

Mayo 2004

TÍTULO

Eurocódigo 1: Acciones en estructuras

Parte 1-2: Acciones generales

Acciones en estructuras expuestas al fuego

Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-2: General actions. Actions on structures exposed to fire.

Eurocode 1: Actions sur les structures au feu. Partie 1-2: Actions générales. Actions sur les structures exposées.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1991-1-2 de noviembre de 2002.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-ENV 1991-2-2 de mayo de 1998.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 140 *Eurocódigos Estructurales* cuya Secretaría desempeña SEOPAN.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 23973:2004

© AENOR 2004
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

61 Páginas

Grupo 36

Versión en español

Eurocódigo 1: Acciones en estructuras
Parte 1-2: Acciones generales
Acciones en estructuras expuestas al fuego

Eurocode 1: Actions on structures.
Part 1-2: General actions. Actions on
structures exposed to fire.

Eurocode 1: Actions sur les structures au
feu. Partie 1-2: Actions générales. Actions
sur les structures exposées.

Eurocode 1: Einwirkungen auf
Tragwerke. Teil: 1-2: Allgemeine
Einwirkungen. Brandeinwirkungen auf
Tragwerke.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2002-09-01. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES	6
 CAPÍTULO 1 GENERALIDADES 	
1.1 Objeto y campo de aplicación	12
1.2 Normas para consulta.....	12
1.3 Consideraciones.....	13
1.4 Distinción entre Principios y Reglas de Aplicación.....	13
1.5 Términos y definiciones	13
1.5.1 Términos comunes utilizados en las partes de los Eurocódigos relativas al cálculo en situación de incendio.....	13
1.5.2 Términos especiales relacionados con cálculo en general.....	14
1.5.3 Términos relacionados con las acciones térmicas	15
1.5.4 Términos relacionados con el análisis de la transferencia de calor	16
1.6 Símbolos.....	16
 CAPÍTULO 2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO ESTRUCTURAL EN SITUACIÓN DE INCENDIO 	
2.1 Generalidades.....	21
2.2 Escenario de fuego de cálculo	21
2.3 Fuego de cálculo	21
2.4 Análisis térmico.....	21
2.5 Análisis mecánico	22
 CAPÍTULO 3 ACCIONES PARA EL ANÁLISIS TÉRMICO (ACCIONES TÉRMICAS) 	
3.1 Reglas generales	23
3.2 Curvas nominales tiempo-temperatura	24
3.2.1 Curva normalizada tiempo-temperatura.....	24
3.2.2 Curva de fuego exterior.....	24
3.2.3 Curva de hidrocarburos	25
3.3 Modelos de fuego natural	25
3.3.1 Modelos de fuego simplificados.....	25
3.3.1.1 Generalidades.....	25
3.3.1.2 Fuegos de sector	25
3.3.1.3 Fuegos localizados.....	26
3.3.2 Modelos de fuego avanzados	26
 CAPÍTULO 4 ACCIONES PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL (ACCIONES MECÁNICAS) 	
4.1 Generalidades.....	27
4.2 Simultaneidad de las acciones.....	27
4.2.1 Acciones procedentes del cálculo a temperatura ambiental.....	27
4.2.2 Acciones adicionales.....	28
4.3 Reglas para la combinación de acciones	28
4.3.1 Regla general	28
4.3.2 Reglas simplificadas.....	28
4.3.3 Nivel de carga	29

ANEXO A (Informativo)	CURVAS PARAMÉTRICAS TIEMPO-TEMPERATURA	30
ANEXO B (Informativo)	ACCIONES TÉRMICAS SOBRE ELEMENTOS EXTERIORES MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO	33
B.1	Objeto y campo de aplicación	33
B.2	Condiciones de utilización	33
B.3	Efectos del viento.....	34
B.3.1	Modo de ventilación.....	34
B.3.2	Desvío de la llama por el viento	34
B.4	Características del fuego y de las llamas	35
B.4.1	Ventilación no forzada.....	35
B.4.2	Ventilación forzada.....	37
B.5	Factores globales de forma.....	40
ANEXO C (Informativo)	FUEGOS LOCALIZADOS	41
ANEXO D (Informativo)	MODELOS DE FUEGO AVANZADOS.....	44
D.1	Modelos de una zona.....	44
D.2	Modelos de dos zonas.....	45
D.3	Modelos informáticos de dinámica de fluidos.....	46
ANEXO E (Informativo)	DENSIDADES DE CARGA DE FUEGO	47
E.1	Generalidades.....	47
E.2	Determinación de las densidades de carga de fuego	48
E.2.1	Generalidades.....	48
E.2.2	Definiciones.....	49
E.2.3	Cargas de fuego protegidas	49
E.2.4	Potenciales caloríficos netos	50
E.2.5	Clasificación de las cargas de fuego según el tipo de actividad	52
E.2.6	Evaluación individual de densidades de carga de fuego	52
E.3	Características de la combustión	52
E.4	Velocidad de liberación de calor	53
ANEXO F (Informativo)	TIEMPO EQUIVALENTE DE EXPOSICIÓN AL FUEGO	55
ANEXO G (Informativo)	FACTOR DE FORMA	57
G.1	Generalidades.....	57
G.2	Efectos de sombra	58
G.3	Elementos exteriores	58
BIBLIOGRAFÍA.....		61

