargas ambientales de PFOS. Sin embargo, en función de su extrema estabilidad se estima que el PFOS probablemente será el producto final de la degradación de todas las sustancias relacionadas con él.

El PFOS es extremadamente persistente. No ha demostrado ninguna degradación en los ensayos de hidrólisis, fotólisis o biodegradación, en ninguna de las condiciones ambientales sometidas a ensayos.

La única condición conocida en la cual el PFOS se degrada es a través de la incineración a altas temperaturas.

Con respecto al potencial de bioacumulación, el PFOS satisface el criterio del Anexo D del Convenio de Estocolmo, ya que se han encontrado concentraciones muy elevadas en superpredadores como el oso polar, la foca, el águila calva o el visón. Sobre la base de las concentraciones halladas en sus presas, se han estimado valores elevados de biomagnificación para estos predadores. Los valores del factor de bioconcentración en peces, si bien son (bastante) altos, por sí mismos no satisfacen los criterios numéricos específicos. Sin embargo, debido a las propiedades del PFOS, que preferentemente se une a las proteínas de los tejidos no lipídicos, para el PFOS tal vez no sea apropiada la aplicación de los criterios numéricos para FBC o el FBA, cuyos valores se derivan de mediciones basadas en las sustancias que se particionan en lípidos. Más notables y alarmantes son las elevadas concentraciones de PFOS enanti -das en animales del Ártico, alejados de las fuentes antropogénicas. Se ha detectado PFOS en predadores y biota de nivel trófico más alto, como peces, aves piscívoras, visones y biota ártica. Además, se ha demostrado que las especies

¹³² Moody C.A., Hebert G.N., Strauss S.H. and Field J.A., 2003. Occurrence and persistence of perfluorooctanesulfonate and other perfluorinated surfactants in groundwater at a fire-training area at Wurtsmith Air Force Base, Michigan, USA. *J Environ. Monit.*, 5, 341-345.

predadoras, como por ejemplo las águilas, acumulan mayores concentraciones de PFOS que las aves de niveles tróficos inferiores. Incluso con la reducción de la fabricación de PFOS por parte de algunos productores, los animales silvestres como las aves pueden seguir estando expuestos a sustancias persistentes y bioacumulativas como el PFOS, simplemente en virtud de su persistencia y acumulación a largo plazo.

Según los datos disponibles, el PFOS satisface los criterios para el transporte potencial a grandes distancias. Esto es evidente en los datos de control que muestran niveles muy elevados de PFOS en diversas partes del hemisferio norte. Es particularmente notorio en la biota del Ártico, alejada de las fuentes antropogénicas. EL PFOS cumple también los criterios para el período de semidesintegración atmosférica.

El PFOS cumple con los criterios previstos para los efectos adversos. Ha demostrado toxicidad para los mamíferos en estudios de dosis repetidas subcrónicas y bajas concentraciones, al igual que toxicidad reproductiva en ratas, con mortalidad de las crías en un breve lapso tras el nacimiento. El PFOS es tóxico para los organismos acuáticos; los organismos más sensibles son el camarón místico y el *Chironomus tentans*.

El PFOS es un anión totalmente fluorado, que generalmente se emplea en forma de sal o se incorpora a polímeros de moléculas de mayor tamaño. EL PFOS y sus compuestos más cercanos, que contienen impurezas de PFOS o sustancias que pueden producir PFOS, son miembros de la gran familia de sulfonatos de perfluoroalquilos. En sus medidas reglamentarias sobre PFOS la UE ha tenido en cuenta todas las moléculas que tienen la siguiente fórmula molecular: $C_8F_{17}SO_2Y$, donde $Y = OH$, sal metálica, haluro, amida y otros derivados, incluyendo polímeros.

El PFOS puede formarse (por degradación microbiana ambiental o por metabolismo en organismos de mayor tamaño) a partir de sustancias relacionadas con el PFOS, es decir, moléculas que contienen el grupo sulfonato. Si bien, no es tan fácil, prever de qué manera contribuyen las sustancias relacionadas con cada uno de los PFOS a las cargas ambientales de PFOS, existe la posibilidad de que cualquier molécula que contenga el grupo PFOS pueda ser un precursor del PFOS.

