

**Manual  
de  
Seguridad  
contra  
Incendios**



fundación  
**MAPFRE**

FUNDACION **MAPFRE** ESTUDIOS

Todos los derechos reservados. Esta publicación, o cualquiera de sus partes, no podrá ser reproducida o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, mediante fotocopias o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del editor.

© 1997, Fundación MAPFRE Estudios  
 © 1997, Editorial MAPFRE, S. A.

Editorial MAPFRE, S. A.  
 Paseo de Recoletos, 25. 28004 MADRID

I.S.B.N.: 84-7100-872-6  
 Depósito Legal: M. 36.001-1997

Compuesto en Ferrández Ciudad, S. L.  
 Impreso en los talleres de Editorial MAPFRE, S. A.  
 Encuadernación Ramos, S. A.

*Impreso en España - Printed in Spain*

## ÍNDICE

<i>Prólogo</i> .....	XVII
<b>1. Introducción a la seguridad contra incendios</b> .....	1
El fuego y los incendios en la historia del hombre .....	1
Los riesgos y los accidentes en la sociedad moderna .....	4
Pérdidas de vidas humanas .....	4
Pérdidas económicas en empresas .....	6
Problemas causados por los incendios .....	7
Daños humanos .....	10
Daños sociales .....	12
Daños económicos .....	13
Grandes incendios y explosiones con víctimas .....	14
Aspectos analizados en la seguridad contra incendios .....	15
Factores influyentes en la seguridad contra incendios .....	23
Reglamentación .....	23
Órganos oficiales de inspección .....	23
Normativa y documentación técnica .....	23
Formación y mentalización .....	24
Servicios públicos de extinción .....	24
Investigación y tecnología .....	25
V	V

	<i>Pág.</i>
Infraestructura urbanística .....	25
Asociaciones profesionales o corporativas .....	25
Conclusión .....	26
Bibliografía .....	26
<b>2. Esencia del fuego y del incendio .....</b>	<b>29</b>
Combustión .....	29
Fuego .....	32
Combustibles .....	34
Comburente .....	38
Energía de activación .....	38
Reacciones en cadena .....	40
Comportamiento frente al fuego de los materiales .....	40
Clasificación de los fuegos .....	44
Carga térmica y curvas de fuego .....	46
Transmisión de calor .....	50
Productos y manifestaciones de la combustión .....	55
Combustibilidad de sólidos .....	57
Compactos .....	57
Disgregados .....	61
Pulverulentos .....	65
Combustibilidad de líquidos y gases .....	68
Autoinflamación .....	69
Intervalo de inflamabilidad .....	69
Puntos de inflamación .....	70
Mecanismos de extinción .....	72
Enfriamiento .....	73
Retirada de aporte .....	73
Dilución .....	73
Sofocación .....	73
Inertización .....	74
Inhibición .....	74
Agentes extintores: sustancias y elementos .....	74
Agentes extintores hídricos .....	77
Gases inertes .....	87
Agentes químicos: sólidos, líquidos y vapores .....	91
Elementos de acción física: mantas, batesfuegos, explosivos y elementos ocasionales .....	99
Bibliografía .....	103
Normas .....	104
<b>3. Fundamentos generales de la seguridad contra incendios .....</b>	<b>105</b>
La seguridad integral en la empresa .....	106

	<i>Pág.</i>
Justificación de la seguridad integral .....	107
Universo de sujetos .....	107
Universo de riesgos. Área de riesgo .....	108
Universo de efectos .....	109
Cuantificable .....	109
Responsable .....	110
Continuada y permanente .....	110
Integrada .....	112
Participativa .....	112
Dinámica y sinérgica .....	113
Plural e interdisciplinar .....	113
Dotada de recursos suficientes .....	113
Supervisada y controlada .....	114
Actual .....	114
Definición de la seguridad integral .....	115
Rentabilidad de la seguridad integral .....	115
Principios de acción de las técnicas de seguridad contra incendios .....	116
Determinación de las medidas de seguridad contra incendios .....	117
Convergencia con acciones industriales .....	117
Clasificación de las técnicas de seguridad contra incendios .....	120
Aplicación de la seguridad contra incendios en el diseño .....	120
Entorno y distribución general .....	120
Medidas constructivas .....	121
Distribución de espacios e instalaciones .....	121
Sistemas de protección contra incendios .....	121
Actuaciones preventivas puras .....	121
Dirección y organización .....	123
Formación y comunicación .....	123
Inspección y control .....	123
Orden y limpieza .....	124
Actuaciones de respuesta al incendio .....	124
Descubrimiento y comunicación de incendios: alarma y aviso .....	124
Eliminación de las causas y neutralización de los efectos .....	124
Investigación de accidentes .....	125
Actuaciones reparadoras y rehabilitadoras .....	125
Salvamento y saneamiento .....	125
Sustitución eventual de elementos o funciones afectadas. Planes de contingencia .....	125
Registro y estadística de incendios .....	125
Compensaciones económicas. Seguros y otros .....	126
Reparación y reconstrucción de medios materiales .....	126
Conclusión .....	127
Bibliografía .....	127

	<i>Pág.</i>
<b>4. Medidas de protección constructivas</b> .....	<b>129</b>
Accesibilidad .....	129
Reacción al fuego .....	130
Criterios de reacción al fuego .....	130
Ensayos de fuego .....	131
Ignifugación .....	133
Resistencia al fuego .....	134
Criterios de resistencia al fuego .....	135
Ensayos de resistencia al fuego .....	135
Mejora de la resistencia al fuego de las estructuras .....	140
Compartimentación .....	146
Compartimentación de edificios no industriales .....	146
Compartimentación de edificios industriales .....	148
Evacuación: criterios generales de diseño .....	152
Análisis de las condiciones de evacuación .....	152
Parámetros básicos relacionados con la evacuación .....	158
Diseño de los medios de evacuación .....	166
Evacuación: requisitos constructivos y señalización .....	173
Protección de vías de evacuación .....	173
Requisitos funcionales de los medios de evacuación .....	176
Señalización de evacuación .....	179
Movimiento y control de humos .....	182
Control de humos .....	184
Bibliografía .....	189
Bibliografía .....	194
<b>5. Sistemas e instalaciones de protección</b> .....	<b>195</b>
Sistemas de detección y alarma de incendios .....	195
Concepto .....	195
Detectores de incendio. Tipos .....	204
Otros componentes .....	216
Concepción de los sistemas. Centrales .....	218
Instalación de los sistemas .....	225
Medios manuales de extinción .....	234
Extintores .....	234
Abastecimientos de agua contra incendios .....	259
Sistemas de mangueras: hidrantes .....	311
Sistemas de mangueras: hidrantes interiores. Columna seca .....	330
Características hidráulicas de mangueras y lanzas .....	334
Sistemas fijos de extinción .....	342
Rociadores automáticos .....	342
Sistemas de agua pulverizada .....	362
Sistemas de niebla de agua .....	376

	<i>Pág.</i>
Sistemas de espuma .....	379
Bibliografía .....	434
Normas .....	435
Documentos de trabajo .....	436
<b>6. Inspección y evaluación de riesgos de incendio</b> .....	<b>437</b>
Objetivos y finalidad de la inspección de riesgos .....	437
Esencia de la inspección de riesgos .....	438
Aspectos que hay que inspeccionar .....	438
Desarrollo de la inspección .....	440
Frecuencia .....	442
Oportunidad de la inspección .....	443
Duración .....	443
Actuaciones derivadas de la inspección .....	444
Elaboración de la información técnica .....	444
Toma de decisión de actuaciones .....	444
Medios para la realización de inspecciones .....	444
Personal .....	445
Equipamiento de trabajo .....	445
Listas de chequeo .....	446
Fuentes de documentación .....	447
Programas de inspección .....	448
Apoyos informáticos .....	448
Métodos de evaluación de riesgos de incendio .....	449
Medida del riesgo .....	450
Metodología general de estudio del riesgo .....	450
Técnicas de identificación de riesgos de incendio .....	451
Métodos de evaluación cualitativa de riesgos .....	451
Métodos de evaluación cuantitativa de riesgos .....	451
Método simplificado de evaluación del riesgo de incendio: MESERI .....	454
Modelo de informe de inspección de riesgos .....	458
ANEXO. Modelo de informe de inspección de riesgos .....	458
Bibliografía .....	471
<b>7. Explosiones por deflagración</b> .....	<b>473</b>
Conceptos generales .....	473
Esencia de las explosiones .....	473
Tipos de explosiones .....	483
Tipos de explosiones según su origen .....	483
Características y estado de la sustancia involucrada .....	484
Explosiones físicas .....	485
Reacciones químicas que dan lugar a explosiones .....	488
Explosiones por deflagración .....	499

	<i>Pág.</i>
Deflagración de gases y vapores .....	499
Deflagraciones de polvos en suspensión .....	511
Deflagraciones de líquidos nebulizados .....	523
Deflagraciones de mezclas híbridas de polvo y gas .....	524
Deflagraciones en fases condensadas .....	526
Técnicas de protección contra explosiones .....	530
Técnicas de prevención de explosiones .....	530
Técnicas de neutralización de explosiones .....	531
Supresión de explosiones .....	532
Medidas preventivas .....	532
Generación de atmósferas explosivas .....	533
Inertización .....	535
Fuentes de ignición .....	536
Técnicas de neutralización de explosiones .....	539
Aislamiento .....	540
Contención .....	540
Desahogo .....	541
Supresión de explosiones .....	570
Antecedentes .....	571
Descripción .....	572
Funcionamiento .....	573
Aplicaciones .....	574
Limitaciones .....	575
Componentes del sistema .....	577
Eficacia de la supresión .....	584
Diseño del sistema .....	585
Uso y mantenimiento .....	592
Bibliografía .....	594
<b>8. Seguridad contra incendios en edificios</b> .....	<b>595</b>
Viviendas .....	603
Riesgo de incendio en edificios de viviendas .....	603
Construcción .....	604
Evacuación .....	607
Sistemas de protección contra incendios .....	608
Oficinas .....	611
Riesgo de incendio en oficinas .....	612
Construcción .....	613
Evacuación .....	614
Sistemas de protección contra incendios .....	616
Hoteles y residencias .....	620
Riesgo de incendio en los hoteles y residencias .....	620

Construcción .....	620
Evacuación .....	624
Sistemas de protección contra incendios .....	626
Centros sanitarios .....	630
Clasificación de los centros sanitarios .....	630
Recintos específicos .....	632
Construcción .....	634
Evacuación .....	636
Sistemas de protección contra incendios .....	639
Centros docentes .....	643
Construcción .....	643
Evacuación .....	645
Sistemas de protección contra incendios y seguridad .....	645
Centros comerciales .....	649
Tipología de edificios .....	650
Compartimentación en sectores de incendio .....	653
Ocupación .....	654
Medios de protección .....	657
Bibliografía .....	661
<b>9. Seguridad contra incendios en establecimientos industriales</b> .....	<b>663</b>
Introducción .....	663
Características específicas de los establecimientos industriales .....	664
Seguridad de las personas .....	665
Edificación .....	665
Procesos productivos .....	668
Instalaciones y servicios generales en la industria .....	669
Electricidad: peligrosidad y su tratamiento .....	669
Electricidad: transporte y transformación .....	707
Corte y soldadura .....	722
Talleres de mantenimiento .....	741
Salas de mezcla .....	765
Equipos de proceso de datos .....	772
Producción de calor: calderas .....	783
Sistemas de acondicionamiento de aire .....	798
Sistemas de transporte: cintas transportadoras .....	810
Talleres de reparación de vehículos .....	819
Almacenes industriales .....	839
General .....	839
Clasificación de las mercancías .....	854
Almacenamiento de sólidos combustibles disgregados en estado no pulverulento .....	862

	<i>Pág.</i>
Almacenamiento de gases.....	892
Almacenamientos frigoríficos.....	905
Almacenamientos de papel y cartón.....	921
Almacenamiento de palets.....	948
Almacenamiento de plásticos.....	954
Almacenes de textiles: materias primas y confección.....	972
Almacenamiento de productos alimenticios.....	982
Almacenamiento de neumáticos.....	988
Bibliografía.....	1003
<b>10. Accidentes mayores.....</b>	<b>1005</b>
Introducción.....	1005
Concepto de accidente mayor.....	1006
Legislación.....	1009
Tipos de accidentes mayores.....	1016
Incendios.....	1016
Explosiones.....	1031
Escapes y fugas de sustancias peligrosas.....	1047
Modelos de cálculo.....	1048
Gestión de accidentes mayores en la industria.....	1057
Técnicas de prevención.....	1057
Técnicas de repuesta.....	1058
Técnicas de rehabilitación.....	1058
Planificación de emergencias.....	1059
Bibliografía.....	1063
<b>11. Incendios forestales.....</b>	<b>1065</b>
Introducción.....	1065
Causas de los incendios forestales.....	1067
Tipos de incendios forestales.....	1069
Aspectos diferenciales de los incendios forestales.....	1071
Prevención.....	1071
Detección.....	1072
Extinción.....	1078
Actuación después del incendio.....	1086
Bibliografía.....	1087
Legislación y reglamentación.....	1087
<b>12. Organización y gestión de la seguridad contra incendios en la empresa.....</b>	<b>1089</b>
Fundamentos de dirección y gestión aplicados a la seguridad contra incendios.....	1089
Seguridad operativa y seguridad asesora.....	1091

	<i>Pág.</i>
Organización y gestión de la seguridad contra incendios.....	1093
Política de seguridad contra incendios.....	1094
Responsabilidades y organigrama jerárquico y funcional.....	1094
Estructura organizativa.....	1095
Medidas correctoras materiales.....	1095
Recursos necesarios.....	1096
Actuaciones preventivas.....	1097
Administración.....	1097
Inspección y control.....	1098
Formación y comunicación.....	1098
Servicio de vigilancia.....	1099
Otros servicios.....	1099
Actuaciones de emergencia.....	1100
Equipos de primera intervención (EPI).....	1100
Equipos de segunda intervención (ESI).....	1101
Equipos de seguridad (ESD).....	1101
Apoyos técnicos.....	1104
Equipos de evacuación.....	1105
Equipos de control.....	1106
Equipos de salvamento.....	1106
Equipos de primeros auxilios.....	1107
Actuaciones de contingencia post siniestro.....	1107
Salvamento y saneamiento.....	1107
Sustitución eventual de elementos o funciones afectadas: Planes de contingencia.....	1108
Comunicación empresarial del accidente.....	1108
Recuperación económica de los seguros y otros.....	1108
Reparación y reconstrucción de instalaciones.....	1108
Otros aspectos de la organización y gestión de la seguridad.....	1109
Mantenimiento preventivo.....	1109
Manual técnico de seguridad contra incendios.....	1110
Permisos de trabajos con riesgo.....	1110
Formación e información actualizada del jefe de seguridad.....	1110
Conclusión.....	1111
Bibliografía.....	1111
<b>13. Planes de autoprotección.....</b>	<b>1113</b>
Evaluación del riesgo.....	1114
Análisis de los medios materiales implicados en el riesgo.....	1114
Vías de evacuación existentes.....	1116
Adecuación necesaria.....	1116
Inventario de riesgos de incendio.....	1116
Evaluación del riesgo.....	1117
Planos.....	1117

	<i>Pág.</i>
Medios de protección .....	1118
Inventario de los medios materiales existentes .....	1118
Adecuación de los medios materiales existentes .....	1121
Medios asistenciales .....	1121
Medios humanos .....	1121
Planos .....	1122
Plan de emergencia .....	1122
Objeto y desarrollo .....	1122
Factores de riesgo. Clasificación de las emergencias .....	1123
Acciones que se deben emprender en cada caso .....	1124
Equipos de autoprotección, su composición y denominación .....	1126
Denominación, misiones y composiciones de los equipos de autoprotección .....	1127
Selección de los componentes de los equipos de autoprotección .....	1132
Cadena de mando .....	1136
Esquemas operacionales para el desarrollo del plan de emergencia (planes de alarma) .....	1136
Implantación .....	1137
Responsabilidad .....	1137
Organización .....	1138
Mantenimiento .....	1138
Simulacro .....	1139
Programa de implantación .....	1141
Programa de mantenimiento .....	1142
Investigación de siniestros .....	1142
Anexos .....	1143
Bibliografía .....	1143
<b>14. Gerencia de riesgos y seguros</b> .....	<b>1145</b>
Los riesgos actuales en la empresa moderna .....	1145
Concepto de riesgo .....	1148
Concepto y proceso general de la gerencia de riesgos .....	1149
Identificación de los riesgos y sujetos .....	1150
Evaluación de los efectos .....	1151
Reducción de los riesgos y las pérdidas .....	1151
Financiación de los riesgos y las pérdidas .....	1153
Retención financiera de riesgos y las pérdidas .....	1154
Retención financiera de riesgos-pérdidas .....	1155
Transferencia de riesgos no aseguradora .....	1156
Transferencia financiera aseguradora .....	1156
Legales .....	1158
Seguros disponibles .....	1158
Entidades intervinientes en el servicio asegurador .....	1159

Conclusión .....	<i>Pág.</i>
Bibliografía .....	1160
<b>Anexo 1. Reglamentación y normativa</b> .....	<b>1163</b>
A.1. Legislación sobre protección contra incendios: textos básicos .....	1163
Otras referencias .....	1164
A.2. Legislación sobre incendios forestales .....	1164
A.2.1. Legislación comunitaria .....	1164
A.2.2. Legislación estatal .....	1165
Otras referencias .....	1165
A.3. Legislación sobre accidentes mayores .....	1166
A.3.1. Legislación comunitaria .....	1166
A.3.2. Legislación estatal .....	1166
A.4. Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios (RIPD) .....	1167
A.4.1. Introducción .....	1167
A.4.2. Índice .....	1168
A.4.3. Texto del Real Decreto 1942/1992 .....	1169
A.5. Norma Básica de la Edificación. Condiciones de Protección contra Incendios en los Edificios (NBE-CPI/06) .....	1197
A.5.1. Texto del Real Decreto 2177/1996, de 4 de octubre, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación «NBE-CPI/96: Condiciones de Protección contra Incendios en los Edificios» .....	1197
A.5.2. Índice .....	1200
Normas UNE de protección contra incendios .....	1317
A.7. <i>Data Sheets</i> de Factory Mutual Engineering and Research (febrero 1995) .....	1330
A.8. <i>Codes y standards</i> de la National Fire Protection Association (edición 1996) .....	1345
<b>Anexo 2. Glosario de términos</b> .....	<b>1357</b>

## PRÓLOGO

*La Fundación MAPFRE, cuyo objetivo es la promoción de la seguridad en todas sus formas, emprendió hace años la edición de su colección de manuales básicos para las diferentes áreas de la seguridad, en la que se incluye este Manual de Seguridad contra Incendios.*

*Las acciones en este campo han sido numerosas desde el año 1975, fecha de la creación de la Fundación. Tanto en España como en Iberoamérica se han llevado a cabo multitud de actividades formativas, informativas y de investigación, para las que se pudo contar, además, desde su nacimiento en 1983, con el apoyo del Instituto Tecnológico de Seguridad MAPFRE-ITSEMAP, que recogía entonces la importante experiencia acumulada por MAPFRE en el ámbito de la Seguridad contra Incendios.*

*Lo anterior explica la existencia de otras importantes publicaciones de la Fundación MAPFRE, así como de la Fundación MAPFRE Estudios o de la propia Editorial MAPFRE, en esta área: es el caso del Manual de Protección contra Incendios (traducción de la NFPA), el Manual del Bombero y las Instrucciones Técnicas de Protección contra Incendios, cuya utilidad específica está ampliamente contrastada.*

*Con la edición de este manual, se pretende poner a disposición de los profesionales una publicación completa que recoja los aspectos fundamentales que se deben manejar en la aplicación de la seguridad contra incendios, tomando como referencia un marco técnico y cultural próximo a la situación de España e Iberoamérica.*



*También, se pretende poner a disposición de las instituciones de formación un instrumento útil para profesores y alumnos, que responda a las nuevas demandas de formación para profesionales —como puede ser la de niveles medio y superior en prevención de riesgos laborales— contempladas en el Reglamento de los Servicios de Prevención en España.*

*En el manual, en base a un examen de las consecuencias de los incendios y explosiones ocurridos en España y en otros países iberoamericanos, se aborda el conocimiento del fuego como paso previo para su prevención y se profundiza en el análisis: la evaluación y los principios de las actuaciones contra incendios en la construcción, en los procesos e instalaciones generales, así como a la organización y gestión de la seguridad contra incendios en el marco de la empresa.*

*Se destaca, por último, los contenidos en relación a medidas aplicables a edificaciones urbanas y a las actividades industriales más extendidas.*

*Queremos agradecer el esfuerzo y dedicación de los técnicos del Instituto de Seguridad Integral de la Fundación MAPFRE Estudios, que han asumido la preparación de esta obra, que esperamos sea un instrumento útil para la prevención de los daños personales y materiales derivados de los riesgos de incendios.*

CARLOS ÁLVAREZ JIMÉNEZ,  
Presidente Fundación MAPFRE.

# 1

## Introducción a la seguridad contra incendios

El fenómeno de la combustión constituye un proceso fundamental en la vida de los seres humanos, tanto en lo que comporta de positivo como de negativo. Dejando al margen la combustión fisiológica que se produce en los seres vivos y que les permite desarrollar su actividad, las combustiones abiertas son utilizadas por el hombre en su beneficio —entonces, se las denomina «fuego»—, y cuando se escapan de su control —esto se denomina «incendio»— producen daños múltiples y cuantiosos.

La utilización de las combustiones y, por ello mismo, la presencia de combustibles conlleven, además de las ventajas de su uso controlado, el riesgo de la producción de incendios. La seguridad contra incendios tiene el objetivo principal de evitar la ocurrencia de incendios y, en caso de que éstos lleguen a ocurrir, limitar los daños producidos.

Este objetivo se alcanza incidiendo eficazmente sobre los diversos factores que influyen en su producción y desarrollo. En consecuencia, y para garantizar la eficacia de las actuaciones de seguridad, se hace necesario el conocimiento de los factores y circunstancias que concurren en los incendios.

EL FUEGO Y LOS INCENDIOS EN LA HISTORIA DEL HOMBRE

En la evolución del Universo y del planeta Tierra, la liberación de energía ha jugado y juega un papel fundamental. La energía térmica

producida en las combustiones contribuye de forma destacada, junto con otras energías, a los flujos y equilibrios energéticos que mantienen el estado y condiciones de los componentes de nuestro sistema planetario.

Antes de que el hombre y sus antecedentes se encontraran sobre la Tierra, las teorías evolutivas contemplan etapas de intensas transformaciones físicas y químicas, de las que en los tiempos actuales siguen permanentes algunas tan evidentes como las masas magnéticas de su interior, que a veces son expulsadas por los volcanes. En otro orden, las diferencias de potencial energético en la atmósfera, con mayor o menor frecuencia, producen descargas eléctricas en forma de rayos y relámpagos. Otro proceso natural generador de energía está constituido por la degradación—descomposición, fermentación—de los productos naturales orgánicos.

En los primeros pasos del hombre los fenómenos anteriores y otros, hoy difíciles de imaginar, constituían las fuentes de inicio de combustiones no deseadas, generadoras, básicamente, de incendios de masas vegetales y minerales. Los seres prehistóricos capturaban el fuego de aquellos incendios y lo mantenían como un bien preciado, al que incluso le atribuían poderes mágicos y divinos—la mitología cuenta cómo Prometeo robó el fuego a los dioses—, que les servía para calentarse, alumbrarse y cocinar los alimentos. Más tarde le encontrarían otras utilidades; una de las más importantes, hasta nuestros tiempos, es la de transformar los metales; otras son, por ejemplo, las destinadas a despejar espacios arbores para dedicarlos a cultivos agrícolas y a construir sus viviendas.

Por azar, o por un incipiente espíritu investigador, el hombre encuentra mecanismos primarios para poder generar el fuego a su voluntad, en el lugar y tiempo deseados. Así, descubre que haciendo chocar ciertas piedras duras o frotando palos de madera consigue hacer brotar las llamas que le permitirán aplicarlas en su beneficio. En ese estado transcurrieron muchos siglos hasta que el hombre perfecciona esos mecanismos rudimentarios de generación voluntaria de la combustión y de su aplicación más efectiva.

Con motivo del desarrollo industrial, en el siglo XIX se produce un avance sustancial que mejoran los medios de producción y las condiciones de vida en general. La necesaria contribución de los aportes energéticos de las combustiones a los procesos industriales hace que se busquen nuevos combustibles, nuevas formas de almacenarlos, transportarlos y quemarlos con el fin de obtener el máximo rendimiento. Posteriormente, los principios de la industrialización se trasladan a otros ámbitos de la so-

riedad y el aprovechamiento de las combustiones llega a las zonas residenciales y agrícolas; el uso normalizado de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos se generaliza.

En la actualidad y con el nivel tecnológico existente, el uso de las combustiones se erige en un elemento indispensable para numerosas actividades relacionadas con el transporte y las comunicaciones; la manipulación de minerales y metales, la preparación de alimentos, el acondicionamiento climático de espacios, entre otras muchas aplicaciones.

Sin embargo, la generalización del uso de las combustiones, la magnitud de los almacenamientos y la peligrosidad de algunos combustibles, comporta un mayor riesgo en el número y la gravedad de los incendios, que se confirma con los casos que, lamentablemente, sufre la sociedad en sus distintos componentes y estructuras.

Si bien las combustiones—entendido el fuego como algo beneficioso—siguen siendo elementos indispensables en la vida actual, en su manifestación dañina las mismas condiciones de desarrollo favorecen el que se inicien incendios y que los daños puedan llegar a ser catastróficos e humana, social y económicamente. La complejidad de los edificios e instalaciones actuales, con indudables ventajas, conlleva factores que pueden provocar accidentes extremadamente graves; las grandes concentraciones humanas y de bienes, en condiciones de riesgo desfavorables, son factores determinantes en la consideración de los niveles de seguridad contra incendios requeridos en consonancia con la importancia de sus riesgos.

Las combustiones extremadamente rápidas que dan lugar a las explosiones tienen una capacidad destructiva extrema, que, por ello, obliga a una mayor atención en aquellas situaciones que implican este riesgo. Tradicionalmente, la minería ha sufrido sangrientamente este tipo de accidentes y, a partir del desarrollo industrial, se ha extendido a otros sectores industriales y de la vida cotidiana que han mostrado suficientemente su peligrosidad en numerosos casos de extrema gravedad.

Con independencia del principal daño causado por los incendios y las explosiones: muertes y lesiones personales, se pone de relieve su repercusión sobre el medio ambiente, escaso en algunas regiones, y en bienes históricos y artísticos de imposible reposición. No deben olvidarse las pérdidas de las propiedades personales, de los activos públicos y de las empresas y la consecuencia final de interrupción de actividades y servicios, y la pérdida de puestos de trabajo.

## LOS RIESGOS Y LOS ACCIDENTES DE LA SOCIEDAD MODERNA

En la valoración de los riesgos de incendio y la seguridad que les debe corresponder, se ha de tener en cuenta la presencia y repercusión de otros riesgos sobre la sociedad y, además, la consideración de la interrelación que se da entre los riesgos y las medidas de seguridad; en este caso de los riesgos de incendio con los otros tipos de riesgo.

Las coordenadas que definen el marco social —política, cultura, economía, comercio, tecnología— se encuentran en permanente renovación y cabe esperar que sea más acelerada en el futuro, añadiendo componentes de incertidumbre a esta misma característica que define la esencia del riesgo. En ese marco de análisis se distinguen el grupo de riesgos tradicionales; que normalmente se manifiesta con unos efectos conocidos, pero que, dado el carácter cambiante, puede derivar en daños inesperados; y el grupo de nuevos riesgos, que por su esencia y efectos sobre los aspectos sociales, más variables, presenta una gran dificultad en su identificación, valoración y tratamiento.

El catálogo de riesgos accidentales a los que está expuesta la sociedad moderna es muy amplio y debe ser analizado en función de los distintos aspectos que inciden en ellos, como son, entre otros, las causas originales del riesgo, el fenómeno o agente dañino, los elementos sobre los que recae el daño y la actividad o lugar en que se produce, que son tratados en otro capítulo del MANUAL. En esta primera aproximación a la seguridad contra incendios resulta oportuno tener una visión comparativa con otros accidentes, que permita una valoración relativa del conjunto y de la atención que se debe prestar a cada uno de ellos por separado.

A continuación, se facilitan algunos resultados estadísticos de los daños producidos por los accidentes más importantes, incluidos los incendios, en diversos países.

*Pérdidas de vidas humanas*

Las muertes ocasionadas por los accidentes más destacados están reflejadas en la tabla 1, que incluye el total de víctimas y el coeficiente de mortalidad para cada uno de los accidentes.

En la comparación del problema humano que representan los incendios frente a otros accidentes es esclarecedor el dato de los coeficientes de mortalidad, que, aproximadamente, son 10-20 veces superiores en el

**Tabla 1**  
**MUERTES Y COEFICIENTES DE MORTALIDAD POR ACCIDENTES 1993**

Accidente	País								Unión Europea (estimado)		Mundial (estimado)	
	España		Francia		Alemania		Estados Unidos		A	B	A	B
	A	B	A	B	A	B	A	B				
Accidentes de trabajo (sin <i>in itinere</i> )	1.225	80	855	34	2.840	71	2.838	22	18.000	64	200.000	100
Accidentes de tráfico	6.378	163	8.761	154	9.626	120	43.523	168	34.000	148	1.000.000	200
Accidentes de hogar (estimados)	3.000	77	—	—	—	—	—	—	36.000	120	—	—
Incendios	269 (1992)	7	516 (1992)	9	701	10	4.635	18	3.200	11	—	—
Accidentes de aviación	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	383 (1995)	—

A Número total de muertes.

B Coeficiente de mortalidad por millón de personas expuestas.

caso de los de accidentes de tráfico, 10 veces en los del hogar y 5-10 veces en los del trabajo con respecto a los de incendios: Esta escala de valores orienta la atención que los organismos públicos y entidades y ciudadanos afectados deben prestar a cada uno de los problemas.