ANTECEDENTES

Esta Norma Europea 1991-1-2:2002 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 250 *Eurocódigos estructurales*, cuya Secretaría desempeña BSI.

El Subcomité CEN/TC 250/SC 1 es responsable del Eurocódigo 1.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de mayo de 2003, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de diciembre de 2009.

Esta norma anula y sustituye a la Norma ENV 1991-2-2:1995.

Los anexos A, B, C, D, E, F y G son informativos.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

Antecedentes del programa de Eurocódigos

En 1975, la Comisión de la Comunidad Europea decidió llevar a cabo un programa de actuación en el campo de la construcción, basado en el artículo 95 del Tratado. El objetivo de este programa era la eliminación de las barreras técnicas al comercio y la armonización de las especificaciones técnicas.

Dentro de este programa de actuación, la Comisión tomó la iniciativa de establecer un conjunto de reglas técnicas armonizadas para el proyecto de las estructuras que, en una primera etapa, sirviera como alternativa a las reglas nacionales en vigor en los Estados Miembro y, finalmente, las pudiera reemplazar.

Durante quince años, la Comisión, con la ayuda de un Comité Director con representantes de los Estados Miembro, condujo el desarrollo del programa de los Eurocódigos, lo que llevó en los años 80 a la primera generación de códigos europeos.

En 1989, la Comisión y los Estados Miembro de la UE y de la AELC decidieron, sobre la base de un acuerdo¹⁾ entre la Comisión y el CEN, transferir al CEN la elaboración y la publicación de los Eurocódigos mediante una serie de Mandatos, con el fin de dotarlos de un futuro estatus de Norma Europea (EN). Esto vincula *de facto* los Eurocódigos con las disposiciones de todas las Directivas del Consejo y Decisiones de la Comisión que hacen referencia a las normas europeas (por ejemplo, la Directiva del Consejo 89/106/CEE sobre productos de construcción -DPC- y las Directivas del Consejo 93/37/CEE, 92/50/CEE y 89/440/CEE sobre obras públicas y servicios y las Directivas de la AELC equivalentes iniciadas para conseguir la implantación del mercado interior).

El programa Eurocódigos Estructurales comprende las siguientes normas, compuestas a su vez de diversas Partes:

EN 1990	Eurocódigos: Bases para el cálculo de estructuras
EN 1991	Eurocódigo 1: Acciones en estructuras
prEN 1992	Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón
prEN 1993	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero
prEN 1994	Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas
prEN 1995	Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera
prEN 1996	Eurocódigo 6: Proyecto de estructuras de fábrica
prEN 1997	Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico
prEN 1998	Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes
prEN 1999	Eurocódigo 9: Proyecto de estructuras de aluminio

Los Eurocódigos reconocen la responsabilidad de las autoridades reglamentadoras de cada Estado Miembro y han salvaguardado su derecho a determinar, en el ámbito nacional, los valores relacionados con temas reglamentarios de seguridad cuando éstos sigan siendo distintos de un Estado a otro.

Estatus y campo de aplicación de los Eurocódigos

Los Estados Miembro de la UE y de la AELC reconocen que los Eurocódigos sirven como documentos de referencia para los siguientes fines:

- como medio para demostrar el cumplimiento en las obras de edificación y de ingeniería civil de los requisitos esenciales de la Directiva del Consejo 89/106/CEE, en particular del Requisito Esencial nº 1 - Resistencia mecánica y estabilidad - y del Requisito Esencial nº 2 - Seguridad en caso de incendio;
- como base para especificar los contratos de las obras de construcción y de los servicios de ingeniería relacionados con ellas;
- como marco para redactar las especificaciones técnicas armonizadas de productos de construcción (ENs y DITEs).