La mayoría de las sustancias relacionadas con el PFOS son polímeros de elevado peso molecular en los cuales el PFOS es sólo una fracción del polímero y el producto final. Las sustancias relacionadas con el PFOS han sido definidas en forma ligeramente diferente en distintos contextos, y en la actualidad hay una cantidad de listas de dichas sustancias. Las listas contienen cantidades variables de sustancias relacionadas con el PFOS que tienen potencia para descomponerse en PFOS. Las listas tienen diversos grados de superposición,

según sean las sustancias consideradas y la superposición entre las listas nacionales de productos químicos existentes.

Un gran número de sustancias pueden dar lugar al PFOS, y contribuir así al problema de la contaminación. El DEFRA del Reino Unido ha propuesto recientemente una lista de 96 sustancias relacionadas con el PFOS. No obstante, las propiedades de las 96 sustancias en general no han sido determinadas. Según 3M, (presentación a la secretaría del Convenio de Estocolmo, 2006), sus características ambientales, como solubilidad, estabilidad, y capacidad para ser absorbidas o metabolizadas, pueden ser muy diferentes. Sin embargo, en el documento del Reino Unido se infiere que todas estas sustancias producirán PFOS como producto de degradación final.¹³³

La evaluación de riesgo ecológico realizada por Environment Canada¹³⁴ define a los precursores del PFOS como las sustancias que contienen el grupo perfluorooctilsulfonilo ($C_8F_{17}SO_2$, $C_8F_{17}SO_3$, o $C_8F_{17}SO_2N$) que tienen el potencial de transformarse o degradarse en PFOS. El término "precursor" se aplica, sin excluir otras, a unas 51 sustancias identificadas en la evaluación ambiental. Sin embargo, esta lista no se considera exhaustiva, ya que puede haber otros compuestos alquilos perfluorados que también son precursores del PFOS. Esta información fue compilada sobre la base de un estudio de la industria, la opinión de los expertos y modelización con CATABOL, en la cual se examinaron 256 compuestos alquilos perfluorados para determinar si es probable que los componentes no fluorados de cada sustancia se degraden química o bioquímicamente, y si se espera que el producto final perfluorado de la degradación sea un PFOS. Si bien la evaluación no tuvo en cuenta los efectos aditivos del PFOS y de sus precursores, se reconoce que los precursores del PFOS contribuyen a la carga ambiental final de PFOS. Es posible que los precursores jueguen un papel clave en el transporte a gran distancia y la consiguiente degradación a PFOS en áreas remotas, como el Ártico canadiense.

¹³³ RPA and BRE, 2004. *Risk & Policy Analysts Limited in association with BRE Environment, Perfluorooctane Sulfonate – Risk reduction strategy and analysis of advantages and drawbacks, Final Report prepared for Department for Environment, Food and Rural Affairs and the Environment Agency for England and Wales.*

¹³⁴ Environment Canada, 2006. *Environmental Screening Assessment Report on Perfluorooctane Sulfonate, Its Salts and Its Precursors that Contain the C8F17SO2 or C8F17SO3 Moiety.*

ANEXO 2. LISTA OSPAR

A continuación se presenta un extracto de la lista OSPAR de los compuestos perfluorados con alto volumen de producción, **Tabla 13**.¹³⁵

Tabla 13. Lista OSPAR de compuestos perfluorados con alto volumen de producción.		
	Número CAS	Nombre del Compuesto
Compuestos y derivados de sulfonato de perfluorooctano (Tipo PFOS)		
1	1691-99-2	N-etilheptadecafluoro-N-(2-hidroxietil)octanosulfonamida *
2	13417-01-1	N-[3-(dimetilamino)propil]heptadecafluorooctanosulfonamida
3	25268-77-3	Acrilato de 2-[(heptadecafluorooctil)sulfonil]metilamino]etil
4	67969-69-1	N-etilheptadecafluoro-N-[2-(fosfonatooxi)etil]octanosulfonamidato de diamonio *
5	2991-51-7	N-etil-N-[(heptadecafluorooctil)sulfonil]glicinato de potasio *
6	2795-39-3	Heptadecafluorooctano-1-sulfonato de potasio
Compuestos y derivados de sulfonato de perfluoroalquilo		
7	375-72-4	Fluoruro de 1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluorobutano-1-sulfonilo *
8	423-50-7	Fluoruro de perfluorohexanosulfonilo *
Ácido perfluorooctanoico y sus sales		
9	335-67-1	Acido pentadecafluorooctanoico,