#### *Pérdidas económicas en empresas*

En otro punto de este capítulo se aborda la repercusión económica de los incendios. No obstante, para tener una perspectiva de lo que representan las pérdidas por incendios y explosiones, en la tabla 2 aparecen reflejados los siniestros de distinto origen producidos en un colectivo de empresas a nivel internacional con daños exclusivamente materiales.

**Tabla 2**  
**PÉRDIDAS MATERIALES EN SINIESTROS EN EMPRESAS**

Accidente	Número siniestros/año	Valor promedio (M)	Orden por valor promedio
Incendio	1.154	33,6	4.º
Viento	762	11,3	9.º
Daños eléctricos	489	19,7	7.º
Robo	445	6	15.º
Rotura de máquina	411	31,2	6.º
Fuga rociadores	365	6,8	13.º
Escape de líquidos	362	7,9	12.º
Daños por agua	292	8	11.º
Rayo	287	3,5	17.º
Daños calderas	280	33,5	5.º
Interrupción servicio	218	9,9	10.º
Comoción civil	116	5,7	16.º
Explosión	115	77,3	1.º
Colapso	100	43,4	3.º
Terremoto	86	6,3	14.º
Aguas superficiales	66	16,3	8.º
Inundación	45	47,8	2.º

Fuente: Factory Mutual, 1993.

El análisis de la información recogida permite extraer la conclusión de que, en el 21 % de los casos, los accidentes más frecuentes han sido incendios, por tan sólo el 1 % de las explosiones, que resulta ser uno de los menos frecuentes. Sin embargo la intensidad promedio está encabezada por las explosiones, seguidas de las inundaciones, los colapsos de estructuras e instalaciones y los incendios que ocupan el cuarto lugar.

#### PROBLEMAS CAUSADOS POR LOS INCENDIOS

La atención prestada a la seguridad contra incendios por la sociedad actual ha evolucionado paralelamente, aunque con un notable retraso, al progreso tecnológico. En los últimos años, los avances científicos han permitido un acelerado desarrollo tecnológico que lleva aparejados nuevos y más graves riesgos para las personas, los bienes materiales y los valores morales y funcionales.

El número de incendios convencionales que se producen en edificios urbanos e industrias de tecnología media y básica mantiene una evolución paralela al crecimiento cuantitativo de estos sectores. Asimismo, los daños ocasionados presentan una evolución similar. Sin embargo, la situación en actividades industriales de tecnología punta y en determinadas instalaciones de gran concurrencia pública, profusamente desarrolladas en los últimos tiempos, ha generado altos potenciales de riesgo, que, desgraciadamente, se han confirmado en numerosos casos con una acusada gravedad.

Junto a esta situación, general, surgen siniestros ocurridos en condiciones supuestamente inesperadas, con un balance desmesurado de víctimas y pérdidas económicas. Con posterioridad a estos incendios y, en algunos casos, explosiones, las investigaciones realizadas han concluido en la posibilidad de prever tales daños mediante un correcto análisis de los riesgos.

Algunos casos recientes ilustran esta amenaza de los supuestos sucesos «inesperados», con un elevadísimo coste humano y económico, y avisan de la existencia de situaciones similares, que, en cualquier momento, pueden materializarse en una catástrofe.

— Explosiones de gas en San Juanico (México), 1984: una planta de almacenamiento de GLP (gases licuados del petróleo), en torno a la que se habían ido construyendo viviendas ilegales hasta 120 me-

- tros de los límites de la planta, sufre una serie de explosiones, algunas en forma de BLEVE, que causan la muerte de más de 500 personas. Los efectos de las explosiones se extienden hasta 800 metros de la planta de gas.
- Deflagración en un oleoducto en Cubatão (Brasil), 1985: después de la instalación de un oleoducto, se construyeron cerca de él infraestructuras hechas con materiales combustibles. Un escape de gasolinera: los recipientes con gasolinera cargados dejados en las viviendas por los habitantes y el reguero dejado en el suelo se inflaman, produciendo una fuerte deflagración. Resultado: cerca de 600 muertos.
- Incendio en un estadio de fútbol, Bradford City (Gran Bretaña), 1985: en el transcurso de un encuentro se declara un incendio en los graderíos de madera, ante el que los espectadores no reaccionan con rapidez. Las condiciones desfavorables de la construcción y de la zonificación de espacios favorecen una súbita extensión del incendio y el fallecimiento de 56 personas.
- Incendio en una refinería en Canadá, 1985: un incendio descontrolado consume durante varios días distintas factorías intercomunicadas de un complejo petroquímico. Las pérdidas directas ascienden a 60.000 millones de pesetas (400 millones de dólares USA), lo que equivale a la estimación del total de pérdidas por incendio en ese mismo año en España.
- Incendio en una industria química, Basilea (Suiza), 1986: el agua utilizada en la extinción del incendio de un almacén de productos químicos arrastra los derrames de estos productos, que, sin ningún sistema de recogida y contención particular, se vierten al río Rin. La contaminación aniquila la fauna e impide tomar el agua para consumo y riego agrícola durante varias semanas en los países que atraviesa el Rin hasta su desembocadura en el mar.
- Incendio forestal en el norte de China, 1987: a lo largo de varias semanas se extiende devastadoramente un incendio forestal en el norte de China. Un saldo de 200 muertes producidas durante el incendio presupone unas actuaciones erróneas en el aviso del incendio, evacuación y seguridad en los trabajos de extinción.
- Deflagración y descarrilamiento ferroviario en Ufa (URSS), 1989: el escape de gas en el tendido de un gasoducto, agravado por el negligente comportamiento del personal de servicio en la estación de control, provoca una nube de gas que alcanza una línea ferroviaria a 1 500 metros de distancia, deflagrando en el momento justo en

- que se cruzaban dos trenes; se produjo el fallecimiento de cerca de 500 personas.
  - Explosiones e incendios en un complejo químico, Phillips, (Estados Unidos), 1989: una sucesión de explosiones e incendios arrasan tres plantas químicas interconectadas por conducciones de productos y originan 22 muertes y pérdidas en daños directos por valor de 147.000 millones de pesetas (1.120 millones de dólares USA), cifra récord de cúmulo en un siniestro de incendio.
  - Explosiones en el alcantarillado de Guadalajara (México), 1992: vertidos incontrolados de residuos industriales al sistema de alcantarillado público de la ciudad de Guadalajara provocan una explosión en cadena que afecta a cerca de 8 kilómetros de calles y causan el fallecimiento de 236 personas.
  - Incendio en una fábrica de juguetes en Bangkok (Tailandia), 1993: las malas condiciones de seguridad de una fábrica de juguetes en Bangkok, en la que trabajaban apiñadas miles de personas, desembocan en la muerte de 230 ocupantes al ocurrir un incendio.
  - Incendio forestal en Sidney (Australia), 1994: desfavorables condiciones climatológicas de ambiente seco, altas temperaturas y vientos fuertes propician la producción de un incendio forestal, que dura 16 días y destruye 600.000 hectáreas de vegetación, hasta que se extingue de forma natural.
  - Incendio en una escuela de Dabwali (India), 1995: durante la celebración de una fiesta en la zona deportiva de una escuela secundaria en Dabwali (India) la rápida inflamación del decorado provoca la muerte de más de 400 personas, la mayoría de ellas niños.
  - Explosiones en un polvorín en Kabul (Afganistán), 1996: el inicio de un incendio y las explosiones y proyecciones de proyectiles y armamentos de un polvorín militar afectan a zonas vecinas pobladas ocasionando el fallecimiento de 65 personas.
  - Incendio en la discoteca Ozone de Manila (Filipinas), 1996: la explosiva carga térmica e inflamabilidad del acabado y mobiliario de la discoteca Ozone de Manila, junto con las deficiencias de las vías de evacuación y la superación del aforo permitido, provocan la muerte de 211 personas.
- Al margen de los espectaculares casos citados, los problemas causados por los incendios se extraen del siguiente balance reflejado por las estadísticas.

## Daños humanos

El principal problema causado por los incendios es el que afecta a los seres humanos, que fallecen o sufren heridas de difícil curación y huellas imborrables.

Las cifras de muertes producidas por incendios en diversos países, en los años recientes, se reflejan en la tabla 3 y la evolución en una selección de países en la figura 1.

Un dato que permite comparar el nivel de seguridad frente a incendios de las personas es el coeficiente anual de mortalidad por incendio, que se recoge en la tabla 4, para los países seleccionados en la figura 1 en el último año del que se dispone información. En ella se observa que ciertos países, líderes en materia de seguridad, presentan unos resultados desfavorables, achacables, básicamente, al tipo de construcción, de madera, y decoración con abundantes materiales combustibles.

Otras informaciones estadísticas permiten centrar con más detalle las circunstancias en que se producen estas muertes:

- Alrededor del 80 % de los fallecimientos se producen en viviendas.
- Del 3 al 5 % de las muertes corresponden a trabajadores en centros de trabajo.

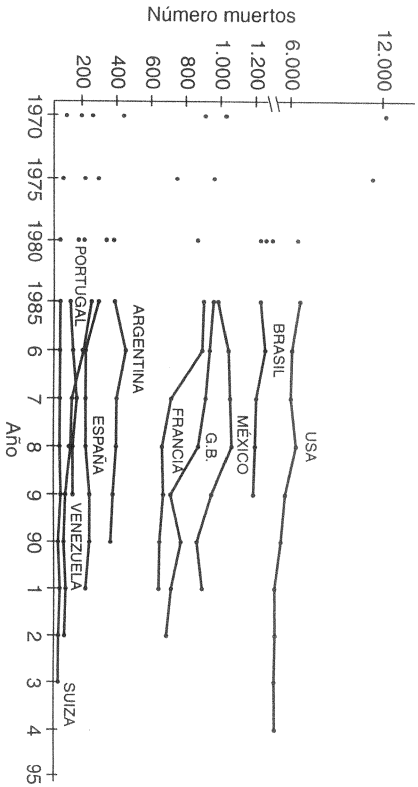


Figura 1. Evolución temporal de muertes por incendio en una selección de países.

Tabla 3  
MUERTES POR INCENDIO EN DIVERSOS PAÍSES

País	Año		Año							Año								
	70	75	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
Alemania				592			495	476	466	512	694*	716	787	834				
Argentina	445	363	360	347	405	395	466	395	466	416	427	413	750					
Australia								151				112	138	144				
Brasil			1.277				1.412	1.292	1.415	1.241	1.245	1.262						
Canadá	634	731	915	765	756	600	650	487	475	433	402	419	337	318				
Chile						275	295	234	235	206	283	326						
Colombia							428	564	415	495	398	342	317					
Ecuador											170	172	171					
España	238	281	351	298	237	359	308	273	206	220	223	260	276	269				
Estados Unidos	12.476	8.764	6.500	6.700	6.550	6.450	5.780	6.185	5.850	5.863	6.215	5.410	5.195	4.465	4.730	4.635		
Francia	904	775	850	900	950	850	886	978	870	690	517	615	579	630				
Gran Bretaña	1.301	956	1.300	1.225	1.150	1.125	886	978	957	929	915	901	716	816	789			
Grecia			117	145		160	143	163	152	139	153	135	143	157				
Italia				500	426	434	346	411	422	402	335	402	360					
Japón				1.384		1.259	1.481	1.191	1.327	1.081		10.922	1.208	1.190	1.287			
México				1.441	1.502	1.382		983	1.052	1.066	1.087	930	884	964				
Portugal	219	214	178	258	220	190	211	217	204	116		96	97	106	84			
Rumanía									115	124	130	628	603	616				
Suecia									115	124	130	106	102					
Suiza	36	35	35	30	35	35	35	25		28	32	31	23	32	44			
Uruguay					28	32	56		30	48	51	55	41	47				
Rusia									8.679	8.603	8.504	9.135	10.083	5.262**				
Venezuela			188	207			150		116	133	130	118						

Fuente: Organización Mundial de la Salud. \* A partir de 1988, incluido, comprende datos de Alemania unificada. \*\* Hasta 1990, incluido, datos de URSS.

**Tabla 4**  
**COEFICIENTES DE MORTALIDAD POR INCENDIO**  
**EN UNA SELECCIÓN DE PAÍSES**

País	Coefficiente de mortalidad del último año disponible. Muertes cada millón de habitantes
Alemania	13,9
Argentina	24,7
Brasil	7,3
Colombia	10,9
Ecuador	14,2
España	6,9
Estados Unidos	18,5
Francia	11,3
Gran Bretaña	14,6
Italia	6,8
Japón	9,2
México	12,1
Portugal	7,1
Suiza	5,7
Uruguay	15,7
Venezuela	7,6

- Cerca del 20 % de las muertes corresponden a menores de 5 años y en torno al 40 % a mayores de 65 años.
- Alrededor del 70 % de las muertes son producidas por intoxicación y asfixia, 20 % por quemaduras y el resto por caídas y otras causas.
- Aproximadamente el 70 % de los fallecimientos tienen lugar entre las 20 y las 5 horas del día.

Estas informaciones y otras adicionales permiten definir las actuaciones preventivas para reducir la inapreciable pérdida de vidas humanas.

#### *Daños sociales*

En la vertiente social, de imposible cuantificación, pero, sin duda, de extrema importancia, destacan los siguientes trastornos producidos por los incendios:

- Heridos afectados por las manifestaciones del incendio, cuyo tratamiento de las quemaduras producidas precisa largos períodos de tiempo y, a menudo, permanecen ciertas lesiones y huellas que condicionan la vida social de los quemados.
- Deterioro ecológico tras los incendios forestales en los que desaparecen considerables cantidades de masa vegetal que perjudican las condiciones de vida y afectan al medio ambiente.
- Destrucción de objetos históricos (arquitectónicos, simbólicos, artísticos) con marcado valor moral o espiritual para un país, cuya pérdida es irreparable.
- Cierre de empresas que han sufrido un gran incendio, tras el cual la reposición de las pérdidas originadas requiere nuevas inversiones, y que, junto con la pérdida de clientes y otros problemas añadidos, hace que dichas empresas desaparezcan en un 10 a 20 % de los casos.
- Desaparición de entidades que, adicionalmente a la pérdida económica, destaca el daño social derivado de la eliminación de un medio generador de puestos de trabajo, productos o servicios.

#### *Daños económicos*

El conocimiento del valor económico de los bienes destruidos en incendios presenta grandes dificultades. Son conocidos, con algunas variaciones según los países, los valores indemnizados por las compañías de seguros. Sin embargo, los daños ocasionados en actividades agrícolas, viviendas, bienes públicos y otros que no suelen estar asegurados, comportan una incógnita que relativiza las siguientes magnitudes mencionadas.

Las estimaciones de pérdidas económicas directas producidas por los incendios en diversos países están contenidas en la tabla 5, en la que corresponde a España, en 1992, el 0,17 % del Producto Interior Bruto. Los daños indirectos, producidos por las consecuencias del incendio, resultan más difíciles de calcular, y pueden encontrarse apreciaciones muy dispares, desde la cuarta parte hasta varias veces el valor de los daños directos.

Trasladadas a valoraciones económicas las distintas pérdidas y deducciones económicas requeridas por los problemas de los incendios, se estima una cantidad equivalente al 1 % del Producto Interior Bruto cada año, que se distribuye como se recoge en la tabla 6.

**Tabla 5**  
**PÉRDIDAS ECONÓMICAS DIRECTAS**  
**EN UNA SELECCIÓN DE PAÍSES**

	PBB
Alemania .....	0,20
Canadá .....	0,23
España .....	0,12
Estados Unidos .....	0,15
Francia .....	0,23
Reino Unido .....	0,19

**Tabla 6**  
**COSTE GLOBAL DE LOS INCENDIOS**

	Porcentaje
<b>Daños y pérdidas:</b>	
Muertes y lesiones .....	8
Económicas directas e indirectas .....	31
<b>Inversiones y gastos:</b>	
Medidas de protección en edificios .....	30
Primas de seguros .....	15
Bomberos .....	15
Formación, mentalización, etc. ....	1
<b>TOTAL .....</b>	<b>100</b>

Cabe destacar como resumen del balance económico que el esfuerzo en aumentar las inversiones y gastos en medidas de protección, que presentan creación de patrimonio y mejoras profesionales, redundará en una disminución de las pérdidas que se pueden esperar, y no hay que olvidar que entre ellas se encuentran vidas humanas.

#### GRANDES INCENDIOS Y EXPLOSIONES CON VÍCTIMAS

La principal e invaluable repercusión de los incendios y explosiones la constituyen los daños humanos, que han de ser evitados en

todos los casos y preferentemente en las situaciones en que se pueden producir muertes en forma masiva. En tal sentido se tratan en esta aproximación a la seguridad contra incendios los grandes incendios y explosiones con más de 20 víctimas mortales ocurridos en el siglo xx.

La muestra de grandes incendios y explosiones analizados, con las consideraciones anteriormente expuestas, está definida en base a las siguientes características:

- Ocurridos entre 1900 y primer trimestre de 1996.
- Saldo igual o superior a 20 víctimas mortales.
- No se incluyeron actos de carácter terrorista ni bélico.
- No se incluyeron accidentes aéreos, aunque la causa médica de las muertes haya sido el incendio o la explosión química.

El grupo de accidentes disponibles para la realización de este estudio comprende un total de 291 casos, 178 procedentes de incendios y 113 de explosiones (químicas) de tipología combustible, que han ocasionado un total de 36.978 muertes, con un promedio de 127,1 víctimas por accidente —108,3 en incendios y 156,6 en explosiones.

#### Aspectos analizados

Los principios filosóficos de la investigación de los accidentes se dirigen a la obtención de enseñanzas que minimicen su futura ocurrencia. En este sentido y con el objetivo de extraer una serie de conclusiones, de orden estructural y técnico, se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

Distribución de los grandes incendios y explosiones por décadas

La evolución social y, en especial, el desarrollo industrial suponen un incremento potencial de los riesgos —en número y gravedad— que si no son debidamente controlados se manifestarán en la ocurrencia de accidentes. Esta circunstancia, junto con la falta de información hasta hace unas décadas, lleva a un incremento progresivo en el número de accidentes y víctimas manifestado de forma regular en las cuatro últimas décadas, como puede observarse en la tabla 7.



**Tabla 7**  
**DISTRIBUCIÓN DE LOS GRANDES INCENDIOS**  
**Y EXPLOSIONES POR DÉCADAS**

Década	Incendios			Explosiones			Total incendios y explosiones		
	Número	Víctimas	Promedio víctimas por incendio	Número	Víctimas	Promedio víctimas por explosión	Número	Víctimas	Promedio víctimas
1900-09	8	2.678	334,7	2	420	210,0	10	3.098	309,8
1910-19	2	689	344,5	8	2.973	371,6	10	3.662	366,2
1920-29	4	770	192,5	—	—	—	4	770	192,5
1930-39	3	749	249,7	3	395	131,7	6	1.144	190,6
1940-49	7	1.261	180,1	10	1.923	192,3	17	3.184	187,3
1950-59	6	562	93,7	3	1.644	548,0	9	2.206	245,3
1960-69	10	1.208	120,8	3	625	208,3	13	1.833	141,0
1970-79	32	2.904	90,7	15	1.298	86,5	47	4.202	89,4
1980-89	52	4.146	79,7	27	4.782	177,1	79	8.928	113,0
1990-96*	54	4.316	79,7	42	3.635	86,5	96	7.951	82,8
1900-96	178	19.283	108,3	113	17.695	156,6	291	36.978	127,1

\* Esta década comprende desde 1990 hasta el primer trimestre de 1996.

Manual de seguridad contra incendios

**Tabla 8**  
**ACTIVIDADES AFECTADAS POR LOS GRANDES INCENDIOS**  
**Y EXPLOSIONES**

Actividad	Número incendios	% sobre total	Número explosiones	% sobre total	Número total	% sobre total
URBANA	(118)	(66,2)	(11)	(9,7)	(129)	(44,3)
Viviendas	8	4,5	8	7,1	16	5,4
Hospitales	17	9,5	—	—	17	5,8
Escuelas	7	3,9	2	1,8	9	3,1
Hoteles	34	19,2	—	—	34	11,8
Recreo	33	18,5	—	—	33	11,3
Comercios	9	5,0	1	0,9	10	3,5
Oficinas	2	1,2	—	—	2	0,7
Prisiones	3	1,7	—	—	3	1,0
Resto	5	2,8	—	—	5	1,7
RURAL-FORESTAL	(5)	(2,8)	(—)	(—)	(5)	(1,7)
Rural	5	2,8	—	—	5	1,7
TRANSPORTE	(16)	(9,0)	(14)	(12,4)	(30)	(10,3)
Naval	9	5,0	7	6,2	16	5,5
Carretera	3	1,7	1	0,9	4	1,4
Ferrocarril	4	2,3	5	4,4	9	3,1
Aéreo	—	—	1	0,9	1	0,3
INDUSTRIAL	(39)	(22,0)	(88)	(77,9)	(127)	(43,6)
Minería	10	5,6	41	36,3	51	17,6
Química	8	4,5	20	17,6	28	9,6
Militar	1	0,6	13	11,5	14	4,8
Resto	20	11,2	14	12,4	34	11,7
TOTAL	178	100	113	100	291	100

Introducción a la seguridad contra incendios

## Actividades afectadas

En la tabla 8 se ponen de relieve las actividades en que han tenido lugar los grandes incendios y explosiones. Destaca la mayor concentración de los incendios, 66,2 %, en actividades ciudadanas-urbanas y, en cuanto a las explosiones más frecuentes, 77,9 %, lógicamente, en actividades industriales.

En el grupo de los grandes incendios y dentro de las actividades urbanas, resaltan como actividades de mayor riesgo la hotelería, 19,2 % del total de incendios, y la recreativa, 18,5 %, en especial discotecas.

La observación del bloque de las grandes explosiones, resalta trágicamente el 36,3 % de los casos ocurridos en la minería, seguidos del 17,6 % de la industria química.

## Países en los que han ocurrido

El diferente desarrollo experimentado por los países no cabe duda de que afecta sustancialmente al acaecimiento de catástrofes de esta naturaleza. Así, se observa que la práctica totalidad de los casos ocurridos hasta la mitad del siglo se han dado en los países de vanguardia de la industrialización y, a partir de esos años, se han generalizado en número y gravedad en el resto de los países en vías de desarrollo. La tabla 9 refleja el reparto de los accidentes en los distintos países.

Con respecto a España se registran seis grandes incendios y tres explosiones, que se relacionan en la tabla 10. Es oportuno citar en este punto las dos catástrofes de aviones que colisionaron en tierra, con resultado de numerosas muertes por incendio, 525 y 240, que no se recogen en este análisis por los criterios estadísticos que se ha indicado anteriormente.

Con las consideraciones oportunas de la representatividad poblacional, desarrollo y disponibilidad de información, resulta expresivo el dato de que el 41 % de estos accidentes —46,6 % de incendios y 32,7 % de explosiones— se han producido en 14 países industrializados del total de los 52 países consignados.

## Grandes accidentes en centros de trabajo

Del total de grandes incendios y explosiones, la tabla 11 resume aquellos que se han producido afectando principalmente a los trabaja-

Tabla 9  
PAÍSES DE OCURRENCIA

País	Incendio		Explosiones		Total incendios y explosiones	
	Número	Víctimas	Número	Víctimas	Número	Víctimas
Estados Unidos	44	6.313	20	2.929	64	9.242
China	12	1.315	15	487	27	1.802
India	13	895	6	1.036	19	1.931
Unión Soviética <sup>1</sup>	6	1.083	9	957	15	2.040
Korea Sur	9	1.387	4	246	13	1.633
Japón	8	746	2	539	10	1.285
Brasil	6	1.370	3	97	9	1.467
Alemania <sup>2</sup>	3	491	6	505	9	996
Gran Bretaña	8	427	1	440	9	867
España	3	352	3	298	6	650
Turquía	6	112	3	513	9	625
México	2	124	4	1.104	6	1.288
Tailandia	5	535	1	54	6	589
Indonesia	2	73	3	505	5	578
Sudáfrica	4	303	1	23	5	326
Francia	5	315	3	—	5	315
Colombia	1	21	—	1.278	4	1.299
Filipinas	4	317	3	—	4	317
Pakistán	1	21	—	221	4	242
Argentina	4	167	4	—	4	167
Egipto	1	317	2	547	3	864
Bélgica	2	345	1	120	3	465
Venezuela	1	22	2	209	3	231
Alta mar	3	269	—	—	3	269
Afganistán	—	—	2	2.065	2	2.065
Canadá	—	—	2	1.680	2	1.680
Perú	1	120	1	200	2	320
Holanda	1	263	—	—	2	263
Yugoslavia <sup>3</sup>	2	103	1	176	2	265
Italia	1	139	—	27	2	179
Taiwan	1	106	—	—	2	166
Indonesia	2	98	1	—	2	106
Malasia	1	27	1	43	2	98
Polonia	2	49	1	21	2	70
Vienna	1	66	—	—	2	66
Chile	—	—	2	60	2	60
Checoslovaquia <sup>4</sup>	1	26	1	30	2	56
Países con 1 accidente <sup>5</sup>	1	—	—	—	1	—
TOTAL	178	19.736	113	17.215	291	36.751

<sup>1</sup> Incluye antigua Unión Soviética y actuales países derivados de ella.

<sup>2</sup> Incluye Alemania Democrática y Alemania Federal.

<sup>3</sup> Incluye antigua Yugoslavia y actuales países derivados de ella.

<sup>4</sup> Incluye Chequia y Eslovaquia.

<sup>5</sup> Albania (60), Arabia Saudí (138), Bahrein (57), Burma (113), Dinamarca (35), Cuba (100), Etiopía (400), Finlandia (43), Guatemala (225), Haif (23), Irán (350), Jamaica (170), Nigeria (24), Noruega (174), Tailandia (62) y Senegal.

**Tabla 10**  
**GRANDES INCENDIOS Y EXPLOSIONES**  
**OCURRIDOS EN ESPAÑA**

Año	Actividad	Población	Víctimas
1929	Teatro Novedades	Madrid	112
1973	Carpintería	Zaragoza	23
1978	Cámping	Los Alfaques (Tarragona)	211
1979	Hotel Corona	Zaragoza	79
1980	Escuela	Ortuella (Vizcaya)	51
1983	Discooteca Alcalá 20	Madrid	81
1985	Buques	Algeciras (Cádiz)	36
1990	Discooteca Flyng	Zaragoza	43
1996	Autobús	Bailén (Jaén)	29

dores ocupantes de los edificios o instalaciones, excluyendo los acaecidos con fallecimiento mayoritario de clientes, visitantes o vecinos.

En el 23 % de los incendios se dio mayoría de muertes de los trabajadores del local, con un promedio de muertes por incendio, 87,1, inferior al promedio general, 108,3. Las actividades específicas de esta característica son la minería, la industria química y, en menor medida, las oficinas.

Por lo que respecta a las explosiones, el 61 % de ellas resultó con muertes mayoritarias de trabajadores en su centro de trabajo, con promedio de 132 víctimas por explosión, frente al promedio general de 156,6. De forma claramente destacada, la minería es la actividad de mayor peso en esta vertiente, seguida a mucha distancia de la industria química.

#### Conclusiones y consideraciones

A partir de los sesenta se inicia una escalada en el número de accidentes, derivada del desarrollo tecnológico en la industria y la sociedad urbana, que ha creado más y mayores riesgos no compensados paralelamente con las correspondientes medidas de seguridad.

La década de los noventa, transcurrida tan sólo en sus seis primeros años, supera la siniestralidad registrada en la década de los ochenta, y ésta, a su vez, casi duplica la de los setenta, lo que hace prever una aceleración en la escalada de accidentes graves si no se adoptan medidas efectivas.

**Tabla 11**  
**GRANDES INCENDIOS Y EXPLOSIONES**  
**EN CENTROS DE TRABAJO POR DÉCADAS**

Década	Incendios			Explosiones			Total incendios y explosiones		
	Número	Víctimas	Promedio víctimas por incendio	Número	Víctimas	Promedio víctimas por explosión	Número	Víctimas	Promedio víctimas
1900-09	3	375	125,0	2	420	210,0	5	795	159,0
1910-19	—	—	—	7	2.973	184,1	7	1.289	184,1
1920-29	1	430	430,0	—	—	—	1	430	430,0
1930-39	—	—	—	1	65	65,0	1	65	65,0
1940-49	—	—	—	5	507	101,4	5	507	101,4
1950-59	2	60	30,0	2	1.350	675,0	4	1.410	352,5
1960-69	1	50	50,0	2	525	262,5	3	575	191,7
1970-79	8	799	99,9	12	995	82,9	20	1.794	89,7
1980-89	13	967	74,4	14	2.704	193,1	27	3.671	136,0
1990-96*	13	893	68,7	24	1.297	54,0	37	2.190	59,2
1900-96	41	3.574	87,1	69	9.152	132,6	110	12.726	115,7

\* Esta década comprende desde 1990 hasta el primer trimestre de 1996.

La frecuencia de estos accidentes se ha visto incrementada notablemente en los últimos 30 años, como resultado de la proliferación mundial de procesos industriales, desarrollos tecnológicos, nuevas fuentes de energía y productos combustibles, concentraciones demográficas y grandes superficies de ocio y comercio. Por contra, se aprecia una disminución en la intensidad de los accidentes, cuyo promedio de muertes por accidente se ha ido reduciendo, si bien irregularmente, en el transcurso del tiempo.

Aunque parece que las medidas limitadoras de los daños vienen demostrando cierta efectividad (reducción de la gravedad), cabe reclamar, adicionalmente, otro tipo de medidas, que eviten la ocurrencia de los accidentes de incendio y explosión, sean las consecuencias leves o graves.

La mortalidad por incendio en estos accidentes graves resulta más acusada en los edificios urbanos y, entre ellos, en los de pública concurrencia: locales de recreo, hoteles, hospitales y comercios. En la industria son escasos los incendios que han originado en un solo suceso más de 20 víctimas, en concreto en 28 ocasiones.

Si se tiene en cuenta la totalidad de muertes en incendios, en los últimos años, resalta la concentración de alrededor del 80 % en viviendas, con un número reducido de fallecidos por incendio (promedio de dos a cuatro, según país y año considerado). En los centros de trabajo se registran entre el 3 y el 5 % del total, correspondiendo el resto a edificios de concurrencia pública y actividades singulares.