1) Acuerdo entre la Comisión de las Comunidades Europeas y el Comité Europeo de Normalización (CEN) referente al trabajo sobre los EUROCÓDIGOS para el proyecto de las estructuras de edificación y de obras de ingeniería civil (BCN/CEN/03/89).

Los Eurocódigos, en la medida en que están relacionados con las construcciones, tienen una relación directa con los Documentos Interpretativos²⁾ a los que hace referencia el artículo 12 de la DPC, aunque son de distinta naturaleza que las normas armonizadas de producto³⁾. Por ello, los Comités Técnicos del CEN y/o los Grupos de Trabajo de la EOTA que trabajen sobre normas de producto deben considerar de manera adecuada los aspectos técnicos de los Eurocódigos, con vistas a obtener una compatibilidad total entre estas especificaciones técnicas y los Eurocódigos.

Los Eurocódigos dan reglas comunes de cálculo estructural para su uso habitual en el proyecto de estructuras completas y de productos componentes de naturaleza tanto tradicional como innovadora. Las formas de construcción y las condiciones de proyecto poco usuales no quedan cubiertas específicamente y requerirán, en tales casos, un estudio adicional del proyectista.

Las normas nacionales de aplicación de los Eurocódigos

Las normas nacionales de aplicación de los Eurocódigos comprenderán el texto completo del Eurocódigo (incluyendo los anexos) tal y como se publique por el CEN, pudiendo éste venir precedido de una portada nacional y de un preámbulo nacional y terminado en un anexo nacional.

El anexo nacional sólo puede contener información sobre aquellos parámetros, que queden abiertos en los Eurocódigos para la elección de una opción nacional, conocidos como Parámetros de Determinación Nacional, para su empleo en el proyecto de las obras de edificación y de ingeniería civil a construir en el país correspondiente, es decir:

- los valores y/o clases sobre los que se ofrezcan alternativas en el Eurocódigo;
- los valores a emplear cuando sólo se dé un símbolo en el Eurocódigo;
- los datos específicos del país (geográficos, climatológicos, etc.), por ejemplo, un mapa de nieve;
- el procedimiento a emplear cuando los Eurocódigos ofrezcan procedimientos alternativos;

También puede contener:

- decisiones sobre la aplicación de los anexos informativos, y
- referencia a información complementaria no contradictoria que ayude al usuario a aplicar el Eurocódigo.

Vínculos entre los Eurocódigos y las especificaciones técnicas armonizadas (ENs y DITEs) de productos

Hay una necesidad de consistencia entre las especificaciones técnicas armonizadas de los productos de construcción y las reglas técnicas de las obras⁴⁾. Aún más, toda la información que acompañe al marcado CE de los productos de construcción y que se refiera a los Eurocódigos debe mencionar con claridad qué Parámetros de Determinación Nacional se han tenido en cuenta.

Información adicional específica de la Norma EN 1991-1-2

La Norma EN 1991-1-2 describe las acciones térmicas y mecánicas para el cálculo estructural en edificios expuestos al fuego, incluyendo los siguientes aspectos:

-
- 2) De acuerdo con el artículo 3.3 de la DPC, los documentos interpretativos darán forma concreta a los requisitos esenciales (RE con el fin de establecer los vínculos necesarios entre los requisitos esenciales y los mandatos para la elaboración de normas armonizadas y DITEs/Guías de DITEs.
 - 3) De acuerdo con el artículo 12 de la DPC los documentos interpretativos deben:
 - a) dar forma concreta a los requisitos esenciales mediante la armonización de la terminología y de las bases técnicas y la asignación, en su caso, de clases y niveles para cada requisito esencial;
 - b) indicar los métodos para relacionar estas clases y niveles con las especificaciones técnicas, por ejemplo, métodos de cálculo y de prueba, reglas técnicas para el cálculo en proyectos, etc.;
 - c) servir de referencia para el establecimiento de las normas armonizadas y de guías para los Documentos de Idoneidad Técnica Europeos.Los Eurocódigos, de facto, juegan un papel similar en el campo del Requisito Esencial nº 1 y en parte del Requisito Esencial nº 2.
 - 4) Véanse los artículos 3.3 y 12 de la DPC, así como los apartados 4.2, 4.3.1, 4.3.2 y 5.2 del Documento Interpretativo nº 1.