¹³⁵ OSPAR (2002). Grouping of Perfluorinated Substances, Presented by the United Kingdom and Sweden, at the Meeting of the Working Group on Priority Substances (SPS), Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-east Atlantic (OSPAR), Arona, October 21-25.

10	3825-26-1	Pentadecafluorooctanoato de amonio *
Ácidos perfluorados y sus sales		
11	6130-43-4	Perfluoroheptanoato de amonio
12	16517-11-6	Ácido perfluoroesteárico
13	67905-19-5	Ácido perfluoropalmítico
14	335-95-5	Pentadecafluorooctanoato de sodio
15	375-95-1	Ácido perfluorononan-1-oico
16	3658-57-9	8-clorohexadecafluoro-7-metiloctanoato de amonio
17	3658-62-6	Tetradecafluoro-7-(trifluorometil)octanoato de amonio
18	3658-63-7	Octadecafluoro-9-(trifluorometil)decanoato de amonio
19	3825-26-1	Pentadecafluorooctanoato de amonio
20	15899-31-7	Ácido tetradecafluoroisononanoico
21	16486-94-5	Ácido octadecafluoro-9-(trifluorometil)decanoico
22	307-55-1	Ácido tricosafuorododecanoico
23	16486-96-7	Ácido docosafluoro-11-(trifluorometil)dodecanoico
24	376-06-7	Ácido heptacosafuorotetradecanoico
Alcanos perfluorados		
25	678-26-2	Dodecafluoropentano
26	355-42-0	Tetradecafluorohexano *

27	335-57-9	Perfluoroheptano **
28	307-34-6	Perfluorooctano
29	335-36-4	2,2,3,3,4,4,5-heptafluorotetrahidro-5-(nonafluorobutil)furano
Alcanos fluoroclorados y un único yodo		
30	355-43-1	1,1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6-tridecafluoro-6-iodohexano **
31	507-63-1	Heptadecafluoro-1-iodooctano

* Sustancias incluidas en el borrador de la Lista de Sustancias de Posible Preocupación

** Sustancias identificadas para la inclusión en la Lista OSPAR de Sustancias Químicas Prioritarias 2002

ANEXO 3. EPÍGRAFES DE LA FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (FDS) SEGÚN EL REGLAMENTO REACH

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

- 1.1. Identificador del producto
- 1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados
- 1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad
- 1.4. Teléfono de emergencia

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

- 2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla
- 2.2. Elementos de la etiqueta
- 2.3. Otros peligros

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

- 3.1. Sustancias
- 3.2. Mezclas

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

- 4.1. Descripción de los primeros auxilios
- 4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados
- 4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

SECCIÓN 5: Medidas de lucha anti-incendios

- 5.1. Medios de extinción
- 5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha anti-incendios

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

6.4. Referencia a otras secciones

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

7.1. Precauciones para una manipulación segura

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

7.3. Usos específicos finales

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1. Parámetros de control

8.2. Controles de la exposición

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

9.2. Información adicional ES L 133/22 Diario Oficial de la Unión Europea 31.5.2010

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1. Reactividad

10.2. Estabilidad química

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas

10.4. Condiciones que deben evitarse

10.5. Materiales incompatibles

10.6. Productos de descomposición peligrosos

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

SECCIÓN 12: Información ecológica

12.1. Toxicidad

12.2. Persistencia y degradabilidad

12.3. Potencial de bioacumulación

12.4. Movilidad en el suelo

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB

12.6. Otros efectos adversos

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

14.1. Número ONU

14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

14.3. Clase(s) de peligro para el transporte

14.4. Grupo de embalaje

14.5. Peligros para el medio ambiente

14.6. Precauciones particulares para los usuarios

14.7. Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

15.1. Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específica para la sustancia o la mezcla

15.2. Evaluación de la seguridad química

SECCIÓN 16: Otra información. ES 31.5.2010 Diario Oficial de la Unión Europea L 133/23.

10. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

10.1. GLOSARIO DE TÉRMINOS

AFFF	Aqueous Film Forming Foam (Espumas formadoras de película acuosa)
AR-AFFF	Alcohol Resistant Aqueous Film Forming Foam (Espumas formadoras de película acuosa resistentes a medios alcohólicos)
BIE	Boca de Incendios Equipada
BOE	Boletín Oficial del Estado
CAFS	Compressed Air Foam System (Sistemas de Espuma por Aire Compromido)
CESE	Comité Económico y Social Europeo
CNRCOP	Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes
CLP	Clasificación, etiquetado y empaquetado
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
CTI	Código Técnico de la Edificación
DDT	Dicloro difenil tricloroetano
EC ₅₀	Concentración a la que se observan efectos en el 50% de los individuos
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
EPA	Environmental Protection Agency USA
FDS	Fichas de Datos de Seguridad
FWS	United States Fish and Wild Service (Conservación de la Naturaleza de América)
GAR	Gestión Ambientalmente Racional
GC/EI-MS	Gas Chromatography/ Electronic Ionization- Mass Spectrometry
GC/MS	Gas Chromatography/ Mass Spectrometry
GNC	Grupo Nacional de Coordinación
HRMS	High-Resolution Mass Spectrometry
INIA	Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria
INSHT	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

IE	Índice de expansión
IPPC	Integrated Pollution, Prevention and Control. Directiva relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación.
ITC	Instrucciones Técnicas Complementarias
LC ₅₀	Nivel de concentración letal para el 50% de los individuos
LC/MS	Liquid Chromatography/ Mass Spectrometry
LCD	Liquid crystal display (Pantallas de cristal líquido)
LII	Límite Inferior de Inflamabilidad
LPRL	Ley de Prevención de Riesgos Laborales
LSI	Límite Superior de Inflamabilidad
LOQ	Limit of Quantification
MARM	Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino
MPAs	Mejores Prácticas Ambientales
MTDs	Mejores Técnicas Disponibles
ND	Información "no disponible"
NFPA	National Fire Protection Association
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OCDE	Organization for Economic Co-operation and Development
OMS	Organización Mundial de la Salud (WHO)
OSPAR	Convenio Oslo-París
PCBs	Policlorobifenilos
PFOS	Perfluorooctane sulfonate, Sulfonatos de perfluorooctano
PNA	Plan Nacional de Aplicación
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP)
POPRC	Persistent Organic Pollutant Review Committee (Comité de Revisión de los Contaminantes Orgánicos Persistentes)
PRTR	Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes
PSE	Pressurized Solid Extraction
REACH	Registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias y preparados
SAICM	Gestión Internacional de las Sustancias Químicas
SIG	Sistemas de Gestión Integrada
TGA	Análisis termogravimétrico
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe

UNEP United Nations Environment Programme
UNIDO United Nations Industrial Development Organization

10.2. TABLAS DE CONVERSIÓN

UNIDAD SIMBOLO FACTOR DE CONVERSIÓN

Litro [L]	1 gal = 3,785 L
Centímetro [cm]	1 pulg = 2,54 cm
Metro [m]	1 pie = 0,3048 m
Kilogramo [Kg]	1 libra = 0,454 Kg
Grado Centigrado [°C]	$5/9(^{\circ}\text{F}.32) = ^{\circ}\text{C}$
Bar [bar]	1 psi = 0.0689 bar

10.3. FUENTES DE INFORMACIÓN

- LEGISLACIÓN NACIONAL

Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, (BOE 11.03.2010), por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad.

ORDEN PRE/374/2008, de 31 de enero, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (sulfonatos de perfluorooctano-PFOS).

Ley 26/2007, de 23 de octubre, (Jefatura del Estado, BOE 24.10.2007). Ley de Responsabilidad Medioambiental.

ORDEN PRE/1244/2006, de 20 de abril, (BOE 28.04.2006), por la que se modifican los anexos I y V del Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, (BOE 28.03.2006) por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Ley 39/1999, de 5 de noviembre, (BOE 06.11.1999) para promover la conciliación de la vida familiar y laboral de las personas trabajadoras.