El mayor riesgo para las personas, considerando todo tipo de incendios, se centra en edificios de viviendas, en los que deben incrementarse los actuales niveles de seguridad contra incendio. La espectacularidad de los incendios catastróficos, con muertes múltiples, desvía la atención del núcleo del problema, situado en la actividad residencial privada.

Las muertes producidas por explosiones graves se concentran en instalaciones industriales de la minería y del sector químico, y en almacenamientos de combustibles y explosivos. A continuación aparecen las explosiones registradas en buques, que pueden ser más numerosas de lo registrado, al no existir un control suficiente por la dispersión del control marítimo y las banderas de conveniencia.

Los resultados del análisis efectuado ponen de relieve una percepción generalizada respecto a la gravedad de las explosiones, que representan el 38,8 % del total de accidentes y el 47,9 % del total de víctimas producidos, mientras que al considerar todos los incendios y explosiones, con independencia del número de víctimas ocasionadas y de la importancia de los daños producidos, estas últimas representan un número muy escaso, pero una gravedad extrema.

#### FACTORES INFLUYENTES EN LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS

Del análisis de las circunstancias en que se originan y desarrollan los incendios y los daños producidos se pueden extraer enseñanzas que ayuden a evitar su repetición y minimizar estos daños, incidiendo en los factores que determinan las condiciones de seguridad contra incendios, y que se ordenan en las siguientes direcciones:

##### *Reglamentación*

Resulta indispensable, en primer lugar, el establecimiento de las responsabilidades y condiciones mínimas de seguridad que deben cumplirse en edificios e instalaciones para proteger la vida de las personas y los bienes y derechos de terceros.

Este primer factor presenta, en España, una situación compleja por las implicaciones de la pertenencia a la Unión Europea y la estructura y competencias del Estado, las Comunidades Autónomas y los Ayuntamientos.

##### *Órganos oficiales de inspección*

Para comprobar el cumplimiento de la reglamentación se precisan órganos de inspección bien dotados de personal y medios de trabajo, que puedan desarrollar, también, labores de información y orientación a los gestores y asesores de seguridad.

Los organismos competentes en el control de la seguridad contra incendios en España, salvo los Ayuntamientos y Comunidades Autónomas, con servicios de inspección escasos, lo son en forma indirecta por tratarse de un riesgo que puede afectar a los elementos objeto de su protección y competencia.

##### *Normativa y documentación técnica*

La reglamentación legal establece los requisitos mínimos que, en lo que respecta en este caso a Seguridad contra incendios, deben cumplir los edificios e instalaciones. Para satisfacer estos requisitos, se hacen necesarias las especificaciones técnicas que aclaren la forma en que se han de llevar a cabo.

Este papel lo cumplen, en un primer nivel, las normas oficiales, en el caso de España las normas UNE de AENOR, con una orientación definida por el Comité Europeo de Normalización (CEN), que se pueden considerar aceptables en su cantidad y contenido técnico.

En un segundo nivel, de detalles de diseño, instalación, operación y mantenimiento, se precisan reglas y códigos de buena práctica, en los que se cuenta, entre otros, con los Códigos de la NFPA, los «Data Sheet de Factory Mutual», las Reglas Técnicas de CEPREVEN y las Instrucciones Técnicas de la Fundación MAPFRE Estudios.

#### *Formación y mentalización*

Otro de los factores que influyen principalmente en el correcto funcionamiento de la seguridad es la formación de las personas que intervienen en las diferentes fases y niveles de la seguridad contra incendios. Las actuaciones formativas necesarias se dividen en estas categorías:

- Mentalización y educación ciudadana: su iniciación debe tener lugar en la primera edad y, preferentemente, en los colegios, como parte de enseñanzas de educación cívica, debe ser mantenida por otros cauces de comunicación en la edad adulta.
- Mentalización y formación de operarios y trabajadores: las personas que desarrollan su actividad en lugares en los que el peligro de incendio es más acusado, en general todo tipo de establecimientos industriales, grandes edificios de servicios y alarmacenamientos o similares, han de recibir una formación en seguridad, que se dirija a la prevención y actuación primaria ante los incendios.
- Formación de técnicos: en ella se engloban la formación e información de técnicos que han de realizar labores de organización y gestión de la seguridad contra incendios, de vital importancia para alcanzar adecuados niveles que garanticen la seguridad de las personas y los patrimonios.

#### *Servicios públicos de extinción*

Los servicios públicos de extinción son otro de los principales componentes que influyen en la seguridad, no sólo por su actividad en la ex-

tingión de incendios, sino mayormente por<sup>a</sup> la de carácter preventivo, que se deberían incrementar en las tareas de inspección, formación, mentalización y realización de simulacros en colaboración con los ciudadanos y empresas.

#### *Investigación y tecnología*

Las actividades desplegadas en el campo de la investigación del fuego y de los incendios, reducidas en número y alcance, salvo en contadas excepciones, suponen otro destacado aporte que permite conocer cómo ocurren los incendios y pueden ser evitados y combatidos.

#### *Infraestructura urbanística*

Las condiciones urbanísticas modernas deben resolver las deficiencias que presentan los cascos antiguos de algunas ciudades, que dificultan el acceso y maniobra de los vehículos de bomberos. La construcción de los edificios en estas zonas antiguas, con gran profusión de madera, facilita, adicionalmente, la propagación de los incendios.

Entre otros problemas urbanísticos, uno muy acusado en España suele ser el deficiente suministro de agua para la lucha contra incendios, con limitaciones de presión y caudal que se agrava en las épocas de sequía.

#### *Asociaciones profesionales o corporativas*

La existencia de asociaciones profesionales que promuevan la seguridad y la calidad de los servicios y materiales de protección, aunque tenga motivaciones comerciales, contribuye a la mejora de los niveles de seguridad.

Fabricantes, diseñadores e instaladores de material contra incendios

La efectividad de los sistemas de protección contra incendios depende, fundamentalmente, de la profesionalidad de las empresas que fabrican los materiales, diseñan las instalaciones, los instalan y llevan a cabo su mantenimiento.

## Entidades aseguradoras

Las entidades de seguros, en su distinta función —compañías de seguros, reaseguros, mutuas de accidente de trabajo, corredores y agentes— con un interés directo en reducir pérdidas por incendios, tienen un papel importante que desarrollar a nivel colectivo e individual.

## CONCLUSIÓN

A la vista de las condiciones en que se desarrolla la seguridad contra incendios, se puede concluir que los niveles de seguridad contra incendios deben ser mejorados en consonancia con la gravedad de los riesgos que están asociados a las distintas actividades.

El camino que queda por recorrer para alcanzar niveles de seguridad deseables es largo y laborioso, con un objetivo permanente de mejora en el que es preciso el esfuerzo de todos: responsables políticos, expertos, empresas y ciudadanos y la colaboración entre las instituciones y entidades más directamente interesadas.

Los niveles de seguridad contra incendios alcanzados en los países más desarrollados; resultado muchas veces de experiencias negativas sufridas en tiempos anteriores, puede servir de referencia para otros países en desarrollo. La cooperación internacional en esta dirección, fomentada por los organismos competentes y, por tanto, responsables, y las entidades implicadas, puede contribuir sustancialmente al alcance de los niveles deseables.

En el mundo de la empresa, donde se presentan con mayor insistencia los riesgos de incendio, la respuesta mediante actuaciones de seguridad ha de ser múltiple, con el liderazgo de la dirección de la empresa, la participación activa de los trabajadores y la supervisión y colaboración de los organismos públicos competentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Factory Mutual, Record, Boston, Ma (Estados Unidos.) Varios.  
Fundación MAPFRE Estudios: *Instrucciones Técnicas de Seguridad Integral*, Madrid (España).  
Instituto Nacional de Estadística, *Movimiento Natural de la Población*, Madrid, 1992.

- National Fire Protection Association, *Manual de Protección contra Incendios*, Editorial MAPFRE, Madrid, 1999.  
Organización Internacional del Trabajo, *Anuario de Estadísticas*, Ginebra, 1994.  
Organización Internacional del Trabajo, *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Madrid, 1984, 3 vols., 2.754 páginas.  
Organización Mundial de la Salud, *Anuario de Estadísticas*, Ginebra, 1994.  
Protección Civil Española, *Estadísticas de Intervenciones de los Cuerpos de Bomberos*, Madrid.

## LOS DIEZ INCENDIOS MÁS GRAVES

Orden	Año	Actividad	Entidad	Situación	Número víctimas
1.º	1984	Mina		Afganistán	2.000
2.º	1904	Buque	General Slocun	Nueva York, EE.UU.	1.030
3.º	1985	Oleoducto		Cubarao, Brasil	700
4.º	1903	Teatro	Iroquois	Chicago, EEUU	602
5.º	1918	Forestal		Minnesota, EEUU	559
6.º	1942	Sala bañe	Cocoanut	Boston, EEUU	492
7.º	1921	Industria química		Oppau, Alemania	430
8.º	1995	Escuela		Dabwali, India	425
9.º	1961	Circo	L'Innovation	Niteroi, Brasil	323
10.º	1967	Comercio		Bruselas, Bélgica	322

## LAS DIEZ EXPLOSIONES MÁS GRAVES

Orden	Año	Actividad	Entidad	Situación	Número víctimas
1.º	1917	Buque		Hatifax, Canadá	1.654
2.º	1956	Mina		Calí, Colombia	1.100
3.º	1984	Planta gas	Pemex	San Juan, México	750
4.º	1944	Buque		Bombay, India	700
5.º	1995	Comercio		Seúl, Corea S.	600
6.º	1989	Gasoducto		Ufa, Rusia	500
7.º	1947	Buque		Texas City, EEUU	468
8.º	1963	Mina		Omuta, Japón	447
9.º	1913	Mina		Sengghenyd, Gran Bretaña	440
10.º	1975	Mina		Chasnala, India	331

# 2

## Esencia del fuego y del incendio

Una vez conocidas las coordenadas de daños que significan los incendios, se plantea inmediatamente la necesidad de combatirlos de las tres formas posibles: evitando que el incendio se produzca, reduciendo al mínimo los efectos directos del incendio o, finalmente, procurando que los efectos indirectos perjudiquen en la menor forma posible.

Las dos primeras formas de combatir los incendios requieren, ante todo, conocer qué es el incendio, cómo se genera y cómo se desarrolla.

### COMBUSTIÓN

El conocimiento del incendio, que se define como «combustión que se desarrolla de forma descontrolada»<sup>1</sup> y, de forma más breve y a la vez más gráfica, como «fuego incontrolado y destructivo»<sup>2</sup>, requiere, a la vista de dichas definiciones, el estudio de lo que son la combustión y el fuego.

<sup>1</sup> Instituto de Seguridad Integral (Fundación MAPFRE Estudios) *Diccionario MAPFRE de Seguridad Integral*, Editorial MAPFRE, 1993.

<sup>2</sup> ITSEM/AF Fuego, Instituto de Seguridad Integral (Fundación MAPFRE Estudios), *Instrucciones Técnicas de Seguridad Integral*, Editorial MAPFRE, 1994.

La *combustión* es una reacción de oxidación-reducción rápida y exotérmica. La sustancia reductora se llama combustible, y la sustancia oxidante, comburente. El combustible y el comburente pueden encontrarse en fase sólida, líquida, gaseosa o mixta (combustible sólido, líquido, polvo o líquido nebulizado, y gas comburente). La combustión puede desarrollarse en fase gaseosa (gas combustible y gas comburente) o en fase mixta (sólido combustible y gas comburente).

El agente oxidante más común es el oxígeno atmosférico, pero existen otros menos usuales, como el nitrato sódico ( $\text{NaNO}_3$ ), el clorato potásico ( $\text{KClO}_3$ ). Estos compuestos químicos pueden liberar oxígeno en condiciones favorables, de ahí su carácter oxidante. También algunos materiales combustibles, por ejemplo, el material plástico a base de polioxilina, contienen oxígeno combinado en sus moléculas de modo que pueden mantener una combustión parcial sin aporte externo de oxígeno.

También puede haber combustión en casos especiales, en atmósfera de cloro, dióxido de carbono, nitrógeno y algunos otros gases sin la presencia de oxígeno. Pero estas situaciones son poco frecuentes; por lo que este capítulo se centra principalmente en la combustión en presencia de aire.

La especie reductora de la reacción Redox es en este caso el combustible; es, por tanto, combustible toda aquella sustancia que no ha alcanzado su máximo estado de oxidación. Desde un punto de vista práctico se puede decir que cualquier material formado principalmente por carbono o hidrógeno puede ser oxidado. La mayoría de los combustibles orgánicos sólidos y de los líquidos y gases inflamables contienen porcentajes importantes de carbono e hidrógeno.

Para que una combustión se inicie, es necesario que los reactivos (comburente y combustible) se encuentren en unas condiciones favorables en las que pueda producirse la reacción.

La energía necesaria para que la reacción se inicie se denomina *energía de activación*, y la proporcionan las *fuentes de ignición*.

El *calor de reacción* es la energía que se gana o se pierde cuando tiene lugar una reacción. En una reacción endotérmica, los productos que se forman contienen más energía que los reactivos, por lo que es necesario aportar constantemente energía para que la reacción continúe.

En una reacción exotérmica, los productos que se forman contienen menos energía que los reactivos. Cuando la cantidad de energía que se desprende en una reacción es muy elevada, se emite radiación luminosa o llamas.

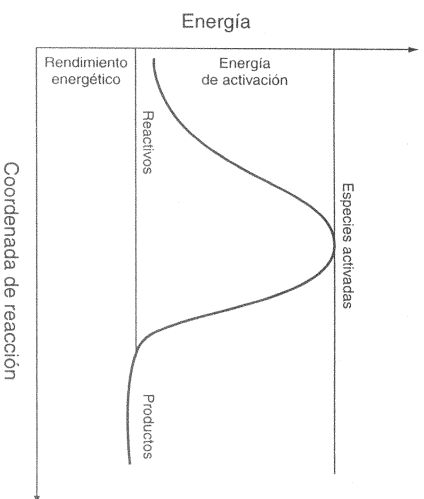


Figura 1. Energías de reacción.

En la figura 1 se representan las energías puestas en juego en una reacción exotérmica.

En una reacción exotérmica, parte de la energía se disipa al ambiente, provocando los efectos térmicos derivados del incendio, y el resto calienta a más reactivos, aportando la energía de activación necesaria para que el proceso continúe.

El desprendimiento de energía tiene lugar en forma térmica (calor) y luminosa (llamas o incandescencia visible o no visible), y puede tener lugar en forma mecánica (expansión o aumento de presión de los productos de la combustión). Según el tipo de emisión luminosa, las combustiones se clasifican en *combustiones con llama* y *combustiones incandescentes* (sin llama).

La *combustión con llama* se desarrolla íntegramente en fase gaseosa (gas combustible-gas comburente). En la zona del espacio en la que tiene lugar la combustión se producen *llamas*, que están formadas por radicales libres generados por la combustión y combustibles libres procedentes de la descomposición del combustible original. Las llamas emiten, generalmente, luz visible, generada por partículas incandescentes de combustible libre.

La *combustión incandescente* es una combustión superficial de un sólido, que se desarrolla en fase mixta (sólido combustible-gas comburente).



El comburente se incorpora por difusión a la superficie del sólido, en donde reacciona con él, formando brasas incandescentes; es decir, porciones de combustible ardiendo sin llama, a una elevada temperatura y con emisión de luz. La combustión incandescente puede producirse aislada, pero generalmente acompaña y sucede a la combustión con llama de un combustible sólido.

Según la forma de desarrollarse la combustión, recibe el nombre de *combustión de aportación* o *combustión de mezcla preformada*.

La *combustión de aportación* se inicia y mantiene mediante la aportación continua, por dosificación o aportación, de una cantidad limitada de combustible y comburente. Su nombre común es *fuego*.

La *combustión de mezcla preformada* se inicia y desarrolla en una mezcla de combustible y comburente formada previamente. Las combustiones de mezcla preformada se desarrollan como reacciones de propágación. Es decir, que la ignición tiene lugar en un punto localizado de la mezcla y la combustión se propaga en un frente que separa los productos de la combustión de la mezcla sin reaccionar. La combustión continúa hasta la consumición total de la masa disponible. Si la velocidad de propágación es inferior a la del sonido, tiene lugar una *deflagración*. Si la velocidad es igual o superior a la del sonido, tiene lugar una *detonación*.

Aunque los incendios puedan tener su origen en deflagraciones y a su vez originarlas durante su desarrollo, se hablará de combustiones de aportación cuando se trate de incendios y de combustiones de propágación cuando se trate de explosiones.

Otras clases de combustiones, en función de diferentes circunstancias que afectan a su inicio o desarrollo son la *combustión espontánea*, que se inicia a temperatura ordinaria sin aporte de calor externo, la *combustión latente*, combustión de aportación, lenta, sin manifestaciones luminosas visibles y la *combustión súbita generalizada* (denominada también *flashover*), incendio desencadenado por un aporte repentino de oxígeno al interior de un recinto, en el que tiene lugar una combustión latente incompleta, en la que el incendio envuelve súbitamente a todos los combustibles presentes en el interior del recinto.

## FUEGO

Según se ha indicado, llamamos *fuego* a una *combustión de aportación*. Aunque los procesos de combustión son muy complejos, algunos pueden representarse gráficamente mediante un triángulo, cuyos lados re-

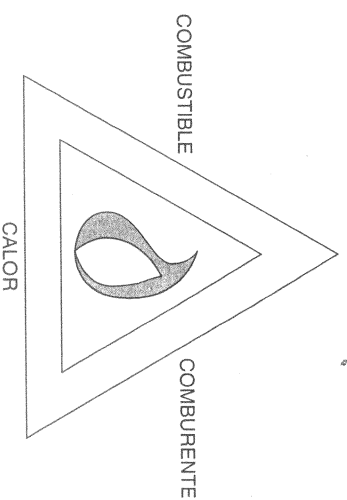


Figura 2. Triángulo del fuego.

presentan los elementos esenciales del fuego: combustible, comburente y calor suficiente (figura 2).

Sin embargo, una observación más precisa del fenómeno de la combustión hizo necesaria la inclusión de un cuarto elemento: las reacciones de cadena, con lo cual el modelo ternario, ahora insuficiente, tuvo que completarse con una cuarta variable, que por estar íntimamente relacionada con todas las anteriores, dio lugar al denominado tetraedro del fuego (figura 3). Con este esquema sólo se quiere indicar que de igual modo que si se retira una cara el poliedro «desaparece», al suprimir uno de los elementos el fuego se extingue.

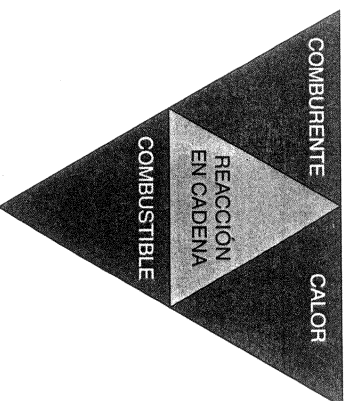


Figura 3. Tetraedro del fuego.

### Combustibles

Se define como combustible cualquier sustancia capaz de arder, es decir, capaz de combinarse con un comburente en una reacción exotérmica. Como ejemplos tenemos:

- Carbón.
- Monóxido de carbono.
- La mayoría de compuestos orgánicos.
- Muchos no metales: azufre, fósforo, etc.
- Muchos elementos de características metálicas: aluminio, magnesio, titanio, circonio, sodio, potasio, etc.

Peligrosidad de un combustible respecto a su posible ignición

Todos los combustibles arden o entran en combustión en fase gaseosa; cuando el combustible es sólido o líquido, es necesario un aporte previo de energía para llevarlo al estado gaseoso. La peligrosidad respecto a su ignición depende de una serie de variables:

- Relación precisa entre las concentraciones de combustible y comburente.
- Temperatura mínima a la que el combustible emite suficientes vapores para alcanzar dicha concentración.
- Energía de activación que es necesario aportar a la mezcla para que se inicie el proceso y se desarrolle la reacción en cadena.

Estas variables se pueden analizar por medio de unas constantes físicas, propias de cada combustible. Las más importantes son:

- Con respecto a la concentración:

*Limites de inflamabilidad.* Se definen los límites de inflamabilidad como los límites extremos de concentración de un combustible en mezcla inflamable con un comburente. El límite superior de infla-

mabilidad (LSI) es la máxima concentración de vapores de combustible por encima de la cual no se produce la combustión; y el límite inferior de inflamabilidad (LII) es la mínima concentración de vapores de combustible por debajo de la cual no se produce la combustión. Se tratará con mayor amplitud en el apartado de «Combustibilidad de líquidos y gases».

- Con respecto a la temperatura:

*Puntos de inflamabilidad.* Existe una temperatura mínima a la cual el combustible emite suficientes vapores como para alcanzar en su entorno la concentración correspondiente al límite inferior de inflamabilidad. Esta temperatura se denomina punto de inflamabilidad, aunque es más conocida como punto de inflamación. También existe una temperatura máxima por encima de la cual la emisión de vapor es demasiado alta, por lo que se superará el límite superior de inflamabilidad y la combustión no se produciría por defecto de oxígeno. Esta temperatura se llama punto máximo de inflamabilidad. Se verán con mayor amplitud en el apartado de «Combustibilidad de líquidos y gases».

- Con respecto a la energía de activación:

*Temperatura de autoignición.* Es la mínima temperatura a la que debe calentarse un combustible en presencia de aire para que se pueda producir su combustión espontánea, sin el aporte de una fuerza de activación externa o un foco de ignición. Es básicamente una propiedad de los gases, pero se aplica también a «líquidos» (vapores), e incluso a «sólidos».

La temperatura de autoignición de un combustible sólido está influida por los índices de circulación del aire de calentamiento o ventilación, y por las dimensiones y formas del sólido. Las pruebas a pequeña escala han demostrado que al aumentar la circulación del aire y el grado de calentamiento, la temperatura de ignición cae a un mínimo para después aumentar.

Tabla 1  
TEMPERATURAS DE AUTOIGNICIÓN

GASES	T auto. (°C)	LÍQUIDOS	T auto. (°C)	SÓLIDOS	T auto. (°C)
Acetileno	305	Acetona	335	Poliétileno	349
Amoníaco	630	Etanol	423	Poliéstereno	488-496
Etileno	425	Benceno	560	PVC	454
Propano	450	Tolueno	480	Poliamida	424
Metano	538	Agarrás	232	Resinas fenólicas	571-580
Hidrógeno	595	Sulfuro de carbono	102	Papel de periódico	230

Peligrosidad de un combustible respecto a la energía y productos emitidos en su combustión

Los factores más importantes que contribuyen a la peligrosidad de un combustible una vez inflamado son:

- Calor de combustión. Es la cantidad de calor que puede emitirse por unidad de masa combustible, durante un proceso de combustión completa. Las unidades más empleadas para expresar esta magnitud son los megajulios por kilogramo de combustible (MJ/kg).

Tabla 2  
CALOR DE COMBUSTIÓN

ESPECIE	CALOR DE COMBUSTIÓN (MJ/kg)
Etanol	27,00
Tolueno	36,38
Propano	47,97

- Reactividad. Una especie química es tanto más reactiva cuanto mayor sea su tendencia a combinarse con otra. En general, la reactividad puede asociarse con la liberación de calor, de modo que ésta es función de aquélla.

- Toxicidad de los productos de combustión. Durante la combustión de algunas especies, se emiten humos y gases de gran poder tóxico. Este hecho dificulta las labores de evacuación y extinción.

Tabla 3  
PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN

POLÍMEROS	PRODUCTOS DE	
	PIRÓLISIS*	COMBUSTIÓN
Poliénos	Alcanos y alquenos acíclicos	CO, CO <sub>2</sub>
Poliéstereno	Mono-, di- y trimeros del estireno	CO, CO <sub>2</sub>
Acrílicos	Acrilatos monoméricos	CO, CO <sub>2</sub>
PVC	HCl	HCl, CO, CO <sub>2</sub>
Acetato de celulosa	CO, CO <sub>2</sub> , ácido acético	CO, CO <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> COOH
Resinas de policarbonato	CO <sub>2</sub> , fenol	CO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
Niñón 6/6	CO, CO <sub>2</sub> Aminas	CO, CO <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> , Aminas
Fenólicos	Fenol Metanal	CO, CO <sub>2</sub> HCOOH
Poliésteres	Estireno Ácido benzoico	CO, CO <sub>2</sub>

\* La pirólisis es una descomposición térmica en ausencia del aire.

- Velocidad de combustión. Es la medida de la cantidad de combustible consumida por unidad de tiempo en unas condiciones dadas.
- Velocidad de propagación de la llama. Es la medida de la velocidad superficial de propagación de las llamas en un combustible e indica la capacidad de extensión y propagación de un fuego; sólo es aplicable a combustibles sólidos y, en especial, a los utilizados como revestimientos.

### Comburente

Aunque un comburente es cualquier agente oxidante capaz de oxidar un combustible en una reacción rápida y exotérmica, este término se suele aplicar a mezclas de gases en las cuales el oxígeno esté en proporción suficiente para que en su seno se inicie y desarrolle la combustión, ya que el oxígeno es el agente oxidante más común. Por ello, el aire, que contiene aproximadamente un 21% en volumen de oxígeno, es el comburente más común en todos los fuegos e incendios.

No obstante, existen otros productos oxidantes ( $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KClO}_3$ , etc.) cuya presencia también puede propiciar la combustión. Por otro lado, algunos compuestos tales como la nitrocelulosa, al contener en su composición ambos agentes, oxidante y reductor, pueden sufrir combustión sin más aporte externo que la energía de activación.

Para que se desarrolle la combustión en los procesos habituales, es necesaria la presencia de una proporción mínima de oxígeno en el ambiente. Esta proporción mínima se determina por medio del ensayo del índice crítico de oxígeno.

A continuación se indican algunos ejemplos de agentes oxidantes:

- Oxígeno y ozono (aire).
- Peróxido de hidrógeno.
- Halógenos (en el orden: flúor, cloro, bromo y yodo).
- Ácidos nítrico y sulfúrico concentrados.
- Óxidos de metales pesados, particularmente aquellos que tienen valencia alta, tales como el dióxido de manganeso, dióxido de plomo, etc.
- Nitratos, cloratos, perboratos y peróxidos.
- Cromatos, dicromatos, permanganatos, hipocloritos e hipobromitos.

### Energía de activación

Como ya se indicó anteriormente, es la energía mínima que necesitan los reactivos para que se inicie una reacción.

Esta energía se aporta en la combustión por parte de las fuentes de ignición.

Un foco puede provocar la ignición si la magnitud e intensidad de su energía es suficiente para aumentar la temperatura en una zona de la masa combustible por encima de su punto de autoignición.

Las diferentes formas de aporte energético a la mezcla se pueden agrupar en:

- *Llamas*, masa gaseosa en combustión, que se eleva desde los cuerpos que arden. Estos focos son los más peligrosos, pues provocan prácticamente siempre el inicio —y favorecen el desarrollo— del incendio.
- *Chispas*, partículas encendidas de pequeñas dimensiones, que pueden surgir de un cuerpo en combustión o de una zona que haya alcanzado alta temperatura por causas mecánicas, eléctricas o propiamente térmicas. Las chispas pueden superar la temperatura de autoignición del combustible que alcanzan y dar lugar a la propagación de la combustión (tal es el caso de gases, vapores y polvos en suspensión aérea, incluso materiales sólidos, como papel o textiles), o no llegar a ello (caso de la mayoría de sólidos compactos: madera, plásticos).
- *Superficies calientes*, que, a diferencia de las chispas, suelen tener temperatura no excesivamente alta, pero, en cambio, están dotadas de mayor energía (mayor extensión, masa y duración).

Las principales *fuentes de ignición*, se pueden clasificar, según su origen, en:

- *Fuentes naturales*: rayos, sol.
- *Fuentes eléctricas*: chispas y arcos, cortocircuitos, cargas estáticas, sobrecargas, recalentamientos (exceso de aislamiento térmico).
- *Llamas abiertas comunes*: velas, hornos, quemadores, etc.
- *Trabajos de soldadura y corte*: llamas, conducción de calor, chispas, electrodos.
- *Fuentes mecánicas*: chispas, rozamientos mecánicos, impactos.
- *Fuentes químicas*: reacciones exotérmicas no biogénicas, fermentaciones y descomposiciones naturales, diluciones.
- *Material de fumadores*: mecheros, fosforos, cigarrillos, pipas.

*Reacciones en cadena*

Los procesos mediante los cuales progresa la reacción entre el combustible y el combustible suelen transcurrir en las reacciones en cadena.

Aunque las reacciones químicas se suelen representar mediante una ecuación sencilla, en la que dos o más reactivos dan lugar directamente a los productos, el mecanismo real de la reacción puede no responder a esa ecuación, sino seguir un proceso complicado, con formación de radicales intermedios y ramificaciones, vueltas atrás, etc. Esos compuestos intermedios no suelen ser estables, por lo que, igual que se producen, reaccionan y vuelven a desaparecer. Por ello, en las ecuaciones simplificadas no aparecen más que los reactivos iniciales y los productos finales.

La reacción molecular en cadena está asegurada cuando la energía despendida por ella de un número de moléculas es suficiente para activar un número igual o mayor, de forma que progrese la reacción.

*Comportamiento frente al fuego de los materiales*

El comportamiento frente al fuego de los materiales se puede estudiar desde dos puntos de vista diferentes: respecto a una forma activa o de reacción al fuego del propio material, o respecto a una forma pasiva o de resistencia al fuego de los elementos de los que dicho material forma parte.

La reacción al fuego es el alimento que un material puede aportar al inicio, propagación y desarrollo de un incendio. Por medio de este concepto puede estudiarse la contribución de los distintos materiales a un fuego, y el riesgo y peligrosidad que representan. Para ello, los materiales se clasifican en cinco clases; de M0 a M4, que corresponden, respectivamente, a la consideración de los materiales como «no combustibles» y «fácilmente inflamables».