Requisitos de seguridad

La Norma EN 1991-1-2 está destinada a los propietarios (por ejemplo, para que formulen sus requisitos particulares), a los proyectistas, a los contratistas y a las autoridades competentes.

El objetivo general de la protección contra incendios es limitar los riesgos que afectan a los individuos, a la sociedad, a las propiedades circundantes, y cuando se exija, al medio ambiente y a los bienes expuestos de forma directa.

La Directiva sobre Productos de Construcción 89/106/CEE establece los siguientes requisitos esenciales para la limitación del riesgo de incendio:

“Las construcciones deben proyectarse y construirse de forma que, en caso de incendio:

- se mantenga la capacidad portante de la construcción durante un tiempo especificado,
- se limite la aparición y la propagación de fuego y del humo dentro de la construcción,
- se limite la propagación del fuego a construcciones vecinas,
- los ocupantes puedan abandonar la construcción o ser rescatados por otros medios,
- se tenga en cuenta la seguridad de los equipos de rescate”.

Según el Documento Interpretativo nº 2 “Seguridad en caso de incendio”⁵⁾, el requisito esencial puede cumplirse siguiendo diversas estrategias posibles de protección contra incendios en vigor en los Estados Miembro, tales como los escenarios convencionales de fuego (fuegos nominales) o los escenarios de fuego “natural” (paramétrico), e incluyendo las medidas activas y pasivas de protección contra incendios.

Las partes de los Eurocódigos Estructurales que se refieren a la situación de incendio abordan aspectos específicos de la protección pasiva contra incendios, tales como el cálculo de las estructuras y de sus partes para conseguir una adecuada capacidad portante y para limitar de forma adecuada la propagación del incendio.

Las funciones y los niveles de prestación exigibles pueden especificarse, bien en términos de un grado de resistencia al fuego nominal (normalizado), generalmente establecido en las reglamentaciones nacionales de protección contra incendios, o bien, cuando éstas lo admitan, remitiéndose a la ingeniería de protección contra incendios para la evaluación de las medidas pasivas y activas de protección.

En este documento no se establecen otros requisitos suplementarios afectados, por ejemplo:

- la posible instalación y mantenimiento de sistemas de rociadores;
- las condiciones de uso del edificio o del sector de incendio;
- la utilización de materiales aislantes y de revestimiento admitidos, incluido su mantenimiento;

ya que son objeto de especificación por parte de la autoridad competente.

Los valores numéricos de los coeficientes parciales y de otros elementos de fiabilidad se aportan como valores recomendados que garanticen un nivel aceptable de fiabilidad. Se han adoptado suponiendo que existe un adecuado nivel de ejecución y de control de calidad en las obras.

5) Véanse los apartados 2.2, 3.2(4) y 4.2.3.3 del Documento Interpretativo nº 2.

Procedimientos de cálculo

Un procedimiento de cálculo estructural ante el fuego plenamente analítico debiera tener en cuenta el comportamiento del sistema estructural a temperaturas elevadas, la exposición potencial al calor y los efectos favorables de los sistemas activos y pasivos de protección contra incendios, así como las incertidumbres asociadas a estos tres factores y la importancia de la estructura (consecuencias del fallo).

Actualmente es posible abordar un procedimiento para determinar las prestaciones adecuadas que incorpora algunos de dichos parámetros, si no todos, para demostrar que la estructura o sus elementos tendrán un comportamiento adecuado frente a un incendio real. En cambio, cuando el procedimiento se fundamenta en un fuego nominal (normalizado), el sistema de clasificación, que requiere tiempos específicos de resistencia ante el fuego, tiene en cuenta (aunque no explícitamente) los factores e incertidumbres antes citados.

La aplicación de esta Parte 1-2 se ilustra a continuación. Se diferencian el enfoque prescriptivo y el enfoque basado en prestaciones. El enfoque prescriptivo utiliza fuegos nominales para generar acciones térmicas. El enfoque basado en prestaciones se refiere a acciones térmicas basadas en parámetros físicos y químicos, utilizando la ingeniería de protección contra incendios.