- SE DICTA DE CONFORMIDAD regulando las prestaciones económicas de la SS por maternidad y riesgo durante el embarazo: REAL DECRETO 1251/2001, de 16 de noviembre (Ref. [BOE-A-2001-21491](#)).
- CORRECCION de erratas en BOE num. 271, de 12 de noviembre de 1999 (Ref. [BOE-A-1999-21903](#)).

Ley 50/1998, de 30 de diciembre, (BOE 31.12.1998), de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social.

Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, (BOE 18.01.2005), por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios estándares para la declaración de suelos contaminados.

Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, (BOE 17.12.2004), por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, (BOE 01.05.2001), sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

Real Decreto Legislativo 5/2000, de 4 de agosto, (BOE 08.08.2000), por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social.

Ley 31, 1995, de 8 de noviembre (Jefatura del Estado, BOE 10.11.1995). Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Real Decreto 2085/1994, de 20 de octubre, (BOE 27.01.1995), por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas.

- SE MODIFICA los arts. 4, 6 y 8, por REAL DECRETO 560/2010, de 7 de mayo (Ref. [BOE-A-2010-8190](#)).
- SE DICTA DE CONFORMIDAD:
 - o aprobando la instrucción técnica complementaria MI-IP 06: REAL DECRETO 1416/2006, de 1 de diciembre (Ref. [BOE-A-2006-22585](#)).
 - o aprobando la instrucción técnica complementaria MI-IP05: REAL DECRETO 365/2005, de 8 de abril (Ref. [BOE-A-2005-6793](#)).
- SE MODIFICA:
 - o los arts. 2, 6 y 8, por REAL DECRETO 1523/1999, de 1 de octubre (Ref. [BOE-A-1999-20723](#)).
 - o la instrucción MI-IPO2, por REAL DECRETO 1562/1998 de 17 de julio (Ref. [BOE-A-1998-19183](#)).
- SE DICTA DE CONFORMIDAD:
 - o APROBANDO LA INSTRUCCION TECNICA COMPLEMENTARIA MI-IP 03, POR REAL DECRETO 1427/1997, DE 15 DE SEPTIEMBRE (Ref. [BOE-A-1997-22316](#)).
 - o APROBANDO LA INSTRUCCION TECNICA COMPLEMENTARIA MI-IP 04, POR REAL DECRETO 2201/1995, DE 28 DE DICIEMBRE (Ref. [BOE-A-1996-3449](#)).

- CORRECCIÓN de errores EN BOE NUM. 94, DE 20 DE ABRIL DE 1995 (Ref. [BOE-A-1995-9681](#)).

Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, (BOE 14.12.1993), por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.

- SE MODIFICA los arts. 10, 11, 13, 14, 16 a 18, SE SUSTITUYE lo indicado, SE REENUMERA la disposición adicional única como 1 y SE AÑADEN las disposiciones adicionales 2 a 5, por REAL DECRETO 560/2010, de 7 de mayo (Ref. [BOE-A-2010-8190](#)).
- SE DICTA DE CONFORMIDAD determinando las condiciones de los extintores de incendios instalados en vehículos: ORDEN de 27 de julio de 1999 (Ref.1999/16887) (Ref. [BOE-A-1999-16887](#)).
- SE MODIFICA LOS APARTADOS 5, 7 Y 9 Y EL ANEXO DEL APENDICE 1 Y LAS TABLAS I Y II DEL APENDICE 2, POR ORDEN DE 16 DE ABRIL DE 1998 (Ref. [BOE-A-1998-9961](#)).
- CORRECCIÓN de errores EN BOE NUM. 109, DE 7 DE MAYO DE 1994 (Ref. [BOE-A-1994-10418](#)).

Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, (BOE 20.11.1989) por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.

- Legislación Unión Europea

REGLAMENTO (UE) Nº 757/2010 de la Comisión, de 24 de agosto de 2010, (DOUE 25.08.2010), por el que se modifica el Reglamento (CE) Nº 850/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre contaminantes orgánicos persistentes, con respecto a los anexos I y III.