La resistencia al fuego es la aptitud de un elemento de construcción, componente, equipo o estructura, de conservar durante un tiempo determinado la estabilidad, la estanqueidad, el aislamiento térmico requerido y la no emisión de gases inflamables, especificados en los ensayos de resistencia al fuego. La clasificación viene dada en función del tiempo, en minutos, que un elemento dado mantiene dichas características bajo la acción de un fuego tipo; así, por ejemplo, RF 120 indica que el

elemento mantiene 120 minutos todas las características especificadas (Figura 4).

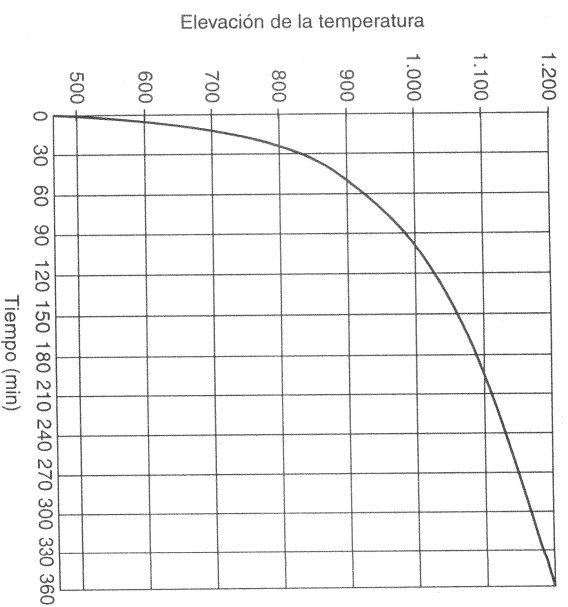


Figura 4. Curva normalizada para ensayos de resistencia al fuego.

*Características físicas*

Además de las características relativas a la combustión en sí, aplicables a combustibles y combustantes, existen otras características, aplicables en este caso a todos los materiales potencialmente involucrados en un incendio, que pueden modificar el inicio del fuego, su desarrollo, los daños originados o el diseño de la protección requerida.

— Densidad relativa de vapor: tal y como se usa generalmente en la tecnología de protección contra incendios, la densidad de vapor es la relación entre las masas de dos volúmenes, medidos en idénticas condiciones, de un gas puro y de aire seco. De

modo que, si el valor de este parámetro es inferior a la unidad, entonces el gas es más ligero que el aire, y más pesado en caso contrario.

Es importante conocer el valor de esta magnitud para los gases que puedan verse implicados, en función del cual se diseñará la detección y ventilación (figura 5). Además, conviene tener en cuenta el aumento de la flotabilidad de los gases al incrementarse su temperatura.

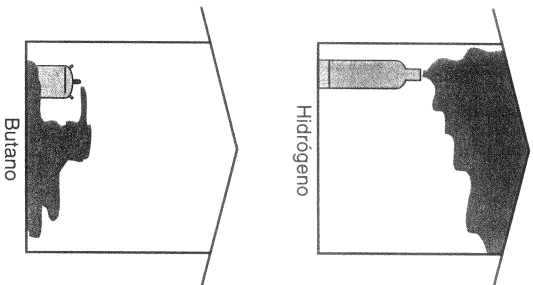


Figura 5. Ejemplo del desplazamiento de los gases. El butano tiene mayor densidad que el aire y el hidrógeno menor.

— Calor específico: también denominado «capacidad calorífica específica», es la cantidad de calor necesaria para elevar a una cierta temperatura una determinada masa de sustancia. Se expresa en J/kg·K.

Aunque esta magnitud depende de la temperatura, suelen tabularse valores medios, válidos en el intervalo comprendido entre 0 °C y 100 °C.

Tabla 4  
CALORES ESPECÍFICOS, C

ESPECIE QUÍMICA	c (J/kg·K)	ESPECIE QUÍMICA	c (J/kg·K)
Cobre	398	Plomo	130
Estano	230	Plata	239
Hierro	460	Silicio	754
Yeso	1.134	Carbono	628

— Conductividad calorífica: la conductividad térmica de un material es la capacidad que dicho material posee para transmitir el calor a través de su masa.

Si un material es buen conductor del calor, lo transmitirá y disipará, con riesgo de extender el incendio. En caso contrario, el calor se acumulará en él, y, por tanto, se puede inflamar si es combustible.

— Dilatación: la dilatación es el aumento de volumen que experimenta un cuerpo, que suele ser, en la mayoría de las sustancias, proporcional al incremento de la temperatura. El factor de proporcionalidad se denomina coeficiente de dilatación. Con vistas a simplificar el análisis de este coeficiente, que es una magnitud tensorial, se definen los coeficientes de dilatación lineal, superficial (o cuadrático) y volumétrico (o cúbico), que determinan el aumento de longitud, área o volumen, respectivamente, experimentado por un cuerpo por unidad de temperatura.

No obstante, sabiendo el valor del coeficiente de dilatación lineal se pueden conocer aproximadamente los de la superficial y volumétrica, sin más que multiplicar aquél por un factor de dos y de tres, respectivamente.

El efecto de la dilatación será el aumento de dimensiones (obvio) y consiguiente disminución de densidad, si el material afectado se encuentra libre de ligaduras (ejemplos de ligaduras son la contención en locales o recipientes o la pertenencia a estructuras). En caso contrario se dará origen a sobrepresiones que pueden causar daños mecánicos en locales y recipientes, o bien, en el caso de elementos estructurales, pueden originar sobretensiones en sí mismos o en elementos adyacentes al ser expuestos a las altas temperaturas de un incendio.

- Resistencia mecánica de los sólidos: la resistencia mecánica de un sólido frente a la presión, flexión, torsión, etc., varía con su temperatura. Así, por ejemplo, se ha comprobado que el acero pierde rápidamente su resistencia mecánica cuando su temperatura sobrepasa los 500 °C<sup>3</sup>.

### Clasificación de los fuegos

Los fuegos se pueden clasificar utilizando los siguientes criterios:

- Tipo de combustible.
- Tipo de radiación luminosa producida (presencia o no de llamas).

Por tipos de combustible

Según el tipo de combustible, de acuerdo con la norma europea EN-2, los fuegos se clasifican en:

- **Fuegos de clase A:** son los fuegos de materiales sólidos, generalmente de naturaleza orgánica, donde la combustión se realiza normalmente con formación de brasas.  
Ejemplos: madera, papel, tejidos, la mayor parte de los plásticos, etc.  
De forma restrictiva, se considera fuego típico de clase A el que tiene lugar con formación de brasa profunda, capaz de reencenderse cuando las llamas han desaparecido.
- **Fuegos de clase B:** son los fuegos de líquidos o de sólidos licuables.  
Ejemplos: alcohol, gasolina, cera, gasóleo, alquitrán, algunos plásticos, etc.  
De forma restrictiva, se considera fuego típico de clase B el de líquidos menos densos que el agua y que se hallan en reposo en charcos o recipientes.

<sup>3</sup> Este hecho adquiere notable importancia en caso de incendio, pues 500 °C es una temperatura fácilmente alcanzable en un incendio (≈ 10 min. Ver curvas de fuego en figuras 8 y 9).

- **Fuegos de clase C:** son los fuegos de gases.  
Ejemplos: butano, propano, metano (gas natural), acetileno, etc.
- **Fuegos de clase D:** son los fuegos de metales.  
Ejemplos: sodio, potasio, aluminio, titanio, etc.

En la mayoría de los países de América se utiliza otra clasificación de fuegos, en la que la *clase B* corresponde a los fuegos de líquidos y gases, mientras que la *clase C* corresponde a los fuegos en presencia de tensión eléctrica. Lógicamente esta última clase no se refiere ya al tipo de combustible, sino a las circunstancias en las que se desarrolla el fuego.

Por la existencia de llama

El proceso de combustión puede tener lugar de dos formas diferentes: con llama (en el que se incluyen las explosiones) y superficial sin llama (en el que se incluyen la incandescencia superficial y profunda (brasas)). Las dos modalidades no se excluyen, sino que pueden tener lugar conjuntamente.

Los requisitos para la existencia de esas formas de combustión se representan en la figura 6. Tal como se ve en esta figura, la combustión con

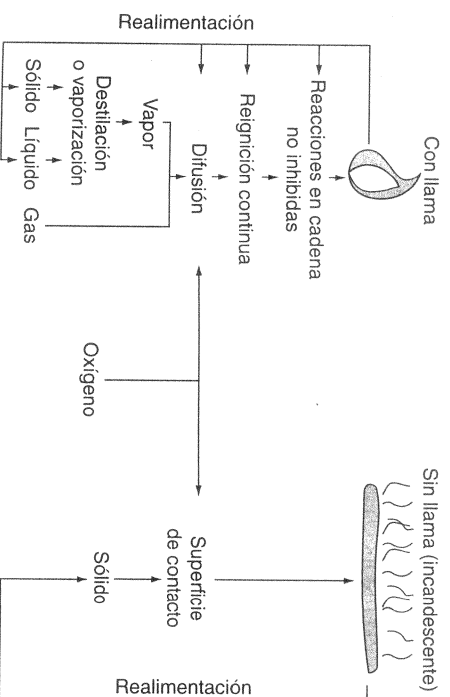


Figura 6. Modalidades de combustión.

Llama se asocia con velocidades de combustión relativamente altas, expresadas en términos de liberación de energía térmica a partir de la energía química existente en los enlaces entre átomos, que, junto con la relación peso-tiempo y el calor específico de los productos gaseosos de la combustión del cuerpo emisor, determinan la temperatura de la llama.

En condiciones de equilibrio, la energía térmica generada y la pérdida en el ambiente, ambas medidas en función del tiempo, deben igualarse. Si la primera supera a la segunda, el fuego aumenta; inversamente, si la segunda supera a la primera, el fuego disminuye. Este proceso depende en gran medida de la temperatura alcanzada.

Los líquidos y gases inflamables arden siempre con llama. La velocidad de combustión de los gases es muy rápida, por lo que en muchos casos puede producirse la explosión.

La característica común a estos combustibles es que se vaporizan y mezclan con el oxígeno antes de la combustión.

La mayor parte de los plásticos sólidos pueden considerarse como líquidos inflamables solidificados y, como tales, funden antes de su combustión, cuando hay una realimentación térmica suficiente.

Algunos de los casos en que coexisten ambos tipos de combustión son: combustibles carbonosos sólidos, tales como el carbón; carbonohidratos sólidos, como los azúcares; celulosas sólidas, como la madera, la paja, el esparto y otras materias vegetales similares, y los plásticos termoendurecibles, que no funden. En estas últimas materias, la combustión empieza con llama y pasa de una forma gradual hacia una fase durante la cual ambos modos actúan simultáneamente. Al final cesa la llama y prosigue la combustión residual sin llama.

Algunos ejemplos de combustión sin llamas son la de carbono puro y la de algunos metales fácilmente oxidables, como el magnesio, aluminio, circonio, uranio, sodio, potasio, etc.

Estos últimos arden con temperaturas característicamente altas, que oscilan entre 1.500 y 2.000 °C.

En la combustión incandescente o sin llama no se producen reacciones en cadena, por lo que estas combustiones pueden representarse por medio del clásico triángulo del fuego (figura 2).

### Carga térmica y curvas de fuego

Para medir la energía de combustión, se utiliza el término calor de combustión, definido anteriormente.

Extrapolando este concepto a toda una instalación real, aparece el término de «carga térmica», que es la cantidad de calor por unidad de superficie que produciría la combustión total de los materiales combustibles existentes en una zona o local. Se expresa en kJ/m<sup>2</sup> o por equivalencia en masa (kg/m<sup>2</sup>) de madera, teniendo en cuenta que la combustión total de la madera libera 16,75 MJ/kg. Este valor se calcula siempre considerando la cantidad máxima de materiales que puede preverse que existan. En un edificio normal, hay que considerar los elementos constructivos—muebles— que se encuentran dentro de una sola zona de incendio.

Su cálculo se efectúa aplicando la fórmula:

$$Q_i = \frac{\sum (m_i \times P_i) + \sum (m_m \times P_m)}{S}$$

donde:

$Q_i$  = carga térmica (MJ/m<sup>2</sup>).

$m$  = masa total de un material combustible (kg).

$P$  = calor de combustión del combustible (MJ/kg).

$S$  = superficie total (m<sup>2</sup>).

Si el subíndice es  $i$ , el parámetro se refiere al inmueble, y si es  $m$ , al mobiliario.

En muchas ocasiones se utiliza para la evaluación de riesgos la carga de fuego ponderada. Este valor se calcula según variedad de métodos: en todos ellos, a los valores de cantidad de combustible y calor de combustión se unen coeficientes correctores relacionados con la peligrosidad de los materiales presentes: puntos de inflamación, de ebullición, características criogénicas, condiciones de ventilación del local, etc.

Para estimar la importancia de la carga térmica habitual de una actividad o uso determinado sin realizar el cálculo, puede tomarse como guía la clasificación de riesgos para sistemas de rociadores automáticos del Código 13 de la National Fire Protection Association (NFPA), recogido en la Instrucción Técnica 07.18 de Protección contra Incendios de ITSEMAP.

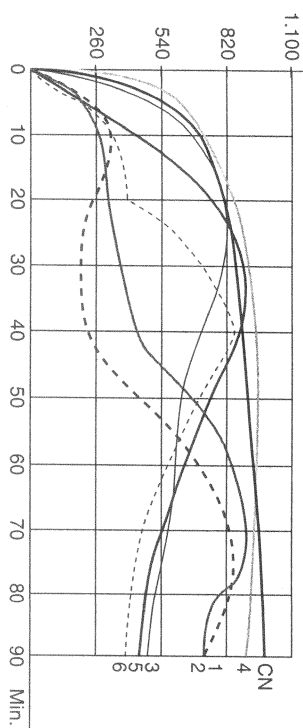
Siguiendo este criterio, se puede establecer una clasificación orientativa de la forma siguiente:



Valoración de la carga de fuego	Carga de fuego (valores indicativos)	Ejemplos de uso
Baja	Inferior a 1.000 MJ/m <sup>2</sup>	Hospitales, asilos, centros educativos, viviendas, oficinas, museos, bibliotecas (salas de lectura), comedores, salas de conferencias.
Moderada	Entre 1.000 y 2.000 MJ/m <sup>2</sup>	Aparcamientos, zonas de servicio de restaurantes, plantas de componentes electrónicos, lavanderías, industria alimentaria (lácteos, bebidas no deshidratadas, conservas, tahonas).
Alta	Entre 2.000 y 5.000 MJ/m <sup>2</sup>	Centros comerciales, cámaras frigoríficas, imprenta y artes gráficas, salas de biblioteca con gran densidad de libros, manufactura textil, montaje de muebles, talleres mecánicos, destilerías, fábricas de artículos de piel, de confitería y tabaco, plantas químicas en general, molinos de cereales, mecanizado de metales.
Muy alta	Superior a 5.000 MJ/m <sup>2</sup>	Almacenamientos de productos combustibles o en envases combustibles. Industria de madera, papel, neumáticos o plásticos. Actividades que requieren el uso habitual de líquidos inflamables o combustibles.

La intensidad de un incendio es función de dos variables: duración del fuego y temperatura alcanzada. La duración del fuego depende de la cantidad de material combustible presente, de su distribución espacial y de su velocidad de combustión. Las temperaturas alcanzadas dependen, principalmente, del calor de combustión de los materiales presentes.

Las curvas tiempo-temperatura de la figura 7 muestran la velocidad de aumento de la temperatura dentro de una zona dada, según el tipo de uso o empleo que se dé al edificio involucrado, comparado con la curva normalizada.



CN: curva normalizada.  
 1, 2 y 3: edificios de oficinas: 14 kilogramos de materiales combustibles por metro cuadrado (kg/m<sup>2</sup>).  
 4: cámara de almacenamiento de documentos: 55 kg/m<sup>2</sup>.  
 5: almacén de mobiliario doméstico: 12 kg/m<sup>2</sup>.  
 6: vivienda unifamiliar: 8,5 kg/m<sup>2</sup>.

Figura 7. Curvas de tiempo-temperatura reales comparadas con la curva normalizada.

Aunque la curva normalizada puede utilizarse como referencia útil para los ensayos de incendios en general, representa en realidad unas condiciones de intensa gravedad del fuego que sólo se dan en las etapas iniciales de los fuegos reales y cuando los materiales combustibles son de tal carácter que favorecen el rápido desarrollo del fuego de altas temperaturas.

En la figura 8 se compara la variación de la temperatura a lo largo del tiempo en función de que el fuego sea un fuego natural o un fuego lento.

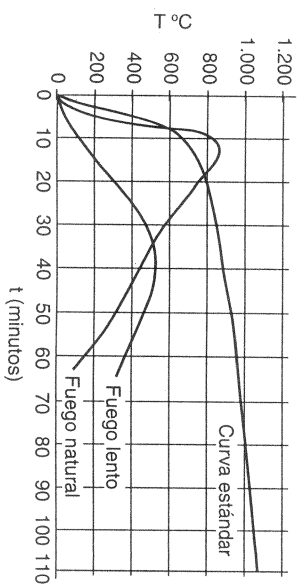


Figura 8. Curvas de tiempo-temperatura de fuego natural y de fuego lento.

Es importante tener en cuenta que dos materiales con igual poder calorífico total pueden tener diferentes velocidades de combustión, por lo que no originan necesariamente fuegos de igual duración.

### Transmisión de calor

El calor, o energía térmica, se transmite por tres mecanismos diferentes: conducción, convección y radiación.

#### Conducción

Si un extremo de una barra metálica se coloca en una llama mientras el otro se sostiene con la mano, se observará que esta parte de la barra se va calentando cada vez más, aunque no está en contacto directo con la llama. Se dice que el calor alcanza el extremo frío de la barra por conducción a lo largo o a través del material. Las partículas del extremo caliente aumentarían la violencia de su vibración si se eleva la temperatura de dicho extremo. Entonces, cuando chocan con sus vecinas que se mueven más lentamente, parte de su energía cinética se comparte con ellas, que la transmiten, a su vez, a las situadas más lejos de las llamas. Por consiguiente, la energía de la agitación térmica se transmite a lo largo de la barra de una partícula a otra, si bien cada una permanece en su posición inicial.

Los metales son buenos conductores de la electricidad y, asimismo, buenos conductores del calor. La aptitud de los metales para conducir la corriente eléctrica es debida a la existencia de los denominados electrones libres, que también son responsables de la propagación del calor; y son causa de que los metales sean tan buenos conductores de éste.

La conducción del calor puede únicamente tener lugar cuando las distintas partes del cuerpo se encuentran a temperaturas diferentes, y la dirección del flujo calorífico es siempre de los puntos de mayor a los de menor temperatura. A veces la definición de igualdad o desigualdad de temperaturas se basa en el fenómeno del flujo calorífico; esto es, si el calor pasa de un cuerpo a otro cuando ambos se encuentran en contacto, la temperatura del primero es, por definición, mayor que la del segundo, y si no hay paso de calor del uno al otro, sus temperaturas son iguales.

Experimentalmente se ha encontrado que la cantidad de calor que atraviesa una superficie es directamente proporcional a dicha superficie y

a la diferencia de temperaturas, e inversamente proporcional al espesor. La constante de proporcionalidad es el coeficiente de conductividad térmica del material,  $k$ .

Cuanto mayor sea la conductividad térmica  $k$ , tanto mayor será la cantidad de calor que pase por unidad de tiempo, si los demás factores permanecen iguales. Una sustancia para la cual  $k$  es pequeño, se considerará un mal conductor o un buen aislante. No hay ninguna sustancia que sea conductor perfecto ( $k = \infty$ ) o aislante perfecto ( $k = 0$ ).

Para que tenga lugar la transmisión de calor por conducción es imprescindible la presencia de materia, ya que, como se ha indicado anteriormente, el calor se transmite por las vibraciones de las moléculas. Cuanto mayor es el grado de disgregación de la materia, menor es la conducción de calor, que se transmite mejor en los sólidos que en los líquidos, y en éstos mejor que en los gases. En el vacío absoluto el calor no se transmite por conducción.

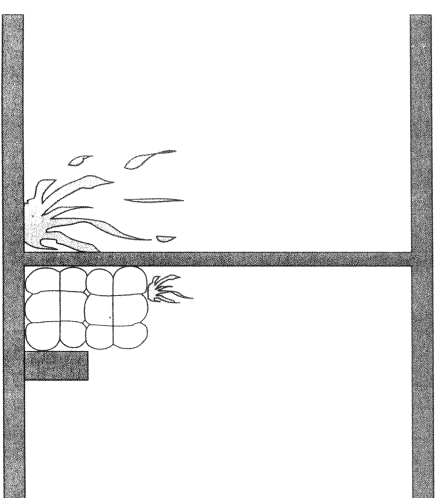


Figura 9. Transmisión de calor por conducción.

#### Convección

La expresión «convección» se aplica a la propagación del calor de un lugar a otro por un movimiento real de la sustancia caliente. Son ejemplos de éstos la estufa de aire caliente y el sistema de calefacción por agua ca-

liente. Si la sustancia no es obligada a moverse por un ventilador o una bomba, el proceso se denomina convección natural o libre. Para comprender esto último consideremos un tubo en U como el representado en la figura 10.

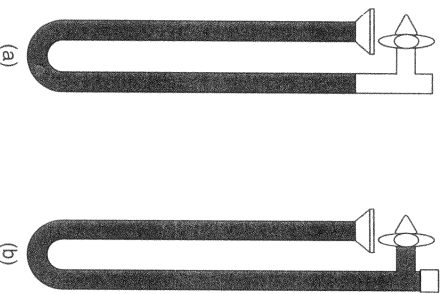


Figura 10. Convección originada por las diferencias de densidad.

En (a) el agua está a la misma temperatura en ambas ramas del tubo en U y, por consiguiente, alcanza el mismo nivel en cada una.

En (b) se ha calentado la rama derecha del tubo en U. El agua de esta rama se dilata y, por consiguiente, al ser de menor densidad, se necesita una columna de más longitud para equilibrar la presión producida por el agua fría de la columna izquierda. Podemos abrir ahora la espita, y el agua pasará desde la parte superior de la columna caliente a la columna fría. Esto aumentará la presión en el fondo de la U del lado de la columna fría, y disminuirá la presión del lado del agua caliente, por lo cual en el fondo de la U el agua es forzada a pasar del lado frío al caliente. Si suministramos continuamente calor al lado caliente y sustraemos calor del lado frío, la circulación se mantiene por sí misma. El resultado, en definitiva, es una propágación continua de calor del lado caliente al frío. En el sistema doméstico usual de calefacción por agua caliente, el lado frío corresponde a los radiadores y el lado caliente a la caldera.

La teoría matemática de la convección del calor es muy complicada; no existe ninguna ecuación sencilla para la convección como la que hay para la conducción. Esto es debido al hecho de que el calor ganado o perdido por una superficie a determinada temperatura, en contacto con un fluido a una temperatura distinta, depende de muchas circunstancias, a saber:

- De que la superficie sea plana o curva.
- De que sea horizontal o vertical.
- De que el fluido en contacto con la superficie sea un líquido o un gas.
- De la densidad, viscosidad, calor específico y conductividad térmica del fluido.
- De que la velocidad del fluido sea suficientemente pequeña para producir un régimen laminar o lo bastante grande para originar un régimen turbulento.
- De si tiene lugar evaporación, condensación o formación de película.

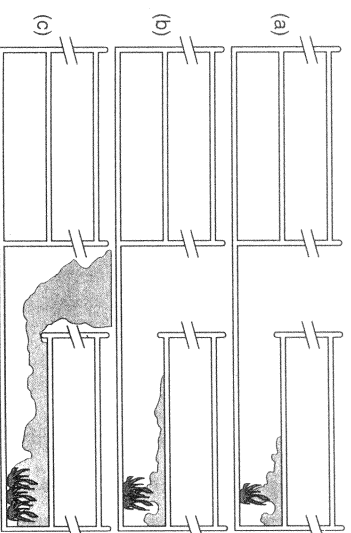


Figura 11. Transmisión de calor por convección.

#### Radiación

Cuando se coloca un cuerpo relativamente frío en contacto con un foco de calor se observa que aquél se calienta por conducción. Pero, si el cuerpo se mantiene encima del foco sin tocarse entre sí, el calentamiento

se produce por convección (debido al movimiento ascendente de aire caliente). Sin embargo, si el cuerpo se coloca bajo el foco de calor, también sin tocarse, se calienta por radiación.

La energía radiante es predominante cuando la altura de la llama es superior a 20 cm (por debajo de esta altura domina la convección). La transmisión de energía térmica por radiación se efectúa a la velocidad de la luz mediante ondas electromagnéticas, que no requieren medio material alguno para su propagación.

La intensidad procedente de un emisor de radiación es la energía radiante emitida por unidad de tiempo y de área, y es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta de su superficie.

$$I \text{ (W/m}^2\text{)} = \alpha \cdot T \text{ (K)}^4$$

Por ejemplo, un bloque de cobre a una temperatura de 100 °C (373 K) irradia aproximadamente una intensidad de 340 W/m<sup>2</sup>; a 500 °C (773 K) irradia aproximadamente 6.400 W/m<sup>2</sup>; a 1.000 °C (1.273 K) la potencia irradiada de área es 47.400 W/m<sup>2</sup>.

Además, la radiación emitida no es monocromática, sino una mezcla de distintas longitudes de onda, de modo que cuanto más caliente es el emisor más corto es el promedio de longitudes de onda emitidas. Por ejemplo, a 100 °C (8,373 K) la longitud de onda correspondiente a la radiación que da calor al conjunto aproximadamente es de  $8 \times 10^{-6}$  m, a 500 °C (773 K) esta longitud es de  $4 \times 10^{-6}$  m, y a 1.000 °C (1.273 K) es de  $2 \times 10^{-6}$  m.

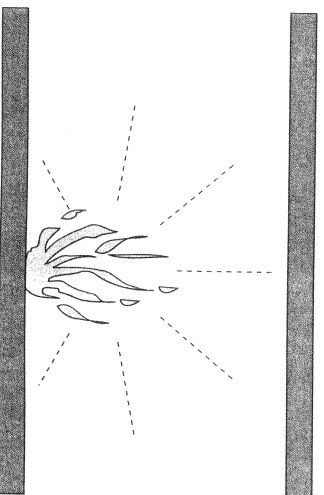


Figura 12. Transmisión del calor por radiación.

### Productos y manifestaciones de la combustión

La combustión origina productos químicamente modificados, dependiendo del combustible y comburente reaccionantes: gases de combustión, humos y restos de productos. De otra parte, durante la combustión se produce la liberación de energía, que se manifiesta en forma de llamas y calor.

#### Gases de combustión

La mayor parte de los materiales combustibles contienen carbono, que al quemarse forma anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) si la concentración de aire es suficiente y la combustión completa. Pero pueden producir monóxido de carbono (CO), si la concentración de aire es baja.

Estos dos, unidos al vapor de agua, son los gases de combustión más abundantes en los incendios, pero hay una serie de compuestos que habitualmente se producen en los siniestros, tales como el amoníaco, anhídrido sulfuroso, ácido clorhídrico. El tipo de gases que se forma depende de muchos factores: los principales son la composición química del combustible, la cantidad de oxígeno disponible y la temperatura alcanzada. Se ha demostrado que en los incendios los fallecimientos producidos por inhalación de gases o aire caliente son mucho más numerosos que el total de muertos debido a todos los demás agentes en conjunto. La toxicidad de dichos gases depende de la composición química, de la concentración, de la duración de la exposición y del estado físico de las personas.

Algunos de dichos gases, por ejemplo, el ácido clorhídrico, son corrosivos, por lo que afectan no sólo a las personas, sino que producen daños materiales.

#### Llamas

Si los gases emitidos durante la combustión son también combustibles pueden arder dando lugar a las llamas, que suelen ir acompañadas por radiación luminosa.

La llama es una zona de gases incandescentes visibles situada alrededor de la superficie del material en combustión. La llama no es sino un gas en combustión, y, si el combustible que arde es sólido o líquido,

la presencia de llamas denota la emisión de gases o vapores por efecto del calor.

La combustión completa de materiales orgánicos da llamas prácticamente incoloras, y el color que ofrece la mayoría de los casos se debe a la presencia de partículas sólidas, generalmente de carbono, que arden en el seno de las mismas. Sin embargo, las llamas de algunos compuestos son de diferentes colores; por ejemplo, las sales de sodio dan llamas de color amarillo; las de calcio, rojo; las de cobre, verde; las de potasio, violeta, etc.

En algunos casos se producen combustiones sin llama, tal como ya se indicó. La radiación luminosa emitida en estos casos se conoce como incandescencia o ascuas. Esta radiación es de mayor longitud de onda, ya que se encuentra en la zona del rojo y del infrarrojo, y por tanto de menor energía.

La exposición directa a la llama produce quemaduras a las personas y daños materiales, ya que las llamas, por medio del calor que irradian, pagan el fuego.

## Calor

De todos los efectos resultantes de la combustión, el calor es el principal responsable de la propagación del fuego.

El calor es una forma de energía, consecuencia de los movimientos constantes de las moléculas, las cuales están entrecrocando constantemente en el seno de la materia. Cuanto mayor es la energía cinética de las moléculas, mayor es la violencia de los choques entre ellas y el calor desprendido. Así, la temperatura de un cuerpo cuyas moléculas se hallarán en un estado de total reposo, sería la del cero absoluto (0 K o -273,16 °C). Al aumentar la energía cinética de las moléculas, los choques tienen por efecto separarlas unas de otras, de ahí la dilatación que experimentan los cuerpos al aumentar la temperatura.

La temperatura es la magnitud que indica el nivel del estado térmico de los cuerpos.

El calor emitido en un incendio, y la elevación de temperatura que conlleva, produce daños, tanto a las personas como a los bienes materiales. La exposición al aire caliente puede causar directamente deshidratación, agotamiento, bloqueo de las vías respiratorias y quemaduras.

El calor intensifica el ritmo cardíaco. Cuando su intensidad excede de la tolerancia humana, es mortal.

Los elementos de construcción ven afectadas sus propiedades mecánicas e incluso sus composiciones químicas por efecto del calor.