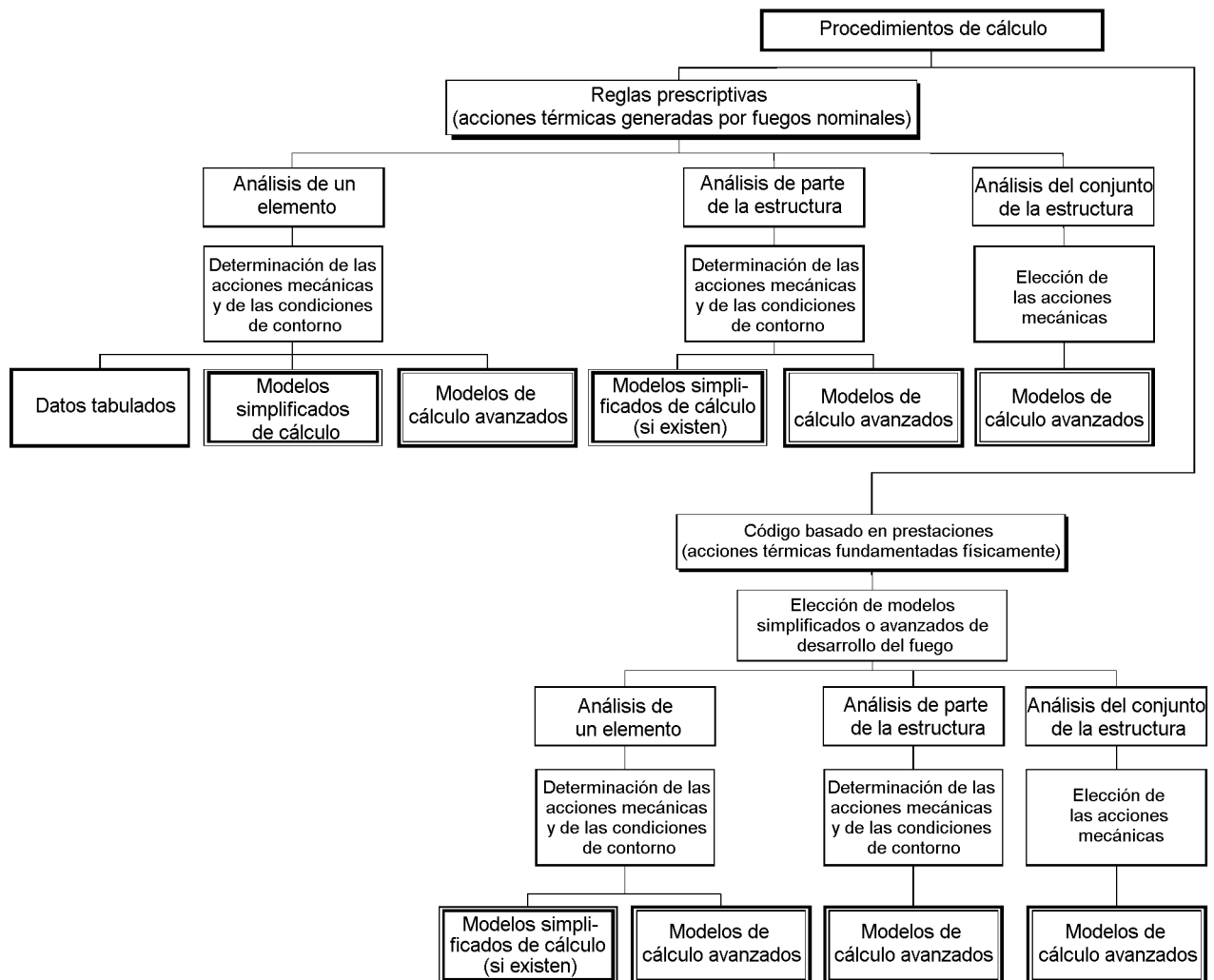


Fig. 1 – Procedimientos alternativos de cálculo

Herramientas de cálculo

Se prevé que aquellas organizaciones externas que puedan estar interesadas desarrollen herramientas de cálculo basadas en los modelos de cálculo establecidos en la Norma EN 1991-1-2.

El texto principal de la Norma EN 1991-1-2 incluye la mayoría de los conceptos principales y de las reglas necesarias para la descripción de las acciones mecánicas y térmicas sobre las estructuras.

El anexo nacional de la Norma EN 1991-1-2

Esta norma ofrece procedimientos alternativos, valores y recomendaciones en cuanto a clases, con notas indicando donde hay que introducir los parámetros nacionales. Por tanto, la norma nacional de adopción de la Norma EN 1991-1-2 debería tener un anexo nacional que contenga todos los Parámetros de Determinación Nacional a emplear en el proyecto de obras de edificación y de ingeniería civil a construir en el país correspondiente.