REGLAMENTO (UE) Nº 756/2010 de la Comisión, 24 de agosto de 2010, (DOUE 25.08.2010), por el que se modifica el Reglamento (CE) Nº 850/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre contaminantes orgánicos persistentes, en lo que se refiere a los anexos IV y V.

REGLAMENTO (UE) Nº 453/2010 de la Comisión, de 20 de mayo de 2010, (DOUE 31.05.2010), por el que se modifica el Reglamento (CE) Nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH)

REGLAMENTO (CE) Nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, (DOUE 31.12.2008), sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) Nº 1907/2006.

DIRECTIVA 2009/2/CE de la Comisión, de 15 de enero de 2009, (DOUE 12.01.2009), por la que se adapta al progreso técnico, por trigésimoprimer vez, la Directiva 67/548/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas

REGLAMENTO (CE) Nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, (DOUE 29.05.2007), de 18 de diciembre de 2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) Nº 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) Nº 1488/94 de la Comisión, así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión.

Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de diciembre de 2006, (DOUE 27.12.2006) relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro

Directiva 2006/122/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de diciembre de 2006 por la que se modifica por trigésima vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (sulfonatos de perfluorooctano).

REGLAMENTO (CE) Nº 850/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, (DOUE 29.06.2004) sobre contaminantes orgánicos persistentes y por el que se modifica la Directiva 79/117/CEE.

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, (DOUE 22.12.2000), de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Directiva 96/49/CE del Consejo de 23 de julio de 1996, (DOUE 17.09.1996), sobre la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros relativas al transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril.

Derogada por:

Directiva 2008/68/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de septiembre de 2008, (DOUE 30.09.2008), sobre el transporte terrestre de mercancías peligrosas

Directiva 79/117/CE del Consejo, de 21 de diciembre de 1978, (D.O. 08.02.1979), relativa a la prohibición de salida al mercado y de utilización de productos fitosanitarios que contengan determinadas sustancias activas.

Directiva 79/769/CEE del Consejo, de 27 de julio de 1976, (DOUE 27.09.1976), relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estado Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.

Directiva 67/548/CEE del Consejo, de 27 de junio de 1967, (DOUE 16.08.1967), relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.

Modificada por:

Directiva 2001/59/CE de la Comisión, de 6 de agosto de 2001, (DOUE 21.08.2001), por la que se adapta, por vigésima octava vez, al progreso técnico la Directiva 67/548/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.

Directiva 1999/33/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 10 de mayo de 1999, (DOUE 30.07.1999), por la que se modifica la Directiva 67/548/CEE del Consejo por lo que se refiere al etiquetado de ciertas sustancias peligrosas en Austria y Suecia.

Otra normativa:

ADR 2009. Acuerdo europeo sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR) (BOE 29.05.2009).

Publicaciones recomendadas del INSHT:

NTP 680: Extinción de Incendios Plan de Revisión de Equipos. E. Turmo Sierra.

NTP 630: Riesgo de Incendio y Explosión en Atmósferas Sobreoxigenadas. F. Alonso Valle.

NTP 599: Evaluación de Riesgo de Incendios: Criterios. G. Duarte Viejo, T. Piqué Ardanuy.

NTP 536: Extintores de incendio portátiles: utilización. A. Pérez Guerrero.

NTP 420: Instalaciones de abastecimiento de agua contra incendios. A. Pérez Guerrero.

NTP 45: Plan de Emergencia contra Incendios. J.L. Villanueva Muñoz.

NTP 40: Detección de Incendios. J.L. Villanueva Muñoz.

Bibliografía:

- "Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales". J. M. Cortés Días, Editorial Tebar, Madrid, 1996.

Para cualquier observación o sugerencia en relación con este documento puede dirigirse al:



Centro Nacional de Referencia sobre
Contaminantes Orgánicos Persistentes

Parque Científico Tecnológico
C/ Punto Net, 4 – 1ª Planta (Edificio ZYE)
UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
28871 Alcalá de Henares (Madrid)
Telfs: +34.91.877.2470 / +34.91.830.5789
Fax: +34.91.830.5800

Web: www.cnrcop.es

E-mail: info@cnrcop.es