## Humo

El humo está formado por pequeñas partículas sólidas parcialmente quemadas y por vapor condensado, en suspensión en el aire y en los gases de combustión. El color, tamaño y cantidad de estas partículas determinan el «espesor» del humo. También el vapor de agua condensado espesa el humo.

El principal peligro del humo es que impide la visión. El humo puede ocultar señales y vías de evacuación, dando lugar a confusión y pánico, en especial en zonas desconocidas.

El humo afecta por irritación a las mucosas, en especial en los ojos y en las vías respiratorias, lo que contribuye a aumentar el pánico.

Cuando la proporción de humo, aire caliente y gases es elevada, y, por tanto, la proporción de oxígeno es baja, se llega a producir la asfixia, que puede conducir a la inconsciencia, e incluso a la muerte.

En los incendios también se pueden producir daños materiales muy importantes por el humo que contamina las mercancías, maquinaria y acabados de edificios.

## COMBUSTIBILIDAD DE SÓLIDOS

### *Compactos*

#### *Pirólisis*

La descomposición de los componentes volátiles liberados de la superficie de un sólido quemándose es extremadamente compleja: esto se comprende cuando se considera la naturaleza química del sólido. Los más significativos son materiales polímeros de elevado peso molecular, estas grandes moléculas son cadenas largas en las que existe una unidad que se repite: esta unidad es conocida como monómero. Hay dos tipos básicos de polímeros:

*Polímeros de adición:* aquellos formados por rotura de un doble enlace en moléculas idénticas e interconexión de ellas. Esquemáticamente se representa:

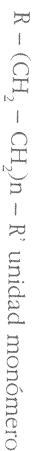


donde:

R = radical libre.

$CH_2 = CH_2$  = monómero etileno.

Mediante este proceso se consigue una cadena cuya estructura se esquematiza:



donde:

n = número de unidades que se repiten en la cadena.

*Polímeros de condensación:* este proceso de formación de polímeros implica la pérdida de una especie molecular pequeña (normalmente  $H_2O$ ) para que dos unidades de monómero se ligan. Generalmente, se trata de dos especies monómeras distintas como en la producción de Nilón 66 a partir de hexametildiamina y ácido adípico, el primer paso de la reacción podría ser:



Y la fórmula del Nilón 66 puede ser escrita según el formato usado para polímeros:



El hecho esencial de los monómeros es que deben contener dos grupos reactivos, o centros capaces de combinarse con unidades adyacentes, para formar una cadena lineal. La extensión de la cadena depende de las

condiciones existentes durante el proceso de polimerización. Estas pueden ser seleccionadas para obtener un polímero de las propiedades deseadas. Las propiedades también pueden ser modificadas introduciendo ramificaciones en la estructura principal del polímero. Esto puede conseguirse modificando las condiciones, de modo que se induzca una ramificación espontánea o introduciendo una pequeña cantidad de monómeros con tres grupos reactivos. Esto da lugar a estructura de enlaces cruzados. Con respecto a la inflamabilidad, el campo de volátiles provenientes de la descomposición térmica de un polímero es mucho menor por las estructuras con alto grado de enlaces cruzados, ya que la mayor parte del material forma una carga carbonosa no volátil, por lo que se reduce el abastecimiento de combustible gaseoso a la llama.

Los polímeros sintéticos pueden clasificarse principalmente en dos grupos: Las resinas termoplásticas y las termorrígidas. Desde el punto de vista de su comportamiento frente al fuego, la diferencia principal entre ambos polímeros es que en el segundo grupo se trata de estructuras de enlaces cruzados que no funden cuando son calentadas. En cambio, a una temperatura suficientemente alta se descompone algo dando volátiles directamente y dejando detrás un residuo carbonoso.

Por otro lado, los termoplásticos se reblandecen y funden con el calor, con lo que modifican su comportamiento bajo las condiciones de fuego.

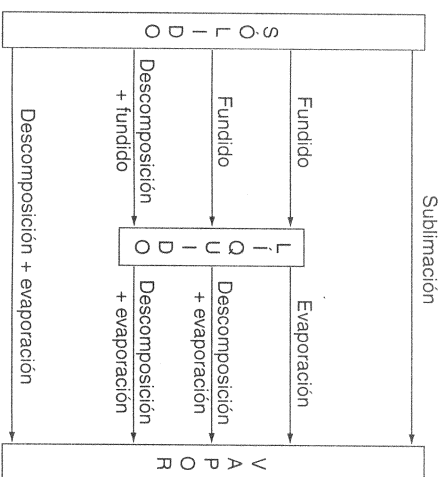


Figura 13. Procesos físico-químicos en el calentamiento de un sólido.

La producción de combustible gaseoso (volátiles) a partir de combustible sólido implica, casi invariablemente, descomposición química, o pirólisis, de las moléculas polímeras. Si el proceso está o no precedido por un proceso en el que el sólido se funde, depende de la naturaleza del material.

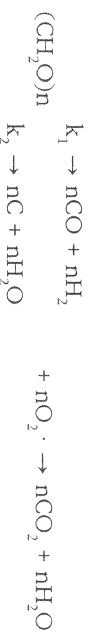
En general, los volátiles comprenden una mezcla compleja de productos de pirólisis, desde simples moléculas, como hidrógeno y etileno, a especies con un peso molecular relativamente alto, que son volátiles sólo a las temperaturas que existen en la superficie donde son formadas, cuando la energía térmica sobrepasa las fuerzas de cohesión con la superficie del combustible sólido.

En la combustión con llama, la mayoría de estos volátiles serán consumidos en la llama, pero bajo otras condiciones, por ejemplo, pirólisis sin combustión por exposición continuada a una fuente externa de calor. Los productos líquidos de alta temperatura de ebullición condensarán para formar un aerosol cuando se mezclen con aire frío.

#### Competición en pirólisis

Ciertos materiales como la madera y el papel exhiben dos tipos de combustión, con llama o sin ella. El hecho de que se den estos dos tipos puede ser explicado por la existencia de dos mecanismos que compiten por la pirólisis del combustible. Esta competición puede ser ilustrada más simplícidamente considerando la pirólisis de un carbohidrato, cuya fórmula es  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  con  $n = 6$  para la glucosa.

Los dos pasos que se conciben son:



Las constantes de velocidad para el paso inicial son:  $k_1$  para el paso superior y  $k_2$  para el inferior. El paso final representa oxidación, lo que implica combinación con oxígeno ( $\text{NO}_2$ ) que produce la combustión de los productos.

Aunque los productos finales de la combustión son los mismos, los diferentes productos intermedios pueden causar mecanismos de quemado distintos. Las especies  $\text{CO}$  y  $\text{H}_2$  son combustibles gaseosos y, por lo tanto, pueden escapar del sólido y mantener la llama de combustión. Por

el contrario, en la reacción de abajo (deshidratación) el  $\text{H}_2\text{O}$  no es combustible mientras que C es sólido. La trayectoria inferior, por lo tanto, no libera combustibles gaseosos pero, en cambio, forma C, el cual sufre un quemado en la superficie; un tipo de proceso de combustión sin llama de combustibles sólidos.

Mientras que el tabaco arde por un proceso análogo a la trayectoria inferior, las cerillas arden por un proceso que corresponde a ambas trayectorias; la llama resulta de un proceso como el de la trayectoria superior.

Como se verá más adelante al referirnos a la cinética de estos procesos, con los dos procesos compitiendo que se han ilustrado, la velocidad de conversión del combustible es:

$$dN/dt = -(k_1 + k_2) C_i$$

Como  $K_1$  y  $K_2$  son los coeficientes cinéticos de cada paso y son dependientes de la  $T^a$ , según se verá, por la ecuación de Arrhenius, esto demuestra que, si las energías de activación difieren, entonces a distintas temperaturas predominan reacciones diferentes.

#### Disgregados

Muchos productos sólidos combustibles que intervienen en procesos industriales o forman parte de almacenamientos, se presentan disgregados o troceados en forma de granalla, astillas, grano, virutas, escamas, hilachas o polvos de diferentes tamaños de partículas.

Las características de la combustibilidad y el proceso completo de la combustión de estos sólidos están determinados no sólo por la naturaleza química del producto y las condiciones del medio en que se encuentran (el estado higrométrico, por ejemplo) sino, de modo muy particular, y con extraordinaria influencia en ciertos productos, por su estado de disgregación.

La importancia que el estado de disgregación confiere a muchos sólidos es tan grande que, por sí solo, puede determinar la combustibilidad o no de los mismos a una cierta temperatura (aluminio en polvo o aluminio en barras, por ejemplo) y aun puede transformar el fenómeno de la combustión en una explosión.

En consecuencia, las características particulares de la combustión y el riesgo de explosión que el estado de disgregación puede ocasionar en

muchos productos sólidos combustibles hacen preciso un tratamiento preventivo de los riesgos de incendio-explotación y una peculiar modalidad de lucha contra el posible incendio-explotación.

#### Influencia del tamaño de las partes disgregadas

El tamaño de las partes disgregadas puede determinar sólo un cambio en las condiciones en que se desarrollará la combustión, o también la posibilidad de que se produzca la explosión, si se dan las condiciones precisas. Por ello, es necesario distinguir, al menos, dos tipos de disgregación de los combustibles sólidos:

Aunque no existe un criterio rígido para establecer una tipificación de los niveles de disgregación, se acepta que si la máxima dimensión de las partículas es de 0,5 mm se trata de un producto en estado pulverulento. Cuando las partes del sólido sean de tamaño mayor se considerarán, según su forma y naturaleza, como granalla, astillas, gránulos, escamas, hielachas, virutas o, simplemente, trozos.

El tamaño de las partes disgregadas (sean polvos o no) influye en el inicio y desarrollo del accidente (incendio o explosión) determinando que:

- Si se trata de productos disgregados (pero no pulverulentos) variarán las condiciones iniciales y el desarrollo de su combustión (y del incendio), pero no se darán por ello condiciones para la explosión.
- Si se trata de productos disgregados hasta el estado pulverulento variarán las condiciones iniciales y el desarrollo de su combustión (y del incendio), pero, además, se podrán dar las condiciones para que se origine una explosión.

Por todo ello, es preciso considerar estos dos aspectos por separado, pues de su análisis se deducirán las condiciones de protección contra el posible incendio y/o explosión.

Este apartado contempla los condicionantes de la combustión de combustibles sólidos disgregados en estado no pulverulento.

En el apartado siguiente se estudian las características básicas de la combustión cuando se trate de combustibles sólidos en estado pulverulento.

Peculiaridades del incendio de combustibles sólidos disgregados en estado no pulverulento

La característica peculiar que el estado de disgregación confiere a los combustibles sólidos disgregados en estado no pulverulento se debe al incremento de la superficie de contacto combustible-comburente, que facilita las condiciones necesarias para la combustión.

Además, el incremento de la interacción combustible-comburente da lugar al peculiar fenómeno propio de los combustibles sólidos disgregados: la combustión espontánea.

#### Combustión espontánea

Como consecuencia de la potenciación del contacto combustible-comburente, el fenómeno de oxidación se desarrolla con mayor intensidad y, puesto que el fenómeno es siempre exotérmico, la liberación de calor se incrementa.

Si, además de una alta tasa de generación de calor por oxidación, el entorno inmediato reúne las condiciones suficientes de aislamiento térmico, se dan, entonces, los condicionantes necesarios para que se genere una combustión espontánea.

Las causas de toda combustión espontánea son, principalmente, dos:

- Disponibilidad de aire (comburente) en íntimo contacto con el combustible; circunstancia que se alcanza cuando el producto está notablemente disgregado.
- Balance térmico positivo del conjunto, o relación entre calor generado y calor liberado favorable al primero.

Prácticamente todas las sustancias orgánicas y muchas metálicas expuestas a la acción atmosférica, si son capaces de combinarse con el oxígeno, se oxidarán a una temperatura crítica, con desprendimiento de calor. La tasa de oxidación a temperaturas normales es, generalmente, tan baja que el calor que se desprende se transfiere al entorno inmediato a medida que se genera, con el resultado de que no existe aumento de temperatura en el material combustible sujeto a oxidación. Sin embargo, cuando se conjugan la naturaleza del producto, su grado de disgregación y la geometría de su distribución con ciertas condiciones, se produce la combustión espontánea.



Entre las circunstancias que favorecen la combustión espontánea podemos citar:

— *Oxidaciones bacterianas*: la oxidación bacteriana es causa frecuente del calentamiento de cosechas agrícolas (grano, paja, heno, etc.) por ser el calor uno de sus efectos. Puesto que la mayor parte de las bacterias no sobreviven a temperaturas superiores a 70 u 80 °C, se cree que el calentamiento continuado de estos productos agrícolas hasta alcanzar sus temperaturas de autoignición podría deberse a una oxidación rápida iniciada a continuación, y como consecuencia de un precalentamiento por oxidación bacteriana.

— *Exceso de humedad en el medio*: el contenido de humedad de los productos agrícolas tiene una definitiva influencia en el riesgo de calentamiento espontáneo. La experiencia indica que tal calentamiento puede originar una combustión espontánea tras un largo período de almacenamiento del producto, incluso después de dos y hasta seis semanas.

Así, el heno húmedo o curado indebidamente, tiende a calentarse dentro de los pajares. La alfalfa troceada que haya estado expuesta a la lluvia y se haya almacenado a continuación, en cajones o en montones, es muy susceptible de sufrir un calentamiento espontáneo. Los granos de soja almacenados en cajas o cajones pueden sufrir lo que se denomina «quemadura de encaponamiento», por la que los granos próximos a los costados del cajón que los contiene se queman como consecuencia de la condensación de la humedad en las superficies internas de dichos costados y del autoCALENTAMIENTO del grano.

— *Ventilación*: la ventilación actúa como un arma de doble filo: por un lado favorece el grado de oxidación (aportación de aire) que puede motivar el inicio de la combustión espontánea y acelerar su desarrollo; por otro, sirve de vía de evacuación del calor generado por la propia oxidación o combustión. Sin embargo, dado que una gran ventilación no es posible para toda la masa del combustible disgregado, salvo que éste se encuentre en movimiento (como sucede en los procesos industriales), se debe considerar que la ventilación es una circunstancia favorecedora de la combustión espontánea, particularmente en los almacenamientos.

La aparición de combustiones espontáneas en sólidos combustibles disgregados es más frecuente en los almacenamientos de

dichos productos que en los procesos industriales en los que participan, por lo que las medidas de prevención contra este riesgo deben extremarse en los almacenamientos de los sólidos combustibles disgregados, tanto a granel como en envases.

#### *Pulverulentos*

En los procesos y almacenamientos de sólidos combustibles pulverulentos, muy frecuentes en cualquier actividad, además del incendio por ser productos combustibles, pueden darse otros dos fenómenos:

— El incendio por combustión espontánea.  
— La explosión, originada, casi siempre, por una deflagración del polvo en el aire.

La combustión espontánea ha sido tratada en el apartado anterior. Las explosiones de polvo se estudian en el capítulo 7.

Los polvos de productos combustibles que no se encuentran dispersos en una nube, si entran en combustión y existe el suficiente comburente para mantenerla, desarrollarán un incendio semejante al del producto disgregado no pulverulento.

Es el caso del polvo que está acumulado en capas, montones, silos o cualquier otro tipo de depósito, la velocidad de propagación del incendio será la correspondiente a la naturaleza del producto, y su propagación tendrá lugar entre partículas individualizadas. Como la cantidad de polvo por unidad de volumen es mucho mayor que en una nube explosiva, el incendio de un cierto volumen de producto liberará mucho más calor que la explosión de una nube del mismo tamaño, aunque la duración de la emisión del calor será mucho más larga.

#### Desarrollo del incendio

El incendio de los polvos así acumulados puede adoptar dos modalidades: con llama y con brasa; ello depende de las características del polvo (contenido de volátiles), la geometría del depósito y la facilidad de acceso de aire.

Las fuentes de ignición pueden ser las mismas que se citan como iniciadoras de la explosión y, además, la combustión espontánea.

El tamaño de las partículas influye notablemente en la velocidad de propagación del incendio y en su distribución a través de la masa. Si las partículas son muy finas, el incendio se extenderá sobre la superficie de la capa en contacto con el aire y, probablemente, entrará toda ella en combustión antes de que ésta se propague a las capas inferiores. Desde el punto de ignición origen del incendio se propagará éste a una velocidad que depende de si es requerida o no la formación de brasa para que continúe su propagación. Si las partículas de polvo son más gruesas, la propagación del incendio puede tener lugar simultáneamente por la superficie de la capa de polvo y en profundidad.

La lucha contra el incendio puede adoptar las mismas modalidades que en los incendios convencionales en varios aspectos, pero es preciso recordar el estado peculiar del combustible. Cualquiera que sea el método que se utilice, debe ponerse el máximo cuidado para evitar que una perturbación en el estado de reposo del polvo pueda dar lugar a la formación de una suspensión del mismo en el aire, pues si llega a formarse la nube de polvo en presencia de la importante fuente de ignición que es el incendio, sería fácil que sobreviniera una explosión.

#### Extinción del incendio

La aceptación del daño que puede producir el incendio es una alternativa posible y hasta frecuente en el incendio de polvos, y, en tal caso, se permitirá la combustión del producto hasta que el incendio se agote.

Sin embargo, la alternativa más frecuente será el intento de extinción, eligiendo el agente extintor más adecuado en función de la naturaleza del polvo, su situación, presencia de otros equipos o materiales en las proximidades del incendio; disponibilidad de medios; etc.

— *Agua:* el agente extintor de uso más frecuente es el agua, excepto en el caso de incendios de metales que reaccionan con ella (como el aluminio o magnesio) o en presencia de tensión eléctrica.

El agua actúa con eficacia en los incendios de polvos de origen vegetal y sintético (tales como plásticos), siempre aplicada en forma nebulizada o de fina pulverización.

Si la capa de polvo tiene una profundidad de más de 1 m, el agua no penetrará en la masa de polvo, sino que se embarrará la superficie y el resto del agua se perderá escurriendo sobre ésta. Es recomendable utilizar entonces aditivos humectantes con el agua.

Es muy importante desarrollar sin prisas el proceso de extinción, aun a costa de la pérdida de material por su combustión. No debe intentarse remover ni extender el producto incendiado para aplicar más fácilmente el agua pulverizada ya que puede sobrevenir su explosión.

La capa superficial puede colapsar en algunas zonas a causa de la posible formación de bolsas de aire en el interior de la masa incendiada. Quien realice la extinción no debe desplazarse sobre la superficie de polvo aunque en ella se haya logrado la extinción. Si es preciso hacerlo, debe ir provisto de arnés o caminar sobre planchas extendidas sobre la superficie. Debe, en todo caso, probar la estabilidad de la superficie con barras que se introducirán suavemente en la masa de polvo.

— *Espuma física:* la espuma física puede emplearse como agente extintor, pero tiene un uso muy limitado en este tipo de incendios, pues no puede penetrar en los depósitos de polvo, y su acción sofocante, una vez extendida sobre la superficie del mismo, es pequeña, por la existencia de aire en los huecos de la masa de polvo.

— *Polvo:* el polvo también puede emplearse como agente extintor, pero siempre en circunstancias especiales. Su principal utilización está en los incendios de polvo de metales capaces de reaccionar con otros agentes extintores y, en general, muy reactivos. En este caso se debe utilizar el llamado «polvo especial» o polvo D. La aplicación suele ser manual, lo que significa que está limitada a incendios de pequeñas proporciones. Si se trata de un incendio de polvos de metales reactivos que tiene gran extensión, la mejor táctica es permitir su combustión manteniendo el control de la misma y tratando de que los daños que puedan producir en su entorno sean mínimos, pero debe renunciarse a extinguirla.

— *Anhidrido carbonico y nitrógeno*: el anhídrido carbónico, el nitrógeno, e incluso el vapor de agua, también pueden utilizarse como agentes extintores de incendios de polvos, con la excepción de los polvos de metales reactivos y siempre que no se produzcan turbulencias.

Son efectivos cuando la masa de polvo está confinada en un volumen cerrado al paso de gases (depósitos, silos, bodegas de buque, etc.). Para asegurar una completa extinción, el gas o vapor debe mantenerse durante un largo período de tiempo, que puede ser de días o semanas, y son precisas aportaciones suplementarias de gas o vapor para compensar las pérdidas inevitables que tendrán lugar.

— *Otros medios de extinción*: los incendios de grandes masas de polvo pueden ser combatidos eliminando el oxígeno con una barrera sólida. El método consiste en cubrir con una capa de material no combustible (por ejemplo, tierra) la masa incendiada y proceder a la compactación de dicha capa. En general, se necesitará un espesor de un metro de tierra, al menos; y la compactación debe hacerse por medios mecánicos, cubriendo completamente superficie y costados de la masa incendiada. El proceso es peligroso y debe hacerse con precaución.

Una variante de este sistema consiste en verter o inyectar un barro formado con material no combustible y barato (arcilla y cemento, por ejemplo) en la masa de polvo incendiada. El barro se seca con el calor y cierra los canales de ventilación de huecos que existen en la masa de polvo hasta llegar a su extinción.

#### COMBUSTIBILIDAD DE LÍQUIDOS Y GASES

Como ya se ha visto, el fuego es una reacción que se produce básicamente entre gases (o entre gases y vapores). Las sustancias sólidas funden y/o se descomponen para desprender vapores que entran en combustión. Los líquidos inflamables se evaporan y son sus vapores los que entran en combustión. Líquidos y gases, a efectos de combustión, pueden considerarse grupos semejantes, con la diferencia de que los líquidos precisan de una energía adicional para evaporarse y pasar a comportarse propiamente como gases.

#### Autoinflamación

Es una característica aplicable a gases y vapores combustibles, y constituye lo más auténtico de la combustión. En efecto, para que se produzca la combustión se han de encontrar, en proporciones adecuadas y con la energía necesaria, el vapor combustible y el gas comburente (el oxígeno del aire). Por ello, los dos parámetros básicos que determinan la inflamabilidad de un fluido combustible son la temperatura de autoinflamación y el intervalo de inflamabilidad. Los parámetros característicos de los líquidos inflamables (punto de inflamación y punto máximo de inflamabilidad) son valores —de gran aplicación práctica— que proceden de los límites de inflamabilidad; cuando se indica que el punto de inflamación de un líquido es aquella temperatura en la que "...emite suficiente cantidad de vapor para que la mezcla sea susceptible de inflamarse, en presencia de un foco de ignición o por un aporte de una energía de activación externa" estamos suponiendo que ese aporte de ignición llevará al menos a una pequeña porción de los vapores desprendidos a alcanzar una temperatura superior a la de autoignición.

La temperatura de autoignición de un gas o vapor es aquella a la cual entrará en combustión en el aire siempre que se encuentre dentro del intervalo de concentración adecuado. Se denomina también punto de autoignición. En la tabla 1 de este capítulo se muestran algunos valores.

#### Intervalo de inflamabilidad

Para que sea posible la ignición, debe existir una concentración de combustible suficiente en una atmósfera oxidante dada. Una vez que se inicia la combustión es imprescindible un aporte continuo de combustible y comburente para que se mantenga.

Pero no todas las mezclas combustible-comburente son susceptibles de entrar en combustión, sino que solamente reaccionarán algunas mezclas determinadas. Se definen los límites de inflamabilidad como los límites extremos de concentración de un combustible en mezcla inflamable con un comburente. El límite superior de inflamabilidad (LSI) es la máxima concentración de vapores de combustible en el aire, por encima de la cual no se produce la combustión; y el límite inferior de inflamabilidad (LII) es la mínima concentración de vapores de combustible, en mezcla con el aire, por debajo de la cual no se produce la combustión.

Estas concentraciones se expresan en porcentaje en volumen de vapores de combustible dispersos en un comburente (el comburente más representado en la bibliografía es el aire).

Las concentraciones intermedias entre ambos límites están incluidas en el intervalo de inflamabilidad, y son todas las mezclas capaces de entrar en combustión.

Por debajo del LII la mezcla es demasiado pobre en combustible para arder, y por encima del LSI la mezcla es demasiado pobre en comburente.

**Tabla 5**  
**LÍMITES DE INFLAMABILIDAD DE ALGUNOS LÍQUIDOS**  
**Y GASES COMUNES A TEMPERATURA AMBIENTE**

GASES	% Vapor en aire		LÍQUIDOS	% Vapor en aire	
	LII	LSI		LII	LSI
Propano	2,2	9,5	Tolueno	1,2	7,1
Acetileno	2,5	100,0	Etanol	3,3	19,0
Amoniaco	1,5	28,0	Acerona	2,6	12,8
Etileno	2,7	36,0	Benceno	1,4	7,1
Metano	5,0	15,0	Aguarás	1,1	6,0
Hidrógeno	4,0	75,0	Sulfuro de carbono	1,2	44,0

Ambos límites, en condiciones ambientales normales de presión y temperatura, no se ven afectados sensiblemente por pequeñas variaciones de las mismas, pero, cuando el aumento de temperatura es muy elevado, se amplía el intervalo de inflamabilidad.

En la bibliografía estadounidense se les suele dar también el nombre de límites de explosividad. Ambas denominaciones son sinónimas puesto que el que la mezcla se inflame, o explote, depende de otras circunstancias y no de la concentración.

### *Puntos de inflamación*

Punto de inflamación es la mínima temperatura a la que una sustancia combustible, en presencia de aire, emite suficiente cantidad de vapor para que la mezcla sea susceptible de inflamarse, en presencia de un foco de ignición o por un aporte de una energía de activación externa. Este término suele aparecer en la bibliografía anglosajona bajo el nombre de

*flash-point*. Se aplica a materiales líquidos; también a aquellos sólidos que funden sin descomponerse pero no a los que se descomponen (pirrolizan) bajo acción del calor.

El punto de inflamación de los combustibles líquidos se determina mediante ensayos normalizados, que pueden ser de dos clases:

- En vaso cerrado, aplicable a líquidos de bajo punto de ebullición (volátiles), en el que se determina la temperatura a la cual se desprende suficiente cantidad de vapor como para alcanzar el límite inferior de inflamabilidad en situación de equilibrio en recintos cerrados.
- En vaso abierto, aplicable a todos los líquidos inflamables, en el que se determina la temperatura a la cual se desprende suficiente cantidad de vapor como para alcanzar el límite inferior de inflamabilidad en situación de equilibrio en recintos amplios o al aire libre.

**Tabla 6**  
**PUNTOS DE INFLAMACIÓN**

COMPUESTO	Punto de inflamación (°C)
Etanol	18,2
Tolueno	4,4
Benceno	-18,0
Aguarás	-11,0
Sulfuro de carbono	38,0
Gasolina	-43,3

*Punto de incendio*. Existe otra temperatura particular y es aquella a la que un combustible emite vapores con suficiente velocidad para propiciar la combustión continuada. Dicha temperatura se denomina punto de incendio, y suele estar unos grados por encima del punto de inflamación.

Punto mínimo y máximo de inflamabilidad

Así como existe una temperatura mínima a la cual el combustible emite suficientes vapores como para alcanzar el límite inferior de inflamabilidad, existe una temperatura máxima por encima de la cual la concentración de vapor es demasiado alta, por lo que se supera el límite superior de inflamabilidad y la combustión no continúa por defecto de oxígeno. Estas temperaturas mínima y máxima se llaman punto mínimo y máximo de inflamabilidad, respectivamente.

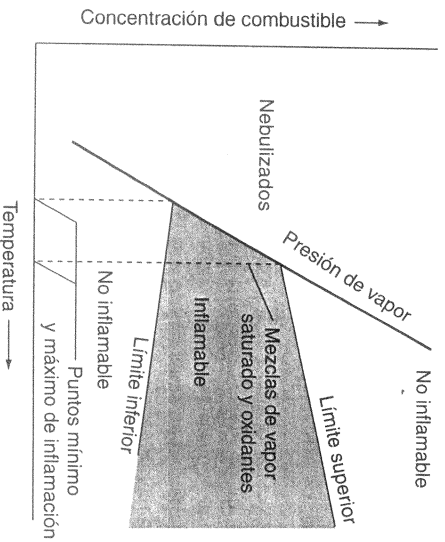


Figura 14. Puntos mínimo y máximo de inflamabilidad.

En la figura 14, se representan los puntos mínimo y máximo de inflamabilidad para un combustible líquido en equilibrio con sus vapores en el aire.

Los puntos de inflamabilidad de un líquido varían en proporción directa con la presión ambiental.

#### MECANISMOS DE EXTINCIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, con frecuencia los textos emplean un triángulo o un tetraedro para representar los elementos básicos del fuego, siendo ésta una forma intuitiva del fuego y de sus mecanismos de extinción.

En este «tetraedro del fuego», cada cara representa uno de los elementos básicos para que se produzca la combustión. Por tanto, bastará con eliminar una cara del tetraedro para romper el equilibrio y extinguir el fuego.

Según se actúe sobre unos u otros elementos de la reacción de combustión, representados en el «tetraedro del fuego», existirán distintos mecanismos de extinción:

- Actuación sobre el combustible:
  - a) Retirada de aporte.
  - b) Dilución.

- Actuación sobre el contacto combustible-comburente: sofocación.
- Actuación sobre el comburente: inertización.
- Enfriamiento.
- Inhibición.

#### Enfriamiento

El fuego se extingue por enfriamiento del combustible; las moléculas del agente extintor absorben energía, que se transforma en aumento de su temperatura y/o cambio de estado (generalmente, vaporización) o en la rotura de los enlaces químicos entre sus átomos; la sustracción de dicha energía impide alcanzar la energía de activación de la reacción entre combustible-comburente o elimina la formación de vapores combustibles.

#### Retirada de aporte

Dado que el fuego es una combustión de aportación, una de las formas de eliminarlo es precisamente la retirada del aporte del combustible. Ejemplos muy comunes de este mecanismo son el corte de suministro de líquido o gas combustible cerrando una válvula de alimentación o la retirada, por trasiego, de combustible aún no afectado por el fuego, para detener su combustión.

#### Dilución

Se disminuye la concentración de combustible, con el fin de impedir que se aporte en cantidad suficiente para mantener la combustión. Puede considerarse un caso particular (imperfecto) del mecanismo de retirada de aporte.

El nombre de este mecanismo de extinción le viene dado por la forma de extinción que le corresponde aplicando agentes extintores, como el agua, para diluir combustibles líquidos de tipo polar.