En la Norma EN 1991-1-2 se permite la elección de opciones nacionales en los siguientes apartados:

- 2.4(4)
- 3.1(10)
- 3.3.1.1(1)
- 3.3.1.2(1)
- 3.3.1.2(2)
- 3.3.1.3(1)
- 3.3.2(1)
- 3.3.2(2)
- 4.2.2(2)
- 4.3.1(2)

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1 Objeto y campo de aplicación

- (1) Los métodos indicados en esta Parte 1-2 de la Norma EN 1991 son aplicables a los edificios, considerando una carga de fuego que guarde relación con el edificio y con su uso.
- (2) Esta Parte 1-2 de la Norma EN 1991 trata de las acciones térmicas y mecánicas que actúan sobre las estructuras expuestas al fuego. Está prevista para ser utilizada junto con las partes correspondientes de los proyectos de Norma prEN 1992 a prEN 1996 y prEN 1999 relativas al cálculo en situación de incendio, las cuales aportan reglas para calcular la resistencia al fuego de las estructuras.
- (3) Esta parte 1-2 de la Norma EN 1991 contiene las acciones térmicas relacionadas, tanto con las acciones térmicas nominales como con las fundamentadas físicamente. Los anexos aportan datos suplementarios y modelos para las acciones térmicas fundamentadas físicamente.
- (4) Esta parte 1-2 de la Norma EN 1991 proporciona principios generales y reglas de aplicación relacionados con las acciones térmicas y mecánicas, que deben utilizarse junto con las Normas EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 y EN 1991-1-4.
- (5) Este documento no trata sobre la evaluación de los daños en las estructuras como consecuencia de los incendios.

1.2 Normas para consulta

- (1)P Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Para las referencias con fecha, no son aplicables las revisiones o modificaciones posteriores de ninguna de las publicaciones. Para las referencias sin fecha, se aplica la edición en vigor del documento normativo al que se haga referencia (incluyendo modificaciones).

NOTA – Las siguientes normas europeas, publicadas o en preparación, se citan en artículos normativos:

prEN 13501-1 – *Clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de su comportamiento ante el fuego. Parte 2: Clasificación utilizando datos obtenidos en ensayos de resistencia ante el fuego, excluidos los sistemas de ventilación.*

EN 1990:2002 – *Eurocódigos: Bases de cálculo de estructuras.*

EN 1991 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-1: Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios y sobrecargas de uso en edificios.*

prEN 1991 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-3: Acciones generales. Cargas de nieve.*

prEN 1991 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Cargas de viento.*

prEN 1992 – *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón.*

prEN 1993 – *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero.*

prEN 1994 – *Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón.*

prEN 1995 – *Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera.*

prEN 1996 – Eurocódigo 6:Proyecto de estructuras de fábrica.

prEN 1999 – Eurocódigo 9:Proyecto de estructuras de aluminio.

1.3 Consideraciones

(1)P Además de las consideraciones generales de la Norma EN 1990, son de aplicación las siguientes:

- todo sistema activo o pasivo de protección contra incendios tomado en consideración en el cálculo estará adecuadamente mantenido;
- la elección del escenario de fuego de cálculo aplicable la realizan personas con la cualificación y experiencia adecuadas, o bien se establece por la reglamentación nacional aplicable.

1.4 Distinción entre Principios y Reglas de Aplicación

Se aplican las reglas establecidas en el apartado 1.4 de la Norma EN 1990:2002.

1.5 Términos y definiciones

(1)P A los efectos de esta norma europea, son de aplicación los términos y definiciones dados en el apartado 1.5 de la Norma EN 1990:2002, así como los que figuran a continuación.

1.5.1 Términos comunes utilizados en las partes de los Eurocódigos relativas al cálculo en situación de incendio

1.5.1.1 tiempo equivalente de exposición al fuego: Tiempo de exposición a la curva normalizada tiempo-temperatura que se supone que tiene un efecto térmico igual al de un fuego real en el sector de incendio considerado.

1.5.1.2 elemento exterior: Elemento estructural situado en el exterior del edificio y que puede estar expuesto al fuego a través de las aberturas de los cerramientos del edificio.

1.5.1.3 sector de incendio: Espacio interior de un edificio, que se extiende en una o en varias plantas, delimitado por elementos separadores que impiden la propagación del incendio fuera del sector durante la exposición al fuego considerada.