#### Sofocación

Se interpone una barrera física entre el combustible —o los vapores desprendidos por éste durante su combustión— y el comburente, evitando el contacto entre ambos. En aquellas combustiones en las que se desprende oxígeno no resulta efectivo este mecanismo de extinción.

Ejemplos de este mecanismo de extinción son la aplicación de mantas, la proyección de capas de espuma o cualquier método de confinamiento del fuego.

### Inertización

Se disminuye la concentración o cantidad de comburente (o se elimina totalmente). En aquellas combustiones en las que se desprende oxígeno no resulta efectivo este mecanismo de extinción.

La inertización y la sofocación se utilizan con frecuencia para denotar mecanismos de extinción coincidentes. De hecho, casi nunca se consigue la separación total entre el combustible y el comburente, sino que se genera una zona intermedia en la que el comburente se encuentra diluido (por la acción de un gas inerte, por ejemplo) o se va consumiendo sin renovación (efecto de capa producido por una manta cortafuego, o por la proyección de espuma). Aunque es de uso común denominar inertización a la acción preventiva consistente en la dilución del comburente previa a la iniciación del fuego, se considerará como *inertización* el mecanismo de extinción que genera una zona de comburente diluido, y *sofocación* al que genera una zona sin renovación de comburente.

### Inhibición

El fuego se extingue por inhibición desactivando químicamente (enfriando) los radicales libres intermedios y por desactivación física interponiendo moléculas del agente entre las especies reactivas. Ambos efectos provocan la no continuidad de la reacción en cadena.

### AGENTES EXTINTORES: SUSTANCIAS Y ELEMENTOS

A partir de los diferentes mecanismos de extinción de fuegos, se han desarrollado (y se siguen generando en la actualidad) multitud de tipos de *agentes extintores de incendios*, pertenecientes a diversas familias o clases. Todos ellos tienen por objeto reducir y eliminar el fuego en un incendio con una correcta utilización de los medios de extinción existentes.

Para que se produzca la extinción de un incendio se debe aplicar la cantidad necesaria del agente adecuado al tipo de fuego. El objeto de este apartado es el estudio y descripción de los agentes extintores utilizados en la actualidad, sus aplicaciones específicas y recomendaciones de uso. Se

incluyen también *elementos extintores*, que no pueden ser considerados propiamente agentes extintores (sustancias extintoras), pero que se utilizan, en ocasiones con gran efectividad, en la extinción de los incendios.

*Agente extintor* «es el producto cuya acción, al ser proyectado sobre un fuego, provoca la extinción del mismo» (UNE 23-600-90).

Los agentes extintores actúan simultáneamente de acuerdo con varios de los mecanismos de extinción descritos, pero generalmente es el efecto particular de uno solo de ellos el determinante de su efectividad extintora.

Cuando a lo largo de este apartado se hace referencia a la *efectividad de los agentes extintores frente a fuegos de diversas clases*, se ha de entender por ello la capacidad de un agente extintor para extinguir fuegos de una clase determinada, bajo ciertas condiciones (confinamiento, situación del combustible, etc.). Asimismo, las clases de fuego a las que se hace referencia, y para las que se califica oficialmente a los agentes extintores en algunas ocasiones (por ejemplo, en extintores de incendio), obedecen a la consideración —más restrictiva que la definida por la Norma UNE 23-010-76— que se expone a continuación.

La característica propia de los *fuegos de clase A* es que al arder originan brasas que permanecen en combustión una vez extinguidas las llamas, con la posibilidad de regenerar el fuego.

Las características propias de los *fuegos de clase B* son: a) que no originan brasa capaz de regenerar el fuego; b) que poseen una superficie superior donde se produce la combustión de forma que, al ser cubierta por un aislante, se da lugar a la extinción, y c) que el combustible es menos denso que el agua, impidiendo así que ésta sea el aislante que permita la extinción.

Las características propias de los *fuegos de clase C* son: a) que no originan brasa capaz de regenerar el fuego y b) que no poseen una superficie definida superior donde se produce la totalidad de la combustión, sino que ésta se produce en forma que se podría denominar «volumétrica» (chorros, dardos, esferas, etc.). Una precisión importante para esta clase de fuegos: no deben extinguirse a menos que se pueda eliminar el aporte de combustible, puesto que la aportación de éste origina una atmósfera potencialmente inflamable o explosiva, de dimensiones no controlables. Si el aporte de combustible no puede eliminarse, es más conveniente mantener la combustión controlada, protegiendo los elementos cercanos (mediante refrigeración, en la mayoría de los casos) del daño que la combustión les pudiera originar.

La característica propia de los *fuegos de clase D* es la inadecuación de los agentes extintores más comunes para ser utilizados sobre ellos.

Para que sea efectivo el uso de un determinado agente extintor, éste debe ser el indicado en cada caso específico. Para facilitar la elección, se

detallan las aplicaciones más habituales (tabla 7) de cada agente extintor, así como de las distintas propiedades y características extintoras de los utilizados con mayor frecuencia.

**Tabla 7**  
**APLICACIÓN DE LOS AGENTES EXTINTORES<sup>8</sup>**

USOS			
	NO RECOMENDADO/ NO UTILIZAR <sup>7</sup>	CONTROL	EXTINCIÓN (Excluida inundación total)
Fuegos clase A			Polvo ABC Agua Espuma Halon 1211 Halon 1301, agentes químicos «limpios» y CO <sub>2</sub> <sup>2</sup>
Fuegos clase B	Agua a chorro <sup>3</sup>	Agua pulverizada	Polvos ABC y BC Espuma <sup>5</sup> Halones y agentes químicos «limpios» Gases inertes y CO <sub>2</sub>
Fuegos clase C		Agua pulverizada <sup>6</sup> Espuma <sup>6</sup>	Polvos ABC y BC Halones y agentes químicos «limpios» Gases inertes y CO <sub>2</sub>
Fuegos clase D	Agua Espuma CO <sub>2</sub>	<sup>4</sup>	Polvos especiales <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Adecuado al metal que se considere.

<sup>2</sup> Fuegos superficiales exclusivamente.

<sup>3</sup> Puede producir la extensión y/o el derrame del combustible. Sólo es aceptable si se consigue una rápida emulsificación o dilución, o en el caso de combustibles líquidos más densos que el agua e inmiscibles en ésta.

<sup>4</sup> Pueden utilizarse agentes «ocasionales», tales como la arena, siempre que estén secos.

<sup>5</sup> Adecuada al combustible que se considere.

<sup>6</sup> Enfriamiento del recipiente origen del fuego y/o de las superficies afectadas.

<sup>7</sup> En presencia de tensión eléctrica, se recomienda no utilizar agua ni espuma, especialmente en medios manuales.

<sup>8</sup> La información contenida en esta tabla está referida a las condiciones de aplicación más habituales. Otras aplicaciones particulares no se hallan recogidas (inundación total, aplicación de las espumas en función de su coeficiente de expansión y de sus propiedades frente a distintos tipos de líquidos combustibles, etc.).

### Agentes extintores hidráticos

#### Agua

El agua es el agente extintor más conocido y empleado como tal desde tiempos remotos.

a) *Propiedades generales.* Las propiedades que favorecen el empleo y la acción extintora del agua son las siguientes (los valores están referidos a condiciones normales, presión atmosférica y temperatura ambiente):

- Es un líquido relativamente estable en un amplio rango de temperaturas.
  - Su calor específico es alto, 1 cal/g (4,18 kJ/kg), en comparación con otros líquidos comunes. Esto significa que para elevar la temperatura de 1 kg de agua en 1 °C hace falta (disipa) una energía de 4,18 kJ.
  - El calor de vaporización es también relativamente elevado, aproximadamente 539 cal/g (2.253 kJ/kg), luego para convertir 1 kg de agua en vapor (a temperatura constante de 100 °C) es necesario aportar 2.253 kJ.
  - Cuando el agua se vaporiza, su volumen aumenta 1.600 veces y el vapor producido desplaza al aire que rodea al fuego y, por tanto, al oxígeno disponible para la combustión.
  - Su densidad relativamente alta (1 kg/l) hace posible su proyección a largas distancias.
  - Su elevada tensión superficial (73 mN/m) favorece su dispersión en pequeñas gotas y nieblas, aumentando la eficacia específica de extinción.
  - La viscosidad en estado líquido varía relativamente poco (de aproximadamente 1.800 µPa · s a 300 µPa · s entre 0 y 100 °C), lo que permite el transporte a través de tuberías, mangueras y boquillas bajo muy diversas condiciones.
- Por otro lado, el agua es más densa que la mayoría de combustibles líquidos, lo que le hace perder efectividad en la extinción de éstos.

b) *Propiedades extintoras.* Los efectos del agua para la extinción del fuego son los siguientes:

- Enfriamiento: producido por la cantidad de calor que absorbe para vaporizarse o aumentar su temperatura. La transferencia de calor aumenta al incrementar la superficie de intercambio, por lo cual la pulverización favorece la capacidad de enfriamiento. En fuegos de líquidos viscosos inmiscibles en agua (fuel-oil, por ejemplo), al aplicar ésta en pulverización gruesa puede producirse el fenómeno de «emulsionamiento», que consiste en la dispersión del combustible, provocando el descenso de su temperatura y, por tanto, disminuyendo el desprendimiento de los vapores volátiles.

La extinción con agua se realiza, en la gran mayoría de los casos, por este mecanismo.

- Inertización: debida a la atmósfera que se genera al vaporizarse el agua, que reduce la concentración de oxígeno en las proximidades del combustible.
- Dilución: para extinguir los fuegos de algunos productos inflamables hidrosolubles (alcoholes, cetonas).
- Sofocación: en los fuegos de líquidos insolubles en agua y más densos que ésta, con superficie horizontal de combustión y confinados, puede aplicarse suavemente sobre la superficie del líquido para crear una película o capa que sobrenade y evite el contacto combustible-comburente.

c) *Aplicaciones del agua.* Como agente extintor líquido presenta distintas aplicaciones, según su forma de proyección:

- Agua a chorro: tiene mucho alcance y actúa enfriando el foco o las superficies expuestas a la radiación térmica producida por un incendio. Se usa principalmente proyectado desde larga distancia sobre fuegos de clase A.
- Agua pulverizada: se proyecta en forma de multitud de pequeñas gotas. Tiene muy poco alcance, pero realiza un enfriamiento muy rápido. Se utiliza fundamentalmente para la extinción de fuegos de combustibles sólidos y para el control de fuegos de clases A, B y C.
- Agua nebulizada.

Aditivos del agua contra incendios

Dado el alto grado de disponibilidad de este agente, se han realizado estudios para mejorar su efectividad y utilización en determinadas situa-

ciones. Estas mejoras se consiguen con aditivos, que producirán distintos efectos en cada caso:

- Humectantes: el agua tiene una tensión superficial alta, por lo que, en muchos casos, no penetra ni se difunde en los combustibles incendiados. Los agentes humectantes reducen considerablemente la tensión superficial y aumenta la superficie disponible para la absorción de calor. Con ello, se mejora la penetración del agua.

Los agentes humectantes deben estar aprobados para su empleo en protección contra incendios, ya que la mayoría son tóxicos, corrosivos o inestables cuando se mezclan con agua.

- Espesantes: el agua tiene una baja viscosidad. Para hacer que esta viscosidad aumente, se le agregan aditivos espesantes.

Con estos aditivos se consigue que el agua se adhiera y se fije más fácilmente al material en ignición, formando una capa continua de espesor mayor sobre la superficie del combustible.

- Anticongelantes: para reducir la temperatura de congelación del agua se le pueden añadir productos anticongelantes que hacen que descienda su punto de congelación.

- Inhibidores de corrosión: cuando se añaden al agua algunas sustancias con objeto de mejorar alguna de sus características, indistintamente pueden potenciarse otros efectos negativos, como son la conductividad eléctrica y la corrosividad sobre ciertos metales y aleaciones. En este último caso, se adicionan pequeñas cantidades de productos (por ejemplo, dicromato sódico) que contrarrestan esta acción.

- Modificadores de flujo: para reducir la pérdida de carga debida, por una parte, a la fricción entre el agua y las paredes de las conducciones y, principalmente, por el flujo turbulento desarrollado dentro de una conducción a altas velocidades, se agregan soluciones de polímeros lineales que rebajan la turbulencia (por ejemplo, polioxietileno). De esta forma aumentan el caudal suministrado y la presión en el punto de descarga.



## Aplicaciones del agua

- Fuegos de clase A: el agua es *aplicable* a la extinción de incendios de combustibles sólidos ordinarios (clase A).  
Dadas las características de algunos combustibles ordinarios, el agua puede precisar el complemento de aditivos para mejorar su capacidad de penetración o de adherencia y conseguir la extinción.  
No obstante, el agua sin aditivos es agente recomendable para el control de todos los incendios de combustibles clase A.  
El agua podrá *aplicarse* mediante extintores manuales (a chorro o, preferiblemente, pulverizada), mangueras de impulsión (chorro-niebla), sistemas fijos (agua pulverizada) y elementos de proyección pesados (monitores, normalmente de agua a chorro).
- Fuegos de clase B: el agua *no es*, normalmente, un agente eficaz para la extinción de fuegos clase B, de combustibles no polares (no solubles en agua), debido a su elevada densidad. Esta característica puede mejorarse mediante el agregado de aditivos adecuados.  
No obstante, el agua es capaz de extinguir por dilución los fuegos de combustibles líquidos polares. Además, el agua pulverizada es recomendable para el control de incendios de líquidos inflamables. En ambos casos, sin embargo, no debe utilizarse si puede propiciar derrames de líquidos inflamables contenidos en recipientes, para evitar la extensión del incendio. Por otra parte, su uso es muy adecuado para la refrigeración exterior de las paredes de los recipientes.
- Fuegos de clase C: el agua pulverizada es recomendable para el control de incendios en los que se puedan ver involucrados combustibles gaseosos y para refrigeración exterior de recipientes expuestos a radiación que contengan gases.
- Fuegos de clase D: el agua no podrá utilizarse en fuegos de este tipo.
- Tensión eléctrica: el agua es conductor de la electricidad. No es recomendable su utilización en medios manuales si hay equipos eléctricos bajo tensión. El agua pulverizada por sistemas fijos

puede ser utilizada para control del incendio en dichas circunstancias, siempre que la pulverización y la distancia de proyección sean las adecuadas.

Los sistemas de agua nebulizada (*water mist* o *fine water spray*) han experimentado un notable desarrollo como técnicas alternativas al halón 1301 para la protección de incendios de equipos eléctricos y electrónicos (e incluso líquidos inflamables). Básicamente consisten en la pulverización del agua mediante boquillas especiales para conseguir tamaños de gota inferiores a 1 mm. Su notable efectividad consigue reducir en más del 90% el volumen de agua utilizada por las boquillas pulverizadoras tradicionales, con la consiguiente disminución de los daños por agua; no existen problemas medioambientales y el coste del agente es mínimo. Su mayor inconveniente es la baja penetración en las corrientes de convección generadas por el fuego.

## Espuma

La espuma (también «espuma física») es una masa de burbujas, obtenida al introducir aire, mediante un proceso de tipo físico, en una solución espumante. Se encuentran totalmente en desuso las espumas obtenidas mediante reacción química («espumas químicas») que se utilizaron en un principio.

«La *espuma* destinada a la extinción de incendios es un agregado estable de pequeñas burbujas, que tiene la propiedad de cubrir y adherirse a superficies verticales y horizontales, que al fluir libremente sobre la superficie incendiada forma una capa resistente y continua que aísla del aire e impide la salida a la atmósfera de vapores volátiles combustibles» (UNE 23-603-83 y UNE 23-600-90).

*Espumante* «es la mezcla de agua y espumógeno que se obtiene introduciendo éste de forma continua en el flujo de agua o mediante su mezcla en un tanque de almacenamiento» (UNE 23-603-83 y UNE 23-600-90).

*Espumógeno* «es un concentrado líquido de agente emulsor (...) que es capaz de producir soluciones espumantes generadoras de espuma» (UNE 23-603-83 y UNE 23-600-90).

a) *Propiedades generales de las espumas contra incendios.* La gran variedad de tipos de espumógenos y, por tanto, de espumas existentes hace muy difícil la generalización de sus, a veces dispares, propiedades:

- Toxicidad nula o muy ligera. Determinados espumógenos pueden producir irritación, que se suele eliminar por simple lavado con agua.
  - Todas las espumas presentan una cierta conductividad eléctrica, normalmente mayor cuanto menor es su grado de expansión, por lo que no se deben utilizar en presencia de equipos con tensión eléctrica, salvo determinadas aplicaciones especiales.
  - Ciertos agentes, y principalmente los polvos extintores, pueden ser incompatibles con las espumas y descomponerlas instantáneamente. Asimismo, no suelen ser compatibles los espumógenos de diferentes tipos, aunque sí las espumas obtenidas.
  - La mayoría de las espumas, salvo tipos especiales, son destruidas por los combustibles líquidos de tipo polar (alcoholes, cetonas, acetatos, éteres, etc.).
- b) *Propiedades extintoras.* Los mecanismos de extinción de las espumas son los siguientes:
- Sofocación: eliminan el contacto del combustible con el aire e impiden la liberación de vapores inflamables. En combustibles líquidos con superficie de combustión horizontal, actúan desplazando el frente de las llamas.
  - Enfriamiento: enfrían el combustible, así como las superficies de los recipientes de contención de líquidos inflamables.
- c) *Características.* Aunque todas las espumas actúan en mayor o menor medida según los principios antes citados, cada una de ellas suele presentar unas características peculiares que las hacen más o menos adecuadas al tipo de fuego que hay que combatir. Estas características básicas son:
- Cohesión o adherencia entre las diferentes burbujas para conseguir una capa resistente.
  - Supresión de vapores inflamables, que minimice el riesgo de reignición.
  - Estabilidad o capacidad de retención del agua con el fin de conseguir el adecuado grado de enfriamiento. Se expresa mediante el tiempo de drenaje.
  - Fluidéz que le permita extinguir rápidamente un fuego, salvando cualquier elemento que obstaculice su extensión o desplazamiento.

- Resistencia al calor, que le permita resistir los efectos del propio fuego o elementos calientes, como las paredes de un tanque, sin degradación importante de la capa.
  - Resistencia a ser contaminada por el propio combustible, lo que podría llevar a la destrucción de la capa, al arder el combustible captado.
  - Resistencia a los combustibles polares, en cuanto que éstos son capaces de extraer, por disolución, el agua presente en la espuma, destruyendo la capa formada.
- d) *Tipos de espuma:*
- 1) Según el espumógeno utilizado para generar la espuma, se pueden distinguir los siguientes tipos:
- Espumas proteínicas (P): obtenidas a partir de concentrados de polímeros proteínicos naturales de alto peso molecular, obtenidos, a su vez, mediante la transformación e hidrólisis química de proteínas sólidas naturales. Se caracterizan por una excelente resistencia térmica y estabilidad, pero unas muy pobres fluidéz y resistencia a la contaminación.
  - No suelen ser compatibles con los polvos extintores, ni permiten combatir fuegos de combustibles polares. No son tóxicas y son biodegradables después de diluirse.
  - Los espumógenos proteínicos son de color marrón oscuro, casi negro, y tienen un fétido olor característico.
  - Espumas fluoroproteínicas (FP): formadas a partir de concentrados obtenidos mediante la adición de agentes fluorados activos a concentrados proteínicos, con lo que se consigue una notable mejora de la fluidéz y resistencia a la contaminación respecto a la espuma proteínica.
- Estas espumas suelen ser compatibles con los polvos extintores.
- No son tóxicas y son biodegradables después de disolverse.
  - Espumas formadoras de película acuosa AFFF (*Aqueous Film Forming Foam*): obtenidas a partir de agentes espumantes de tipo sintético o proteínico combinados con elementos fluorados activos, cuya principal característica es la baja tensión superficial de las espumas producidas. Esta característica tiene como contrapartida una menor estabilidad y cohesión.

Estas espumas forman una fina película que se extiende rápidamente sobre la superficie del combustible. Su efectividad es mayor cuanto mayor es la tensión superficial del combustible.

Estas espumas suelen ser compatibles con todo tipo de polvos extintores.

— Otras espumas sintéticas: en la actualidad se están desarrollando diversos espumógenos de tipo sintético, que combinen las ventajas de los tipos anteriores. Para determinar las características de cada uno de estos tipos habría que recurrir, en cada caso, a un análisis de las mismas.

Entre éstas se encuentran los espumógenos generadores de espumas de media y alta expansión.

— Espumas anti-alcohol (AR): desarrolladas especialmente para evitar su destrucción por los combustibles polares (alcoholes, cetonas, acetatos, éteres, etc.), aunque también pueden ser usadas en fuegos de hidrocarburos. Existen dos tipos generales de estas espumas, según sean de base proteínica o sintética.

Las primeras están basadas en la adición al concentrado proteínico o fluoroproteínico de elementos insolubles en los combustibles polares, que precipitan en la estructura de las burbujas generadas.

Las de origen sintético están formadas por estabilizadores sintéticos, agentes espumantes, derivados fluorados y aditivos especiales con características gelificantes, que permanecen en la espuma hasta que ésta entra en contacto con cualquier combustible polar.

En cuanto comienza la disolución del agua en dichos combustibles, forman una membrana continua, que impide la destrucción de la espuma.

— Otras espumas: existen también espumas especiales para controlar y combatir el desprendimiento de vapores debidos a derrames de productos o compuestos tóxicos. Estas espumas son de aplicación únicamente para estos supuestos, y no deben confundirse con las espumas contra incendios.

Las características de los principales tipos de espuma son, en líneas generales, las reseñadas. En la actualidad, las espumas suelen combinar propiedades correspondientes a varios tipos básicos. En cada caso se recomienda solicitar los certificados de pruebas correspondientes, según

procedimientos estándar internacionalmente reconocidos, que avalen las características de cada producto.

Las normas españolas que contemplan los ensayos de propiedades físicas de las espumas de baja expansión son: UNE 23-604 (proteínicas) y UNE 23-635 (AFFF). Esta última abarca también ensayos de propiedades químicas y de comportamiento frente a fuegos de hidrocarburos (heptano) y líquidos combustibles polares (alcohol isopropílico y acetona).

2) Según el porcentaje nominal de mezcla del espumógeno establecido por el fabricante para obtener espuma con las características adecuadas (valores en volumen):

En la actualidad se dan porcentajes nominales muy variados (la mayoría se encuentran entre el 1% y el 6%), siendo las de tipo anti-alcohol las que suelen especificar diferentes concentraciones (mayores para combustibles polares que para hidrocarburos).

Los espumógenos para espumas de media y alta expansión se suelen utilizar en porcentajes de mezcla del 1 al 2%, según los tipos.

Se debe destacar la importancia de utilizar cada espumógeno en el porcentaje indicado por el fabricante. La utilización de espumógenos en un porcentaje mayor que el recomendado no sólo resulta antieconómico, sino que da lugar a espumas excesivamente espesas y con una peor fluidez, sin que mejoren sustancialmente el resto de las características, a la vez que se disminuye el tiempo de autonomía.

Por otra parte, si la mezcla agua-espumógeno resulta muy diluida, se obtendrá una espuma menos estable y resistente al calor, con lo que se deteriorará más rápidamente, incluso sin llegar a formar una verdadera capa protectora.

3) Atendiendo al coeficiente de expansión de las espumas, éstas se clasifican en: baja, media y alta expansión.

El coeficiente de expansión es la relación entre el volumen final de la espuma y el original del espumante que la produce, y depende de la naturaleza del espumógeno, de las condiciones de la mezcla espumante (concentración, temperatura) y del proceso de generación de espuma: aparato generador, caudal y naturaleza del gas generador (aire limpio, humo), presión y contrapresión de trabajo, etc.

- Espumas de baja expansión: aquellas cuyos coeficientes de expansión están comprendidos entre 3 y 30 (UNE 23-603-83).
- Espumas de media expansión: aquellas cuyos coeficientes de expansión están comprendidos entre 30 y 250 (UNE 23-603-83).
- Espumas de alta expansión: aquellas cuyos coeficientes de expansión están comprendidos entre 250 y 1.000 (UNE 23-603-83).

#### Aplicaciones de las espumas

- Espumas de baja expansión: el principal campo de aplicación de las espumas es el de los fuegos de clase B, siendo el agente más recomendable para combatir o prevenir este tipo de fuegos en grandes tanques de almacenamiento o donde sean previsible grandes cantidades de cierta entidad. También puede ser aceptable su uso para combatir fuegos de clase A.

La espuma resulta recomendable para:

- Extinguir fuegos de líquidos de menor densidad que el agua.
- Prevenir la ignición de derrames.
- Extinguir fuegos superficiales en combustibles sólidos.

No resulta eficaz en:

- Fuegos de gases.
- Fuegos en fugas a presión de líquidos.

No debe utilizarse en fuegos de o en presencia de materiales que reaccionan con el agua, y es desaconsejable su utilización en presencia de tensión eléctrica.

Debe prestarse especial atención en su aplicación sobre líquidos que puedan alcanzar en toda su masa una temperatura superior al punto de ebullición del agua (*boil-over*).

Aunque existen extintores portátiles de espuma, su aplicación se suele realizar mediante medios manuales o sistemas fijos especialmente diseñados. El AFFF también puede ser descargado a través de rociadores de agua normales.

Algunas aplicaciones comunes son:<sup>a</sup>

- Tanques de almacenamiento de combustibles, de techo fijo o flotante.
- Diques de contención.
- Áreas de carga y descarga de camiones cisterna.
- Hangares de aviones y helipuertos.
- Cuartos de bombas, tanques de aceite, etc.

- Espumas de alta expansión: las espumas de alta expansión son adecuadas para la extinción de fuegos de clases A y B de no gran aporte calorífico, en locales cerrados o difícilmente accesibles. Su efectividad extintora disminuye ante fuegos de aporte calorífico alto, debido a la combustión que descompone la espuma y utiliza el oxígeno contenido en las burbujas para mantener la combustión.

Aunque la espuma de alta expansión es menos conductora de la electricidad que el agua y que la espuma de baja expansión, tampoco debe ser utilizada sobre equipos eléctricos bajo tensión.

Las espumas de alta expansión pueden ser utilizadas, también, para combatir fuegos de derrames de gas natural licuado (LNG) y/o gases licuados del petróleo (LPG).

- Espumas de media expansión: sus características, usos y restricciones son intermedias entre los dos tipos de espuma anteriores. Se utilizan cuando se requiere mayor rapidez de recubrimiento que la obtenida con las de baja expansión o mayor capacidad de enfriamiento que la obtenida con las espumas de alta expansión.

#### Gases inertes

##### Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

El dióxido de carbono (también «nieve carbónica» o «anhídrido carbónico») es el agente extintor gaseoso más utilizado, dadas sus características y propiedades.

a) *Propiedades generales:* En condiciones normales, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas incoloro e inodoro, que por compresión y enfriamiento puede llegar a licuar e incluso a solidificar.

No es corrosivo ni deja residuos.

La conducción por las tuberías se efectúa por su propia tensión de vapor, que proporciona presión suficiente.

Es muy mal conductor de la electricidad.

Durante la descarga el agente tiene una temperatura muy baja (inferior a -40 °C).

Es un producto asfixiante y puede resultar peligroso para la salud en concentraciones superiores al 9%.

En las mismas condiciones, el dióxido de carbono tiene una densidad del 50 % superior a la del aire.

No existe actualmente norma UNE relativa al CO<sub>2</sub> como agente extintor. La norma ISO 5923 contempla las características físico-químicas y métodos de ensayo de este agente.

b) *Propiedades extintoras.* Los efectos extintores del dióxido de carbono son los siguientes:

— Inertización: la descarga de CO<sub>2</sub> genera, en la proximidad de la superficie en combustión, una atmósfera pobre en oxígeno, lo que provoca que la oxidación se reduzca considerablemente. Dependiendo del combustible, la concentración mínima (práctica) de CO<sub>2</sub> para extinguir fuegos superficiales varía entre el 30 % y el 75 %.

— Enfriamiento: al descargar el agente directamente sobre el combustible, se produce un descenso de la temperatura. Esta propiedad es más apreciable en fuegos superficiales, pero es un mecanismo secundario de extinción.

#### Aplicaciones del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

— Fuegos de clase A: el dióxido de carbono tiene muy baja eficacia frente a fuegos clase A, reduciéndose ésta a la extinción de fuegos muy superficiales, tanto mediante sistemas fijos como mediante extintores (los extintores de CO<sub>2</sub> no tienen eficacia A<sub>1</sub>).

— Fuegos de clase B y C: el CO<sub>2</sub> es efectivo frente a fuegos de combustibles líquidos o gaseosos, aunque su efectividad específica es baja. Habitualmente se utiliza mediante sistemas fijos de inundación total o de aplicación local.

— Fuegos de clase D: el CO<sub>2</sub> no es efectivo frente a fuegos de metales reactivos como el sodio, potasio, magnesio, titanio, etc., ni frente a hidruros metálicos, ya que provocan su descomposición.

— Equipos eléctricos: el CO<sub>2</sub> es el agente extintor menos conductor de la electricidad. Por ello, es el agente adecuado para la extinción de fuegos con equipos eléctricos bajo tensiones elevadas. El uso fundamental de los extintores de CO<sub>2</sub> es, precisamente, el de protección de equipo eléctrico, pues los fuegos originados en estos equipos suelen tener muy poca profundidad de brasa.

El dióxido de carbono es especialmente limpio. No deja residuo alguno, por lo que es recomendable para equipos eléctricos o mecánicos delicados. Sin embargo, se descarga a bajas temperaturas, por lo que puede dañar equipos térmicamente delicados, como son, entre otros, los equipos electrónicos, tanto a través de una descarga directa accidental como de una descarga de inundación total.

— Toxicidad y otros peligros para las personas: el CO<sub>2</sub> no es tóxico, pero sí asfixiante, ya que su propiedad extintora fundamental es la de inertización del recinto protegido, por lo que la atmósfera originada impide la respiración (la concentración máxima de CO<sub>2</sub> en el aire que puede soportar una persona es del 9 %, muy inferior a la concentración mínima requerida para la extinción de incendios).

El CO<sub>2</sub> no debe utilizarse en medios manuales de extinción en recintos cerrados de pequeño tamaño ni en sistemas de inundación total de zonas que puedan estar ocupadas por personas.

La descarga de CO<sub>2</sub> a bajas temperaturas, puede originar quemaduras si se aplica directamente sobre la piel.

## Otros gases inertes y sus mezclas

Su utilización se ha extendido en gran manera a partir de la progresiva desaparición de los halones clásicos.

Son gases nobles (básicamente argón) y nitrógeno (las mezclas incluyen, en algún caso, pequeñas proporciones de dióxido de carbono y helio).

El mecanismo de extinción es, en este caso, mediante la inertización del recinto protegido. Algunos autores destacan que existe también un importante efecto de enfriamiento por parte del gas inerte. Son, por tanto, aplicables en sistemas de inundación total. No se descomponen, son baratos y no dañan al medio ambiente (son elementos presentes en el aire). Como desventajas, citar que los tiempos de descarga son prolongados: necesitan un volumen de almacenamiento de 8 a 10 veces mayor que en el caso del halón 1301 y requieren equipos de regulación, distribución y descarga más complejos.

## Aplicaciones de los gases inertes

Tanto los agentes químicos «limpios» como los gases inertes y sus mezclas se utilizan en la protección por inundación total de áreas y recintos cerrados en los que tradicionalmente se había venido empleando halón, tales como: equipos eléctricos y electrónicos (centros de proceso de datos y comunicaciones, aeronaves, salas de control y de máquinas, etc.); contenidos especiales y/o de alto valor (laboratorios, archivos, museos, bibliotecas, etc.) y, en general, en todos aquellos casos donde deba reducirse al mínimo el daño por abrasión o corrosión a equipos, la limpieza después de su empleo y en lugares donde la rapidez de extinción es imprescindible.

Los gases inertes también se utilizan en supresión y, sobre todo, prevención de explosiones.

La protección por medio de estos agentes en zonas ocupadas requiere el cálculo de las concentraciones de extinción para cada combustible y su comparación con la concentración más alta, con la cual no se han observado efectos adversos en las personas (índice NIOAEL). En caso de que la concentración de diseño sea mayor que el NIOAEL, no deberá ser utilizado dicho agente.

## Agentes químicos: sólidos, líquidos y vapores

## Polvo extintor

El polvo extintor se define como una sustancia química sólida en estado pulverulento empleada para la extinción de incendios.

El polvo extintor (también «polvo químico», «polvo químico seco», «polvo seco») está formado por sales inorgánicas, finamente pulverizadas, y aditivos.

a) *Composición.* Los agentes extintores de polvo son productos cuyo componente básico puede ser:

- Bicarbonato sódico.
- Bicarbonato potásico.
- Cloruro potásico.
- Bicarbonato de urea-potasio.
- Fosfato monoamónico.
- Metales alcalinos.

A estos componentes básicos se les agregan: estearatos metálicos, fosfato tricálcico, silicatos u otros productos que mejoren las características de fluidez, higroscopicidad y aislamiento eléctrico.

b) *Propiedades generales:*

- División en finas partículas (tamaño de partícula inferior a 500 µm).
- Toxicidad nula. Los productos empleados normalmente no son tóxicos; pero, cuando se descargan grandes cantidades, pueden originar trastornos respiratorios y dificultar la visibilidad.
- Mal conductor de la electricidad.
- A temperaturas inferiores a 60 °C el polvo es estable.

Según la composición del agente extintor se obtendrán distintos tipos de polvos extintores con aplicaciones específicas para cada caso.

Las normas UNE 23-601 y UNE 23-602 recogen las características generales y métodos de ensayo de los polvos extintores. La norma europea EN 615 relativa a polvo extintor (excepto el polvo de clase D) recoge, además, especificaciones sobre las propiedades físico-químicas. La norma ISO 7202 contempla, aparte de lo citado anteriormente, ensayos de fuego.

c) *Propiedades extintoras.* El polvo químico actúa en la extinción con los siguientes efectos:

- Enfriamiento: absorbe energía calorífica. Es un efecto prácticamente despreciable.
- Sofocación: el polvo polivalente o ABC, empleado sobre fuegos de clase A, al descomponerse por efecto del calor, produce un residuo (ácido metafosfórico) en la superficie en combustión que aísla el combustible del oxígeno del aire. Este efecto sólo es apreciable en estas circunstancias, y es el mecanismo más importante de extinción en fuegos de materiales que arden con brasa.
- Inhibición: cuando se descarga el agente sobre las llamas, los compuestos liberados se combinan con los radicales libres e impiden que éstos continúen la combustión. Es el efecto más importante en la extinción con polvo, particularmente en el tipo convencional o BC.

Cabe también citar el efecto de apantallamiento de la radiación térmica al proyectar una nube de polvo sobre el fuego. Este efecto es superior al observado durante una proyección de agua de similares proporciones.

d) *Tipos de polvos extintores.* En función de la capacidad de extinción de las diferentes clases de fuegos, se distinguen tres tipos de polvos extintores:

- Polvo convencional (también «polvo BC», «polvo normal» o «polvo ordinario»): apropiado para emplearlo en fuegos de clases B y C. Sus componentes básicos son bicarbonatos y sulfatos.
- Polvo polivalente (también «polvo ABC»): adecuado para combatir fuegos de clases A, B y C. Su componente básico es el fosfato monoamónico.
- Polvos especiales: adecuados para combatir fuegos de clase D. La materia base la constituye una mezcla de sales adecuada al tipo de metal sobre el que se vaya a actuar.

Aplicaciones de los polvos extintores

- Fuegos de clases B y C: el polvo extintor es recomendable para la extinción de fuegos de combustibles líquidos y gaseosos. Es

un agente con una gran efectividad específica. Puede utilizarse en extintores portátiles y en sistemas fijos. No es corriente la existencia de medios manuales tipo manguera que utilicen estos agentes.

- Fuegos de clase A: el polvo convencional no es capaz de extinguir fuegos de clase A. El polvo denominado polivalente es un agente muy efectivo para la extinción de este tipo de fuegos. Su utilización se realiza básicamente mediante extintores móviles.

- Fuegos de clase D: los preparados específicos para la extinción de fuegos de clase D suelen ser pulverulentos. En algunos casos pueden ser proyectados desde un extintor. El polvo específico D es el agente extintor adecuado para los fuegos de metales. Los demás tipos de polvo no deben utilizarse en estos casos.

- Equipos eléctricos: el polvo extintor es muy mal conductor de la electricidad. Puede utilizarse para la extinción en zonas donde existan equipos eléctricos bajo tensión. (Se recomienda no utilizar medios manuales de polvo en fuegos con presencia de tensiones superiores a 1.000 V.)

El polvo es abrasivo y se descompone a altas temperaturas. Estas características, unidas a la gran capacidad de dispersión y penetración del polvo, lo hacen no recomendable para equipos delicados eléctricos, electrónicos o mecánicos, debido a los daños secundarios que puede originar.

- Compatibilidad con espuma: el polvo puede descomponer la espuma. Algunos tipos de polvo no producen este efecto. Estos agentes se denominan polvos compatibles, y dicha característica debe estar explícitamente indicada por el fabricante.

- Toxicidad: el polvo extintor no es tóxico ni se descompone en productos tóxicos. Por ello, es un agente muy adecuado para su utilización en extintores portátiles, incluso frente a fuegos de gran intensidad. La descarga en recintos cerrados de pequeñas dimensiones o en grandes cantidades puede provocar dificultad respiratoria temporal y disminución de la visibilidad.

## Soluciones acuosas de polvo

Se trata de disoluciones acuosas de carbonatos y/o acetatos potásicos, especialmente desarrolladas para combatir fuegos de clase B, en equipos en los que la utilización del polvo pudiera ocasionar problemas de seguridad o contaminación en los mismos o zonas anexas (por ejemplo, cocinas, freidoras, etc.). La aplicación suele ser mediante sistemas fijos automáticos o semiautomáticos y requiere un diseño especial.

## Hidrocarburos halogenados (halones)

Halón es el nombre genérico para designar a los hidrocarburos halogenados utilizados como agentes de extinción de incendios.

Los halones son hidrocarburos en los que átomos de elementos halógenos sustituyen a los átomos de hidrógeno.

La identificación de un halón viene determinada por un número que indica la composición del agente: el primer dígito indica la cantidad de átomos de carbono de la molécula; el segundo, la de átomos de flúor; el tercero, la cantidad de cloro; el cuarto, la de bromo, y el quinto, de existir, la de yodo.

a) *Propiedades generales:*

— Los halones son agentes extintores que no dejan residuos.

— Cada elemento halógeno proporciona determinadas características:

- El flúor reduce el punto de ebullición, aumenta la estabilidad y disminuye la toxicidad del compuesto.
- El cloro eleva el punto de ebullición, aumenta la eficacia extintora y la toxicidad y disminuye la estabilidad térmica.
- El bromo proporciona, en mayor grado, las mismas características que el cloro.

b) *Propiedades extintoras:*

— Enfriamiento: los halones absorben energía calorífica. El efecto de enfriamiento es menos importante que el del agua o espuma, pero más que el del polvo o el dióxido de carbono.

— Inhibición: los halones neutralizan los radicales libres que intervienen en la reacción en cadena. En la práctica, sólo son necesarias concentraciones de halón en aire inferiores al 30% en volumen para extinguir fuegos superficiales de la mayoría de los combustibles sólidos; en el caso de gases y líquidos inflamables, la concentración teórica necesaria para la extinción puede llegar a ser incluso inferior al 5% (metano, heptano, benceno, etanol, etc.).

c) *Tipos de halones.* En los últimos 30 años, los dos hidrocarburos halogenados más ampliamente utilizados en protección contra incendios han sido los siguientes:

1. Halón 1211, Bromoclorodifluorometano (CF<sub>2</sub>ClBr):

- Se encuentra en estado gaseoso en condiciones normales; es incoloro y de olor dulce.
- Se utiliza fundamentalmente para medios manuales (extintores portátiles).

2. Halón 1301, Bromotrifluorometano (CF<sub>3</sub>Br):

- Compuesto incoloro e inodoro, aunque, al entrar en contacto con el fuego y descomponerse, desprende un olor picante característico.
- El nitrógeno es soluble en el halón 1301.
- Se utiliza sobre todo en instalaciones de aplicación total en áreas ocupadas, donde la descarga de este agente no suponga un riesgo inmediato para las personas.

Las especificaciones de ambos como agentes de extinción de incendios están recogidas en la norma UNE 23-607, al igual que en la norma ISO 7201.

El 1 de enero de 1994 entró en vigor la prohibición de fabricar estos dos tipos de halón, como consecuencia de los efectos destructivos que sobre la capa de ozono de la atmósfera producen las sustancias cloro-fluorocarbonadas (CFC:s) y los halones entre ellas.



## Aplicaciones de los hidrocarburos halogenados (halones)

- Fuegos de clase A: el halón 1211 es eficaz frente a fuegos de clase A, siempre que la brasa no sea profunda. Su efectividad específica es similar a la del agua e inferior a la del polvo polivalente.
- Fuegos de clase B y C: los halones 1211 y 1301 son agentes eficaces para la extinción de fuegos de combustibles líquidos y gaseosos.
- Equipos eléctricos: los halones 1211 y 1301 son malos conductores de la electricidad en condiciones normales. Pueden ser utilizados en fuegos bajo tensión eléctrica, con las mismas limitaciones que en el caso del polvo.
- Limitaciones de uso: los agentes halogenados no son eficaces para fuegos de combustibles que contienen su propio agente oxidante (nitrocelulosa, peróxidos orgánicos), fuegos de clase D (sodio, potasio, magnesio, titanio, uranio, plutonio, etc.), hidruros metálicos y todas aquellas sustancias químicas que pueden desarrollar reacciones de descomposición autotérmicas (hidracina).
- Toxicidad. Daños secundarios: las concentraciones (en volumen) límite de exposición a los halones 1301 y 1211 se han cifrado en torno a 10-15 % y 4-5 %, respectivamente. En el caso del halón 1211, las concentraciones de extinción son superiores a este valor, por lo que no se emplea en la protección de áreas normalmente ocupadas.  
Sin embargo, los productos de descomposición por altas temperaturas de los halones, especialmente del 1211, pueden llegar a ser altamente tóxicos. De igual manera, los productos de descomposición pueden ser corrosivos.
- Utilización: el halón 1211 se utiliza sobre todo en extintores portátiles de tipo BC y eventualmente A, y en sistemas modulares de extinción en pequeños recintos, en los que se encuentran líquidos o gases inflamables, fundamentalmente motores térmicos. También se puede utilizar en otros sistemas de aplicación local y en sistemas de inundación total, tomando en este último caso las medidas necesarias para evitar daños personales.

El halón 1301 se utiliza esencialmente en sistemas de inundación total de funcionamiento rápido (mando por detectores iónicos o de humo) para protección de equipos delicados de alto valor, exista o no ocupación en los recintos protegidos.

## Agentes químicos «limpios»

La obligada sustitución de los halones por agentes extintores de características similares ha producido un importante avance en la investigación y desarrollo de nuevos productos y la optimización de los ya existentes en el mercado.

Desde un principio, la búsqueda de agentes alternativos ha estado principalmente orientada a la sustitución del halón 1301, por su masiva utilización en los sistemas fijos, mientras que para el halón 1211 se ha optado por el cambio hacia agentes alternativos «tradicionales» como son el CO<sub>2</sub> y, en menor medida, el agua, la espuma y el polvo, sobre todo en medios manuales (no obstante, algunos sustitutos para el halón 1211 también se han propuesto).

Los nuevos agentes son conocidos como «agentes limpios» y tienen estas características comunes: son gases licuados o comprimidos, o líquidos compresibles; se vaporizan sin dejar residuos después de su aplicación y no son conductores de la electricidad. Como características adicionales ideales, deberían tener también valores bajos o nulos de los siguientes índices:

- Potencial de agotamiento del ozono (PAO o también ODP, *Ozone Depletion Potential*): indica el grado de destrucción de moléculas de ozono (O<sub>3</sub>) de la estratosfera que puede ocasionar una sustancia.
- Potencial de calentamiento global (GWP, *Global Warming Potential*), indicador de la contribución al «efecto invernadero» de cada sustancia.
- Tiempo de permanencia en la atmósfera. Es, probablemente, la característica más crítica a la hora de aceptar la utilización de un agente volátil de naturaleza artificial, como son los agentes químicos limpios. En las condiciones de tecnología actual, un agente que se encuentra en la atmósfera es un «elemento fuera de control», frente al que poco o nada se puede hacer salvo esperar que sea «eliminado» de forma natural. Las consecuencias dañinas de un

producto químico nunca se conocen en su totalidad, como ha sido el caso de los CFC y la capa de ozono. Por ello, no resulta aceptable tener fuera de control, en la atmósfera, un producto del que se pueden descubrir efectos perjudiciales y que tenga una permanencia en la atmósfera tal que haya que esperar quizá siglos para que sea eliminado y sus efectos desaparezcan.

Cuando menos, es necesario que sus valores se encuentren dentro de los límites fijados por la legislación vigente. Además, aquellos que pueden ser empleados en áreas ocupadas no deben presentar riesgo de toxicidad cardiopática ni efectos fisiológicos, ni cualquier otro tipo de efecto perjudicial para la salud (indicado por los valores NOAEL, *Non Observed Adverse Effect Level*, LOAEL, *Lowest Observed Adverse Effect Level*, CLA, *Concentration Lethal Aproximada*, LD50, Dosis Lethal para el 50 % de la población expuesta), tanto los causados por el propio agente como por los subproductos de descomposición térmica.

En general, presentan menor efectividad extintora en relación con el halón 1301 y, por tanto, necesitan mayor volumen de almacenamiento para proteger el mismo recinto; su precio es superior y, en el caso de los agentes químicos, en la extinción generan mayor cantidad de productos de descomposición.

Los agentes químicos limpios comprenden las siguientes familias de compuestos:

- a) HFC (hidrofluorocarbonos).
- b) HCFC (hidroclorofluorocarbonos).
- c) PFC (perfluorocarbonos).
- d) Mezclas de los anteriores.

No se consideran aquí los HBFC (hidrobromofluorocarbonos) ya que su producción fue prohibida a partir del 1 de enero de 1996.

Los mecanismos de extinción por los que actúan estos agentes se basan en la inhibición de la reacción de combustión en cadena y en el enfriamiento.

Existen ya varios agentes de cada familia a disposición comercial, si bien ninguno de ellos alcanza el nivel de prestaciones que proporciona el halón. Los sistemas de halón 1301 instalados requieren modificaciones importantes para adecuarse a las propiedades de estos agentes.

#### Aplicaciones de los agentes químicos «limpios»

Tanto los agentes químicos como los gases inertes y sus mezclas se utilizan en la protección de áreas y recintos cerrados por inundación total en los que tradicionalmente se había venido empleando halón, tales como: equipos eléctricos y electrónicos (centros de proceso de datos y comunicaciones, aeronaves, salas de control y de máquinas, etc.); contenidos especiales y/o de alto valor (laboratorios, archivos, museos, bibliotecas, etc.) y, en general, en todos aquellos casos donde deba reducirse al mínimo el daño por abrasión o corrosión a equipos, la limpieza después de su empleo, y en lugares donde el tiempo de extinción es imprescindible. El empleo de agentes químicos limpios en medios manuales (principalmente extintores) es, en la actualidad, mucho más restringida, si bien ya existen productos en el mercado para estas aplicaciones.

Los agentes limpios también pueden ser utilizados en prevención y supresión de explosiones.

La protección por medio de estos agentes en zonas ocupadas requiere el cálculo de las concentraciones de extinción para cada combustible y su comparación con la concentración más alta, con la cual no se han observado efectos adversos en las personas (índice NOAEL). En caso de que la concentración de diseño sea mayor que el NOAEL, no deberá ser utilizado dicho agente.

#### Elementos de acción física: mantas, bateyuegos, explosivos y elementos ocasionales

Además de los agentes extintores ya comentados, existen elementos que se utilizan en la extinción de incendios en condiciones específicas por diferentes causas: en algunas ocasiones, porque la magnitud del incendio hace necesario el empleo de medios extraordinarios; en otras, porque la extensión del incendio requeriría igualmente una dispersión del agente extintor que anularía su eficacia, por lo que se necesitarían «agentes» de menor efectividad específica, pero de mayor permanencia; finalmente, hay casos en los que no se dispone de agentes específicos contra incendios y debe utilizarse aquel material que se encuentre a mano. A continuación se describen de forma general algunos de estos elementos. No se incluyen los destinados a quemas o contrañuegos.

## Mantas

Se pueden distinguir dos tipos de mantas en lo que se refiere a la lucha contra incendios: las creadas específicamente para este uso, que son el objeto de una Norma UNE de reciente aprobación, y las que se pueden utilizar de forma ocasional para extinción de conatos de incendios.

El mecanismo de extinción de las mantas es el de sofocación, creando una barrera física entre el material en combustión y el oxígeno del aire. Para lograr cumplir este objetivo, la manta, sea del tipo que sea, debe tener ciertas cualidades que abarcan fundamentalmente tres aspectos: tamaño, estabilidad al fuego y estanqueidad.

— *Tamaño*: la incidencia del tamaño en la capacidad de extinción de una manta es obvia: sólo puede extinguir si separa totalmente la zona en combustión del oxígeno atmosférico. En el caso de fuegos de clase A pueden conseguirse, no obstante, resultados favorables cubriendo la zona donde la combustión es más severa o profunda; en los fuegos de clase B una cobertura parcial sólo será favorable en cuanto disminuye la superficie en llamas que, de esta forma, puede ser totalmente extinguida por otros medios con mayor facilidad.

— *Estabilidad al fuego*: es evidente que, para lograr la extinción, una manta no debe verse afectada seriamente por el fuego. Ello impone que la reacción al fuego sea buena, preferiblemente del grupo que se considera «no combustible», sea por la naturaleza del tejido, sea por los aditivos con que cuente. Una manta «ocasional» raramente será incombustible, pero puede dar resultados favorables si su reacción al fuego es aceptable (caso de la lana sin mezclas con fibras sintéticas, por ejemplo). Pero, además de «no arder», tiene que permanecer íntegra ante la acción del fuego: si se agrieta o descompone, el mecanismo de sofocación deja de actuar.

— *Estanqueidad*: en un medio de extinción que actúa por sofocación, la estanqueidad debe ser una característica básica. Dicha estanqueidad debe afectar al combustible y a sus vapores. Esta característica es crítica para la extinción de fuegos de líquidos inflamables, frente a los cuales sólo las mantas fabricadas espe-

cíficamente para la extinción, que no son permeables para el combustible (no se «mojan») ni para vapores o llamas; obtienen éxito, si no contamos los conatos muy pequeños en los que la acción instantánea logra la sofocación sin que el fuego pueda incidir en el elemento que lo sofoca (por ejemplo, se puede extinguir un fuego reciente de alcohol en una lata tapándola con un cartón).

Debe prestarse especial atención a la posible reignición, a veces violenta, de un fuego no totalmente sofocado, al retirar la manta sin haberse asegurado de la extinción total. Esto puede darse en fuegos con brasa, en fuegos de líquidos con llamas poco emisivias, y es especialmente peligroso cuando se combinan la presencia de brasas y la de líquidos inflamables (incluso productos de destilación de los propios combustibles sólidos orgánicos) en el mismo fuego.

## Explosivos

Los explosivos se utilizan en la extinción de incendios de líquidos o gases combustibles cuando se dan las siguientes circunstancias:

- Se trata de un incendio en forma de fuga, frente al cual no es factible el uso de agentes extintores de aportación, como la espuma.
- No resulta posible detener el aporte de combustible, o no es recomendable esperar a que ello se produzca, por razones económicas, medioambientales o de la propia seguridad física.
- La magnitud del incendio hace inviable el uso de agentes químicos de extinción, como el polvo, o de gases inertes, por no estar con-finado.

El mecanismo de actuación de los explosivos puede considerarse híbrido de inertización y sofocación, puesto que separan la zona en combustión del comburente mediante una barrera física, como es la onda de choque, y mediante la generación de gases inertes procedentes de la descomposición del explosivo.

Este sistema resulta menos eficaz cuando están involucrados combustibles sólidos ordinarios en el incendio: la dispersión de brasas no extinguidas puede incluso aumentar las dimensiones del incendio.

## Batefuegos

La acción de los batefuegos puede considerarse como una reducción de la de los explosivos. Los batefuegos consisten en un conjunto de láminas metálicas unidas a un cuerpo central y provistas de un mango. Se utilizan fundamentalmente en incendios forestales, aunque pueden considerarse efectivos en conatos o zonas exteriores de incendios de sólidos ordinarios (fuegos de clase A). Se manejan golpeando la base de las llamas con las láminas metálicas, de forma que se logre la sofocación de aquéllas (algo parecido a lo que se muestra en las imágenes cinematográficas de los intentos de extinción de fuegos a golpes de cazadora o americana). Dado su mecanismo de extinción, no son muy efectivos con fragmentos gruesos con brasa profunda, aunque son capaces de trocear la parte externa de ellos y aumentar así sus posibilidades de extinción. Los golpes dados con los batefuegos levantan pavesas, por lo que la dirección de dichos golpes debe ser tal que las pavesas se dirijan hacia la zona en llamas y no propaguen el incendio. Las ramas, preferiblemente verdes, se pueden considerar también batefuegos.

Palas, hachas y azadas. Arena

Las *palas* pueden utilizarse en la lucha contra incendios de forma directa o indirecta. En el primer caso, golpeando contra la base de las llamas, al igual que los batefuegos, pero se requiere mucho más esfuerzo para lograr menos resultados. Su acción principal es indirecta: la más efectiva es la de lanzar tierra sobre el material en llamas, aunque también puede ser utilizada para rascar las brasas exteriores, para retirar combustible no incendiado (incluso para cortar ramas o raíces de pequeño diámetro en incendios forestales) o para cavar, con el fin de obtener tierra para lanzar o con el de crear zonas cortafuegos. Su utilización más extendida es la de lucha contra incendios forestales.

Las *hachas* y *azadas* se utilizan sobre todo en incendios forestales. Su principal función es la de cortar y rascar, aunque las azadas se emplean también para cavar.

La tierra y, sobre todo, la *arena* son buenos agentes extintores de incendio, que pueden encontrarse, de forma ocasional, en multitud de escenarios donde el resto de los agentes extintores se hallan ausentes. La tierra, en general, puede utilizarse para confinar fuegos de clase A y

charcos originados por derrames de líquidos inflamables (en pequeños derrames de líquidos inflamables de complicada geometría, una persona puede controlar el fuego del líquido derramado mediante la tierra mientras procede a la extinción del origen del derrame por alguno de los medios clásicos). Si no se encuentra húmeda, se puede utilizar en fuegos en presencia de tensión eléctrica (la arena seca ha sido tradicionalmente utilizada para este menester), e incluso en fuegos de metales si está totalmente seca.

## BIBLIOGRAFÍA

- AA. VV.: «Halones no, graciast», *Cuadernos de Seguridad*, n.º 64, diciembre, 1993.
- BOND, J.: *Sources of ignition*, Butterworth-Heinemann Ltd., 1991.
- COSTA NOVELA, E. y col.: *Ingentería química, transmisión de calor*, Alhambra Universidad, 1986.
- COTE, A. y BUGBEE, P.: *Principios de protección contra incendios*, Editorial Cepren, 1993.
- COX, G.: *Combustion Fundamentals of Fire*, Academic Press, 1995.
- DUNSDALE, D.: *Fire dynamics*, Wiley, 1985.
- Fundación MAPFRE Estudios: *Instrucciones Técnicas de Protección contra Incendios*.
- GRANT, C. C.: «Halon and beyond: Developing new alternatives for the future», NPPA, *Journal*, noviembre-diciembre, 1994.
- Instituto de Conservación de la Naturaleza (ICONA): *Manual de operaciones contra incendios forestales*, 1993.
- KUO, K. K.: *Principles of Combustion*, I, II, Wiley.
- LENS, B. y VON ELBE, G.: *Combustion, Flames And Explosions of Gases*, Academic Press, 1961.
- LEVENSPHEL, O.: *Ingentería de las reacciones químicas*, Reverte, S. A., 1986.
- NPPA: *Manual de protección contra incendios*, decimoseptima edición, Editorial MAPFRE, 1994.
- PALMER, B. y BEER, J. M.: *Combustion Technology*, Academic Press, 1974.
- SEATON, M.: «Halon: Searching for solutions», NPPA, *Journal*, noviembre-diciembre, 1995.
- STULL, D. R.: *Fundamentals of Fire And Explosion*, American Institute Of Chemical Engineers, 1977.
- TUVE, R. L.: *Principles of Fire Protection Chemistry*, NPPA, 1979.
- VIGARA, F.: «Panorámica sobre la situación actual de los halones: Sustitutos y alternativas», *Formación en Seguridad*, junio, 1995.
- WILLIAMS, F. A.: *Urban And Williland Fire Phenomenology*, Prog. Energy Combust. Sci., 1982, vol. 3, pp. 317-354.

## NORMAS

- UNE 23-600-90: «Agentes extintores de incendios. Clasificación».
- UNE 23-601-79: «Polvos químicos extintores. Generalidades».
- UNE 23-602-81: «Polvo extintor. Características físicas y métodos de ensayo».
- UNE 23-603-83: «Seguridad contra incendios. Espuma física extintora. Generalidades».
- UNE 23-604-88: «Agentes extintores de incendio. Ensayos de propiedades físicas de la espuma proteínica de baja expansión».
- UNE 23-607-83: «Agentes de extinción de incendios. Hidrocarburos halogenados. Especificaciones».
- UNE 23-635-90: «Agentes extintores de incendios. Agentes formadores de pellicula acuosa».
- UNE 23-010-76: «Clases de fuegos».
- EN 2-1992: «Classification of fires».
- EN 615-1996: «Fire protection - Fire extinguishing media - Specifications for powders (other than class D powders)».
- ISO 5923-1984: «Fire protection - Fire extinguishing media - Carbon dioxide».
- ISO 7201-1982: «Fire protection - Fire extinguishing media - Halogenated hydrocarbons».
- ISO 7202-1987: «Fire protection - Fire extinguishing media - Powder».

## 3

### Fundamentos generales de la seguridad contra incendios

En los tiempos actuales la empresa constituye un sistema complejo que se encuentra inmerso e intensamente relacionado con otras estructuras más amplias que configuran la sociedad: administraciones públicas, consumidores, medio ambiente, mercado laboral... Estas relaciones están presididas por la incertidumbre que caracteriza al acierto en la toma de decisiones y la gestión orientadas al logro de los objetivos propuestos. Esa incertidumbre se ve más acusada por el dinamismo y cambio acelerado que implican los avances sociales y tecnológicos, y que se traducen en las actividades de la empresa actual.

Desde su origen, la evolución del hombre, superando etapas de pre-dominio agrícola, para llegar a la era industrial y entrar en la sociedad post-industrial de la información y la comunicación, en la que se encuentra actualmente, ha añadido a los riesgos naturales, tradicionales y tecnológicos, los sociales, derivados de los mismos avances desarrollados por el hombre. Paralelamente a la aparición de nuevos riesgos vinculados a la tecnología, el desarrollo ha traído aparejado el surgimiento de grandes concentraciones demográficas, estructuras y sistemas industriales de gran magnitud y complejidad con innumerables beneficios, pero también con la posibilidad de accidentes de extrema gravedad.

Las medidas de protección desarrolladas para hacer frente a los riesgos han evolucionado, aunque a menudo con retraso, secuencialmente a la aparición y agravación de los riesgos. Así, desde las estructuras sociales

primitivas, se llega al momento presente y futuro inmediato, en que los complejos sistemas sociales y los nuevos riesgos que llevan asociados requieren unos principios de protección de bases proporcionales a la gravedad potencial que comportan y bajo una perspectiva interdisciplinaria moderna de gestión empresarial.