1.5.1.4 resistencia al fuego: Aptitud de una estructura, de una parte de una estructura o de un elemento estructural, para cumplir las funciones requeridas (función portante y/o de compartimentación de incendios) para un nivel de carga, una exposición al fuego y un periodo de tiempo especificados.

1.5.1.5 fuego totalmente desarrollado: Estado en el que todas las superficies combustibles existentes en un determinado espacio participan en el fuego.

1.5.1.6 análisis estructural global (ante el fuego): Análisis del conjunto de la estructura cuando toda ella o solo una parte está expuesta al fuego. Se tienen en cuenta las acciones indirectas de fuego en toda la estructura.

1.5.1.7 acciones indirectas del fuego: Fuerzas internas y momentos causados por la dilatación térmica.

1.5.1.8 integridad (E): Aptitud de un elemento separador de un edificio, cuando está expuesto al fuego por una cara, de impedir el paso de las llamas y de los gases calientes a su través y de impedir la aparición de llamas en la cara no expuesta.

1.5.1.9 aislamiento (I): Aptitud de un elemento separador de un edificio, cuando está expuesto al fuego por una cara, para limitar la elevación de la temperatura en la cara no expuesta por debajo de valores establecidos.

1.5.1.10 función portante (R): Aptitud de una estructura o de un elemento estructural para soportar las acciones especificadas durante la exposición prevista al fuego, conforme a criterios establecidos.

1.5.1.11 elemento: Parte fundamental de una estructura (como una viga, una columna, pero también conjuntos tales como vigas-pared, vigas de celosía, ...) suponiéndola aislada, con condiciones de contorno y de apoyo adecuadas.

1.5.1.12 análisis de un elemento (ante el fuego): Análisis térmico y mecánico de un elemento estructural expuesto al fuego, suponiéndole aislado y con condiciones de contorno y de apoyo adecuadas. Las acciones indirectas de fuego no se tienen en cuenta, a excepción de las resultantes de los gradientes térmicos.

1.5.1.13 cálculo a temperatura ambiental: Cálculo ante los estados límite últimos a temperatura ambiental, conforme a la Parte 1-1 de los proyectos de Norma prEN 1992 a prEN 1996 o prEN 1999.

1.5.1.14 función separadora: Aptitud de un elemento separador para impedir la propagación del incendio (por ejemplo, por paso de las llamas o de los gases calientes – véase "integridad") o bien la ignición tras la cara expuesta (véase "aislamiento") durante la exposición a un fuego determinado.

1.5.1.15 elemento separador: Elemento portante o no portante (por ejemplo, un muro) que forma parte de la envolvente de un sector de incendio.

1.5.1.16 resistencia al fuego normalizada: Aptitud de una estructura o de una parte de ella (en general, un solo elemento) para cumplir las funciones requeridas (función portante y/o separadora) ante una exposición térmica según la curva normalizada tiempo-temperatura, para una combinación de cargas especificada y durante un periodo de tiempo establecido.

1.5.1.17 elementos estructurales: Elementos portantes de una estructura, incluyendo los arriostramientos.

1.5.1.18 análisis térmico: Método de determinación de la evolución de la temperatura en los elementos estructurales en función de las acciones térmicas (flujo neto de calor) y de las propiedades térmicas del material constitutivo de los elementos y, en su caso, de las superficies protectoras.

1.5.1.19 acciones térmicas: Acciones sobre la estructura definidas por el flujo neto de calor sobre los elementos.

1.5.2 Términos especiales relacionados con cálculo en general

1.5.2.1 modelo de fuego avanzado: Fuego de cálculo basado en aspectos de conservación de la masa y de la energía.

1.5.2.2 modelo informático de dinámica de fluidos: Modelo de fuego que permite resolver numéricamente las ecuaciones diferenciales parciales que relacionan a las variables termodinámicas y aerodinámicas de cada punto del sector de incendio considerado.

1.5.2.3 muro cortafuegos: Elemento separador consistente en un muro que separa dos espacios (por ejemplo, dos edificios) que está proyectado para aportar resistencia al fuego y estabilidad estructural y que puede incluir resistencia a cargas horizontales, de forma que, en caso de incendio y de fallo de la estructura a un lado del muro, se evita la propagación del incendio al otro lado.

1.5.2.4 modelo de una zona: Modelo de fuego en el que la temperatura se supone homogénea en todo el sector de incendio.