La seguridad, considerada como condición probabilística de consecución favorable de una acción—de otra forma, medida complementaria del concepto «riesgo»—, se convierte, en la actualidad, en elemento indispensable para garantizar el alcance de los objetivos fijados en cualquier actividad o proyecto del hombre. Referida como concepto operativo, la seguridad comprende el conjunto de medidas que proporcionan protección frente a la ocurrencia de hechos accidentales con resultado negativo.

#### LA SEGURIDAD INTEGRAL EN LA EMPRESA

Los fundamentos en que se basa el logro de mayor calidad, competitividad, productividad y, en definitiva, eficacia y rentabilidad, son coincidentes con los que utiliza la seguridad integral. La aplicación coordinada de procedimientos para conseguir estas calificaciones: calidad-productividad-seguridad, repercute positivamente en la mejora recíproca de cada una de ellas, lo que aconseja la utilización de la seguridad integral como elemento estratégico para la mejora de aspectos sociales, industriales, comerciales y económicos de la empresa.

La seguridad integral se basa en una toma de posición proactiva con el objetivo de contribuir positivamente a la mejora de los rendimientos industriales, el ambiente laboral y el entorno ecológico. Todo ello, en contraposición a una seguridad tradicional o específica, a la defensiva, que tan sólo se preocupa por cumplir cíclicamente las exigencias reglamentarias, considerándolas como imposiciones que limitan la efectividad de los objetivos empresariales.

La importancia que pueden llegar a tener determinados riesgos como los incendios y explosiones accidentales en la empresa, que en situaciones extremas pueden suponer su desaparición, hace necesaria la contraposición con actuaciones eficaces de seguridad de importancia equivalente a la de los riesgos planteados. Estas actuaciones de seguridad han de estar caracterizadas por los siguientes principios, que le confieren la mayor contribución a los objetivos generales de la empresa.

#### Justificación de la seguridad integral

La necesidad de la seguridad integral viene justificada por determinadas vinculaciones de la empresa en el marco de sus actividades, tanto a nivel externo como interno y, por encima de todo, por la convicción de los efectos positivos que ésta tiene sobre los componentes de la eficacia y rentabilidad de la empresa.

— En lo externo se tienen en cuenta:

- Obligatoriedad del cumplimiento de las disposiciones legales.
- Cumplimiento de condiciones que afecten a la seguridad recogidas en compromisos contractuales.
- Adopción de medidas aconsejadas por razones de carácter social.
- Adopción de medidas aconsejadas por razones de eficacia empresarial y comercial derivadas del medio externo.

— En lo interno se tienen en cuenta:

- Cumplimiento de obligaciones relacionadas con la seguridad, contratadas en contratos laborales y con empresas.
- Adopción de medidas recomendadas por razones de carácter social.
- Implantación de medidas aconsejadas por razones de mejora de la productividad, calidad y rentabilidad.

#### Universo de sujetos

La seguridad integral contempla la protección de todos los sujetos (elementos) que intervienen en la actividad empresarial que se puedan afectar por los riesgos aparejados a la misma actividad empresarial. Se consideran los siguientes grupos de sujetos:

- Personal propio.
- Activos materiales propios.
- Activos inmateriales propios:
  - Tecnología.
  - Imagen.
  - Finanzas.

— Activos de terceros:

- Consumidores.
- Vecinos.
- Medio ambiente.

#### *Universo de riesgos. Áreas de riesgo*

Los riesgos más importantes que amenazan a la empresa, entre los que figuran los de incendios y explosiones, se agrupan, a los efectos de la filosofía de la seguridad integral, en las siguientes áreas básicas de riesgo:

- Seguridad en el trabajo.
- Higiene industrial.
- Incendios y explosiones.
- Intrusión y robo.
- Medio ambiente.

En función de las condiciones particulares de cada empresa: tamaño, organización, niveles de riesgo y otros factores, estas áreas se estructuran en un único departamento de seguridad o en varios departamentos o sectores diferentes que agrupan varias áreas de riesgo. En todo caso, se buscará la máxima coordinación en sus vertientes orgánicas, de recursos, funcionales y operativas.

Adicionalmente a las áreas de riesgo estipuladas, hay que tener presente la clasificación de riesgos que sigue a continuación, ordenada en función de las fuentes de origen del riesgo:

- Fenómenos de la naturaleza.
- Acciones humanas:
  - Accidentales. Sin intervención directa, en el origen, de elementos de carácter técnico.
  - Malintencionadas.
- Tecnológicos.

El incendio como proceso dañino puede estar originado por fenómenos de la naturaleza (rayo, sol), por acciones humanas accidentales o

malintencionadas y por elementos tecnológicos\* (soldadura, reacciones químicas, electricidad, etc.).

#### *Universo de efectos*

En la ocurrencia de un accidente en el que un riesgo se materializa sobre los sujetos específicos de la empresa, la seguridad integral contempla todos los efectos posibles, que se clasifican en estas categorías:

- Personales.
- Materiales.
- Inmateriales.

Estos efectos pueden manifestarse tanto en elementos propios de la empresa como ajenos de las mismas categorías, y recaer en uno o varios de ellos a la vez.

#### *Cuantificable*

La seguridad integral, como cualidad de los medios y funciones de la empresa, debe estar sujeta al establecimiento de objetivos basados en el alcance planificado de niveles de seguridad, que han de ser susceptibles de ser medidos mediante indicadores estándar o diseñados en función de las características particulares. Los indicadores deben reflejar los resultados de la accidentalidad —opuesta y complementaria de la seguridad— y, sobre todo, los resultados de las acciones preventivas desplegadas para evitar los accidentes.

El nivel de seguridad respecto a los diferentes riesgos y sujetos viene definido con arreglo a referencias de normativas legales de obligado cumplimiento y, en su defecto o adicionalmente, por criterios técnicos.

#### *Responsable*

La seguridad de todos los sujetos (elementos) que componen y se relacionan con la empresa parte de la responsabilidad de los máximos órganos de representación legal de la propia empresa.

Esta responsabilidad, ya con carácter ejecutivo, es desempeñada por transmisión en la línea ejecutiva a los distintos niveles directivos, mandos intermedios y cada trabajador individualmente.

Tales responsabilidades vienen diferenciadas por las competencias del cargo ostentado y las circunstancias particulares de la empresa, que, además de las puramente legales, deben incluir las de carácter industrial, social y moral.

*Continuada y permanente*

A lo largo de la vida de la empresa han de estar presentes todas las implicaciones derivadas de la consideración de la seguridad. Así, en las sucesivas etapas de un proyecto empresarial se integran las siguientes actuaciones de la seguridad, que se caracterizan por su continuidad en el tiempo y actualización permanente.

- *Concepción del proyecto*: consideración de los riesgos esperados y los requerimientos generales de protección.
- *Diseño*: concreción de las medidas de seguridad materiales que se deberán integrar en el proyecto de ingeniería.
- *Construcción e instalación*: ejecución de las medidas materiales y, con la suficiente antelación al comienzo de la actividad, definición

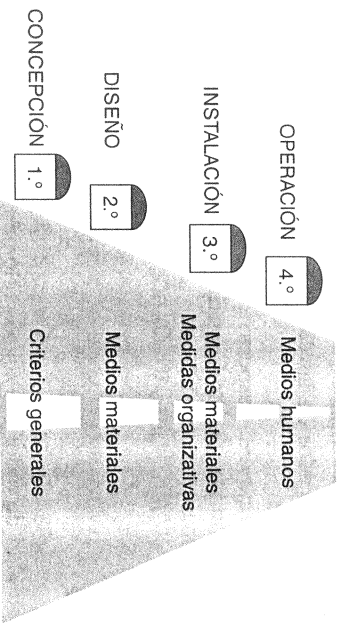


Figura 1. Continuidad de las actuaciones en el desarrollo de la empresa.

de las medidas y medios de seguridad de carácter organizativo y operativo.

— *Operación*: puesta en práctica, desde el arranque de la actividad empresarial, de las medidas de seguridad operativas, contando con los medios humanos, técnicos y económicos necesarios.

Por otra parte, con respecto a la secuencia de los riesgos hasta su posible materialización en accidentes y su recuperación posterior, las actuaciones de seguridad que se van a desplegar se clasifican como se indica a continuación:

- Fase de riesgo:
  - Medidas preventivas, también denominadas de control de riesgos, para evitar el accidente.
- Fase de accidente:
  - Medidas asistenciales, de control de pérdidas, para minimizar los daños.

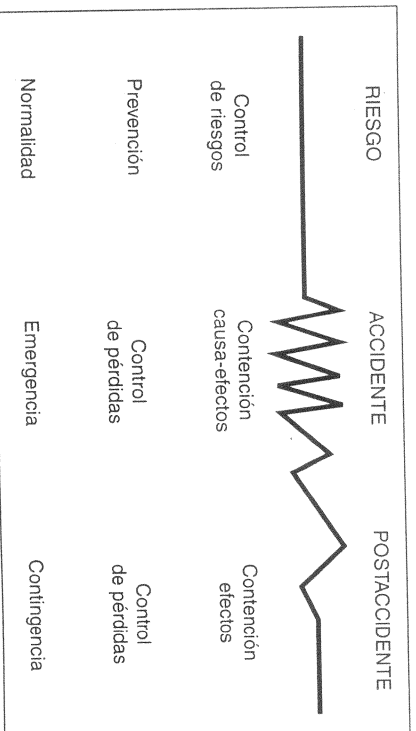


Figura 2. Continuidad de las actuaciones en las fases de riesgo (accidente-postaccidente).



— Fase de postaccidente:

- Medidas reparadoras y rehabilitadoras, de minimización y reposición de los daños.

### *Integrada*

La seguridad ha de estar integrada en el medio empresarial como un factor más de la esencia y operación de los distintos elementos que lo componen. Su integración se produce, fundamentalmente, en:

- Personal.
- Métodos.
- Edificios e instalaciones.
- Procesos.
- Productos.
- Diseño de nuevas instalaciones.

### *Participativa*

La dirección de la empresa debe liderar de forma expresa las acciones de seguridad, manteniendo, a la vez, una postura abierta que favorezca la participación activa de los trabajadores y, adicionalmente, la participación y disposición favorable de las autoridades, vecinos, consumidores y otras organizaciones sociales.

### *Dinámica y sinérgica*

Paralelamente a su propia incidencia, la seguridad ha de ser tenida en cuenta en las definiciones estratégicas de la empresa, con el fin de que proporcione mayor eficacia en los objetivos industriales y comerciales y, recíprocamente, en lo que interesa al caso, en los niveles de seguridad alcanzados.

En tal sentido, la seguridad integral actúa, junto con los demás elementos y funciones que contribuyen a la consecución de los objetivos industriales y sociales, constituyendo un elemento catalizador, con efectos dinamizadores sobre otros factores productivos de la empresa.

A la vez, esta actitud positiva que constituye una «cultura de seguridad de empresa» trasciende a los ámbitos familiar y social de los trabajadores, con invaluables beneficios por la buena imagen de la empresa.

### *Plural e interdisciplinar*

Al definir y aplicar las actuaciones de seguridad se han de tener presentes no sólo los aspectos técnicos, sino los distintos planos de influencia e intervención que inciden en ella de forma interdisciplinar, como son:

- |                |               |
|----------------|---------------|
| — Humano.      | — Social.     |
| — Político.    | — Legal.      |
| — Económico.   | — Moral.      |
| — Filosófico.  | — Científico. |
| — Estratégico. | — Técnico.    |

### *Dotada de recursos suficientes*

El liderazgo de la empresa se traduce en la práctica con la aportación de los recursos económicos, humanos, técnicos y materiales necesarios para la aplicación del programa, tanto respecto de la seguridad operativa como del Departamento de Seguridad en su función de asesoramiento y apoyo.

### *Supervisada y controlada*

Es indispensable la existencia de los mecanismos que garanticen la adecuación de los medios y acciones desplegadas y el seguimiento del balance estadístico de sus efectos sobre la accidentabilidad y la rentabilidad de la seguridad, entre los que se destacan:

- Inspecciones.
- Auditorías.
- Análisis de riesgos.
- Investigación, análisis y registro de accidentes.
- Indicadores de la seguridad.



Por su condición esencial, la seguridad contribuye a la consecución de una actividad o función de acuerdo con los objetivos establecidos. Para ello, aplica una serie de medidas que inciden sobre los elementos de la matriz de análisis de los riesgos y la seguridad —causas de riesgo, sujetos expuestos y efectos nocivos generados— y el escenario del análisis -factores del medio-, atendiendo a los siguientes objetivos:

### 1.º Eliminar riesgos de incendio:

El objetivo fundamental de las técnicas de seguridad es eliminar el riesgo, lo que supondría la seguridad absoluta, situación hipotética que no se suele presentar en la realidad, salvo que se prescindida de la acción que lleva aparejado el riesgo. Para eliminar el riesgo de incendio se debería prescindir del uso de combustibles y las fuentes de ignición.

### 2.º Reducir la probabilidad de ocurrencia de los riesgos:

Al no ser posible, salvo muy contadas excepciones, la eliminación total de los riesgos, las técnicas de seguridad contra incendios actúan sobre los factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de los mismos, disminuyéndola con el fin de evitar la materialización del accidente.

Estas técnicas se conocen como preventivas puras o de control de riesgos.

### 3.º Reducir y minimizar la intensidad de los daños:

Si a pesar de las medidas preventivas puras ocurre el accidente, se deberán disponer otras técnicas de seguridad contra incendios que limiten la intensidad de los daños con el fin de que las pérdidas sean las menores posibles.

Estas técnicas se conocen como asistenciales o de control de pérdidas.

## *Determinación de las medidas de seguridad contra incendios*

Las reglamentaciones legales establecen los requisitos mínimos exigibles que debe disponer un sistema que comporta riesgos. Sin embargo, cuando no existen reglamentaciones o el nivel de exigencia es insufi-

ciente, el responsable o especialista de seguridad debe decidir adicionalmente a lo reglamentado las medidas de seguridad contra incendios más adecuadas resultantes del siguiente proceso:

- Conocimiento de las causas de riesgo.
- Conocimiento de los sujetos implicados.
- Conocimiento del medio en que se desarrolla la acción.
- Valoración de la probabilidad y la gravedad de los daños que pueden producir las causas de riesgo sobre los sujetos.
- Definición y análisis de alternativas de las medidas de seguridad, teniendo en cuenta las implicaciones técnicas, económicas y el nivel de seguridad que proporcionan.
- Selección de las medidas de seguridad contra incendios más apropiadas.

## *Convergencia con acciones industriales*

La seguridad es una condición que en muchas ocasiones es implícita o está considerada en la concepción de los sistemas. En los casos en que no sea así, las medidas de seguridad decididas se incorporarán integrándolas con los componentes de los sistemas o funciones que se van a proteger. En particular, se tendrán en cuenta en las siguientes actuaciones:

- Diseño de instalaciones, maquinaria, equipos, procesos y productos.
- Mantenimiento.
- Compras-suministros.
- Calidad.
- Operaciones productivas, de distribución y otros servicios.

## *Clasificación de las técnicas de seguridad contra incendios*

Las posibilidades de aplicación de las técnicas de seguridad contra incendios vienen dadas por los objetivos que se buscan y los factores sobre los que se puede actuar. El espectro de las técnicas que se van a emplear se presenta bajo la perspectiva de las siguientes consideraciones que permiten su clasificación y comprensión y, en consecuencia, la selección más apropiada de las mismas.

## Por su finalidad

Atendiendo a su finalidad, las técnicas de seguridad contra incendios se clasifican en:

- Preventivas puras o de control de riesgos; dirigidas a evitar que ocurra el accidente.
- De respuesta al incendio o de control de pérdidas; aplicadas para neutralizar las causas del incendio y limitar los efectos inmediatos.
- Reparadoras y rehabilitadoras o de reposición de daños; dispuestas para limitar los efectos diferidos y proporcionar la reposición física y económica del daño producido.

## Por su forma de aplicación

Atendiendo a su forma de aplicación las técnicas de seguridad contra incendios se clasifican en:

- Humanas. Comprende aquellas técnicas en las que fundamentalmente interviene el elemento humano para su ejecución. A su vez, se ordenan en estos grupos:
  - *Conceptuales*: que abarcan los métodos y sistemas de definición y aplicación conceptual y empresarial general de la seguridad contra incendios: programa de seguridad contra incendios, planes de emergencia, planes de contingencia.
  - *Organizativas-estructurales*: que comprenden los órganos en que se basa la estructura de aplicación de la seguridad: servicio de prevención, comité de emergencia, comité de seguridad.
  - *Operativas*: en las que se incluyen los medios humanos para la ejecución de las medidas, que pueden ser de dos tipos:
    - Propios, aquellos medios que pertenecen a la empresa: vigilancia de seguridad, brigada de incendios, instructores de formación, etc.
    - Externos, aquellos medios que no pertenecen a la empresa: empresas de seguridad, servicios públicos de extinción, servicios de vigilancia, Protección Civil.

— Materiales. Comprende todas aquellas técnicas de carácter físico no humano, que, atendiendo a sus características de aplicación y operación, se ordenan en estos grupos:

- *Pasivas*: medidas cuya instalación y funcionalidad es permanente y no están sujetas a la intervención humana como, por ejemplo: separaciones cortafuego, drenaje de contención de derrames, cubierta liberadora de sobrepresiones.
- *Activas*: medidas cuya operación está sujeta a una intervención humana directa o indirecta —mantenimiento, uso debido— como, por ejemplo: puerta cortafuego, sistemas de detección y extinción.

## Por el número de sujetos protegidos

- Individuales o locales. La medida de seguridad contra incendios se aplica directa, única y exclusivamente sobre un sujeto como, por ejemplo: extinción fija y automática en una máquina, equipo de respiración, almácén de inflamables.
- Colectivas o globales. La medida de seguridad contra incendios se aplica sobre el medio, extendiéndose la protección a todos los sujetos que se encuentran en él, como, por ejemplo, la señalización de seguridad, la formación, extinción fija y automática en toda la planta.

## Por su nivel de multiplicidad y redundancia

La protección de un sujeto o elemento, en función de su importancia para la empresa, puede requerir una o varias medidas de seguridad, clasificándose al respecto de la siguiente forma:

- Medida única. La protección se basa en la aplicación de una única técnica o medida de seguridad con respecto a un sujeto determinado.
- Medidas múltiples. La protección se basa en la aplicación de varias técnicas o medidas de seguridad contra incendios sobre un sujeto determinado. Pueden ser de dos tipos:

- Redundantes o relacionadas. Aquellas que mantienen entre sí algún tipo de relación funcional, técnica o ejecutoria. Se dividen a su vez en dos grupos:
  - *Escalonadas*: Las medidas de seguridad actúan sucesivamente en el tiempo como refuerzo o sustitución de las anteriores.
  - *Simultáneas*: Las medidas de seguridad actúan simultáneamente con funciones complementarias entre sí.
- Independientes. Las medidas de seguridad no guardan ningún tipo de relación funcional, técnica ni ejecutoria entre sí.

#### APLICACIÓN DE LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN EL DISEÑO

Como anteriormente se ha destacado, las medidas de seguridad se han de aplicar en el momento apropiado de la vida de la empresa. Determinadas medidas, cuya definición y ejecución están condicionadas por las características físicas del conjunto de la instalación de la empresa, han de ser decididas e incorporadas en el momento del diseño general de las construcciones nuevas. De esta forma se consigue una mayor efectividad y confianza y un menor coste.

Las medidas de seguridad contra incendios que han de tenerse en cuenta en el diseño se clasifican de la siguiente manera:

#### *Entorno y distribución general*

Actuaciones dirigidas al aislamiento o separación por espacio abierto de las instalaciones propias entre sí y con respecto a otras ajenas de las que puedan provenir incendios, explosiones u otros riesgos como, por ejemplo: zonas cortafuego, distancias a ríos y carreteras, rayos y dirección y velocidad del viento.

#### *Medidas constructivas*

Medidas proporcionadas para las condiciones adecuadas de resistencia al fuego, reacción al fuego, evacuación personal, accesibilidad y ventilación, que se tratan ampliamente en otro capítulo del MANUAL.

#### *Distribución de espacios e instalaciones*

Desde el punto de vista de seguridad contra incendios, en el momento de ubicar las zonas de operación e instalaciones, es conveniente considerar la localización más apropiada de actividades de alto riesgo, como son almacenes, salas de mezcla, instalaciones técnicas —calderas de vapor, transformadores, depósitos de combustibles, etc.—, trabajos en caliente, barnizado y pintura, además de otras.

El procedimiento idóneo en cuanto a su distribución, desde el punto de vista de la protección contra incendios, es mantenerlas aisladas de otras actividades. En caso de no ser posible deben situarse en zonas perimetrales de los edificios comunes, aisladas de otras áreas por medios constructivos resistentes al fuego.

#### *Sistemas de protección contra incendios*

Los sistemas fijos de protección contra incendios se decidirán y diseñarán con el resto de las instalaciones resolviendo la interacción que pueda resultar con otros medios materiales de la empresa. Los sistemas que se han de tener en cuenta en el diseño incluyen la detección automática, la red general de agua contra incendios, los sistemas de mangueras, hidrantes y rociadores, y especiales de espuma, halones, anhídrido carbónico y polvo, y sistemas supresores de explosiones.

#### ACTUACIONES PREVENTIVAS PURAS

Una vez que la empresa está en marcha, se dispone de las actuaciones generales y las técnicas de seguridad más usuales que, consideradas como preventivas puras, tienen el objetivo de evitar la ocurrencia de incendios, y que se estructuran en las siguientes líneas de actuación:

#### *Dirección y organización*

Las funciones directivas de carácter general o específicas de seguridad definen y aplican actuaciones dirigidas tanto a la prevención pura como a la respuesta a los accidentes, que se concretan en los siguientes aspectos:

**Responsabilidades empresariales**

Definición, asignación y control de las responsabilidades específicas y las funciones en materia de seguridad contra incendios para cada miembro de la organización.

**Dirección de la seguridad**

Los niveles directivos detentan la responsabilidad de la seguridad dentro de su unidad, que han de transmitir escalonadamente a los mandos y trabajadores dependientes, integrándola en todos los aspectos de la actividad operativa.

**Órganos representativos y funcionales de la seguridad**

La garantía de una adecuada representación, participación y efectividad de las acciones de seguridad se deriva de la existencia de unos órganos regulares de representación y control en la empresa, que son los siguientes:

- Comité de Seguridad y Salud.
- Comité de Emergencias y Crisis.
- Círculo o grupo de Seguridad.
- Departamento de Seguridad contra Incendios.

El Departamento de Seguridad contra Incendios, como órgano técnico de la empresa con funciones esencialmente preventivas, constituye un instrumento fundamental para la mejora de las condiciones de seguridad, al prestar su apoyo técnico a la Dirección de la empresa, a la línea de mando y a los propios representantes de los trabajadores.

**Normalización de seguridad contra incendios**

En los casos en que sea necesario, el establecimiento de un cuerpo de normas internas de seguridad contra incendios, promulgadas y difundidas a todos los niveles de la empresa, presta un gran apoyo para orientar la conducta de las personas en la realización de actividades que entrañen

**Formación y comunicación**

La formación, como técnica preventiva pura, se proporcionará a los diferentes niveles, incidiendo sobre todo en el personal que desempeñe funciones especializadas de seguridad contra incendios.

Asimismo, la comunicación, establecida por los distintos cauces, desempeña un papel fundamental para lograr unos niveles deseables de protección.

**Inspección y control**

Las inspecciones de seguridad constituyen uno de los sistemas más efectivos para evitar o detectar y controlar los riesgos. Entre las técnicas de inspección y control hay que señalar:

- Técnicas de análisis de riesgos.
- Supervisión de proyectos, equipos, operaciones.
- Inspecciones periódicas.
- Revisión fin de jornada.
- Vigilancia.
- Auditorías de seguridad.

**Orden y limpieza**

Adicionalmente a las repercusiones favorables en el terreno de la seguridad, el orden y la limpieza mejoran la eficacia productiva de la empresa. Se incluyen en esta línea de acción las siguientes actuaciones:

- Procedimientos industriales y de seguridad.
- Clasificación, etiquetado, embalaje y manipulación de mercancías.
- Almacenamiento: altura, anchura, incompatibilidades, drenajes, ventilación, etc.
- Mantenimiento de instalaciones y equipos.
- Limpieza de instalaciones y equipos.
- Eliminación controlada de residuos.

## ACTUACIONES DE RESPUESTA AL INCENDIO

Con esta finalidad, se disponen las técnicas de seguridad contra incendios que están dirigidas a descubrir y controlar la causa de los incendios y los efectos inmediatos que se derivan. Se ordenan en las siguientes líneas de actuación:

*Descubrimiento y comunicación de incendios: alarma y aviso*

El descubrimiento y comunicación de la existencia de incendios tiene por finalidad la detección y comunicación del suceso acaecido con el fin de lograr una rápida intervención de los medios de emergencia internos y externos.

*Eliminación de las causas y neutralización de los efectos*

Comprende la organización de planes de actuación en caso de incendios y emergencias y en ellos intervienen tanto los medios propios como los externos.

La actuación se dirige a la extinción de incendios y otras emergencias, desplegando las técnicas y medios existentes.

Por otra parte, entre las medidas disponibles para la neutralización de los efectos inmediatos de los incendios y otros accidentes, se encuentran:

- Achique de inundaciones.
- Interposición de barreras.
- Dilución, neutralización química o dispersión de agentes agresores.
- Retirada de materiales expuestos al incendio o sus manifestaciones.
- Aislamiento y segregación de sistemas de alto riesgo.
- Primeros auxilios y tratamiento médico de urgencia.
- Derribo de estructuras inestables.

*Investigación de accidentes*

La investigación de accidentes tiene como finalidad el conocimiento de las causas de los mismos, así como las circunstancias y prácticas peligrosas que los originaron o determinaron su propagación, a efecto de tomar las medidas preventivas necesarias para evitar que se repitan.

## ACTUACIONES REPARADORAS Y REHABILITADORAS

En este sentido, se dispone de las actuaciones técnicas de seguridad más usuales que, consideradas como reparadoras y rehabilitadoras, están dirigidas a reponer física y económicamente los daños producidos y los efectos dañinos aplazados en el tiempo que se puedan producir con motivo de los incendios y explosiones y que se ordenan en las siguientes líneas de actuación:

*Salvamento y saneamiento*

Este bloque de medidas abarca aquellas que van dirigidas a la recuperación física de los elementos dañados por los incendios, entre las que se encuentran:

- Demolición y desescombro.
- Limpieza ambiental. Recogida de derrames, contaminantes.
- Recuperación provisional de bienes dañados en el incendio.

*Sustitución eventual de elementos o funciones afectadas.**Planes de contingencia*

Los planes de contingencia consisten en la aplicación de un conjunto de medidas encaminadas a restaurar el funcionamiento normal de una actividad, tras la alteración producida por un incendio. Comprenden, entre otras medidas, las siguientes:

- Disposición de elementos de reserva propios o ajenos.
- Acuerdos de colaboración mutua con empresas similares.
- Compra de productos.
- Alquiler de equipos, locales y servicios.
- Contratación temporal de personal.

*Registro y estadística de incendios*

La investigación sobre las causas de los accidentes constituye una información fundamental para establecer las medidas de seguridad necesari-

rias en los sistemas y medios que se repararán o repondrán después de los daños sufridos.

#### *Compensaciones económicas. Seguros y otros*

Las actuaciones reparadoras y rehabilitadoras requieren una financiación que podrá ser aportada por la propia empresa, por el seguro, si se dispone de la cobertura aseguradora en cuestión, o bien por terceros responsables de lo ocurrido u organismos de ayuda ante ciertos eventos.

#### *Reparación y reconstrucción de medios materiales*

En esta etapa posterior al accidente se acometerán los planes de reconstrucción de la normalidad de las operaciones, incluyendo la reparación y reconstrucción definitiva de los medios materiales: edificios, instalaciones, equipos, maquinaria y metodologías y los procedimientos necesarios para el desarrollo normal de su actividad.

#### CONCLUSIÓN

La seguridad es una condición indispensable, implícita o explícitamente, en cualquier actividad del hombre, en la que es considerada como un factor que colabora en la consecución del objetivo fijado. En este sentido, la seguridad en la empresa es una condición o especificación más, inherente a la función, instalación, equipo o producto cuya operación u obtención se quiere llevar a cabo con la máxima garantía de éxito.

A la vez, la seguridad también requiere una visión extrínseca que complemente las actuaciones técnicas internas con perspectivas de carácter social, legal, económico, y, de otro lado, aplicada bajo esquemas que faciliten el control de su eficacia por parte de órganos expertos ajenos a la ejecución directa de la actividad objeto de protección.

La comprensión del concepto y la adecuada selección de las técnicas de seguridad contra incendios disponibles produce la capacidad de aplicarlas con criterios técnicos propios, respetando las exigencias reglamentarias, y alcanzando mayores niveles de protección y eficacia empresarial gracias a la posibilidad de un diseño original a la medida de las características particulares de cada caso.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BIRD, F.: *Loos Control Management*. International Loss Control Institute, 1982.
- DENTON, K.: *Seguridad Industrial. Administración y métodos*. Mc Graw-Hill, Nueva York, 1985.
- Fundación MAPFRE Estudios. Instituto de Seguridad Integral. *Diccionario MAPFRE de Seguridad Integral*, Editorial MAPFRE, 1993.
- Fundación MAPFRE Estudios. Instituto de Seguridad Integral. *Instrucciones Técnicas de Seguridad Integral*. Editorial MAPFRE.
- GREEN, A. E.: *High Risk Safety Technology*, John Wiley and Sons, 1982.
- GROSE, V. L.: *Managing Risk: Systematic Loss Prevention for Executives*, Prentice Hall, 1989.
- HEAD, G. L.: *Essentials of Risk Control*, Malvern, 1989.
- MAPFRE Industrial: *Manual de Seguridad en la Industria*. Editorial MAPFRE, Madrid, 1994.
- PETERSEN, D.: *Techniques of Safety Management. A systems approach*, Londres, 1989.
- PUY, A.: *Percepción social de los riesgos*. Fundación MAPFRE. Editorial MAPFRE. Madrid, 1995.
- TENO: *Prontuario de Gestión de la Seguridad Industrial*. Teno. Madrid, 1995.