1.5.2.5 modelo de fuego simplificado: Fuego de cálculo basado en un campo de aplicación limitado de parámetros físicos específicos.

1.5.2.6 modelo de dos zonas: Modelo de fuego en el que se definen diferentes zonas dentro del sector: una capa superior, una capa inferior, el fuego y su penacho, el aire exterior y los muros. La temperatura del gas en la capa superior se supone uniforme.

1.5.3 Términos relacionados con las acciones térmicas

1.5.3.1 coeficiente de combustión: Coeficiente que representa la eficacia de la combustión, cuyo valor varía entre 1 para combustión completa y 0 para combustión totalmente inhibida.

1.5.3.2 fuego de cálculo: Desarrollo de fuego específico adoptado a efectos de cálculo.

1.5.3.3 densidad de carga de fuego de cálculo: Densidad de carga de fuego considerada para determinar las acciones térmicas del cálculo en situación de incendio. Su valor tiene en cuenta las incertidumbres.

1.5.3.4 escenario de fuego de cálculo: Escenario de fuego específico en el que se desarrolla un análisis.

1.5.3.5 curva de fuego exterior: Curva nominal tiempo-temperatura aplicable a la cara exterior de las fachadas susceptibles de estar expuestas al fuego existente, es decir, bien en el interior del propio sector de incendio, o bien en un sector situado por debajo de la fachada considerada o colindante con ella.

1.5.3.6 riesgo de activación del fuego: Parámetro que toma en consideración la probabilidad de ignición, en función de la superficie del sector y de la actividad.

1.5.3.7 densidad de carga de fuego: Carga de fuego por unidad de superficie construida q_f , o por unidad de superficie de toda la envolvente q_t , incluidas sus aberturas.

1.5.3.8 carga de fuego: Suma de las energías caloríficas que se liberan en la combustión de todos los materiales combustibles existentes en un espacio (elementos constructivos y elementos contenidos en el edificio).

1.5.3.9 escenario de fuego: Descripción cualitativa del transcurso de un fuego, identificando el tiempo de los eventos clave que lo caracterizan y lo diferencian de otros fuegos posibles. Generalmente define el proceso de ignición y de crecimiento del fuego, la fase de pleno desarrollo y la fase de decaimiento, así como el entorno del edificio y los sistemas que tendrán incidencia en la evolución del incendio.

1.5.3.10 inflamación súbita generalizada (*flash-over*): Ignición simultánea de toda la carga de fuego existente en un sector de incendio.

1.5.3.11 curva de fuego de hidrocarburos: Curva nominal tiempo-temperatura representativa de los efectos de un fuego de hidrocarburos.

1.5.3.12 fuego localizado: Fuego que solo afecta a una zona limitada de la carga de fuego del sector de incendio.

1.5.3.13 coeficiente de ventilación: Coeficiente que representa la cantidad de ventilación, en función de la superficie de las aberturas existentes en la envolvente del sector de incendio, de la altura de dichas aberturas y de la superficie total de dicha envolvente del sector.

1.5.3.14 velocidad de liberación de calor: Calor (energía) liberado por un producto combustible en función del tiempo.

1.5.3.15 curva normalizada tiempo-temperatura: Curva nominal definida en el proyecto de Norma prEN 13501-2 para representar un modelo de fuego totalmente desarrollado en un sector de incendio

1.5.3.16 curvas tiempo-temperatura: Temperatura del aire en la proximidad de las superficies de un elemento, en función del tiempo. Pueden ser:

- **nominales:** curvas convencionales adoptadas para clasificar o para verificar la resistencia al fuego, por ejemplo, la curva normalizada tiempo-temperatura, la curva de fuego exterior, la curva de fuego de hidrocarburos;
- **paramétricas:** determinadas a partir de modelos de fuego y de parámetros físicos específicos que definen las condiciones del sector de incendio

1.5.4 Términos relacionados con el análisis de la transferencia de calor

1.5.4.1 factor de forma: En la transferencia de calor por radiación entre la superficie A y la superficie B, es el factor que representa la fracción de energía radiada de manera difusa por la superficie A sobre la superficie B.

1.5.4.2 coeficiente de transferencia de calor por convección: Flujo de calor recibido por convección por el elemento, definido por el grado de diferencia entre la temperatura global del gas que rodea la superficie considerada del elemento y la temperatura de dicha superficie.

1.5.4.3 emisividad: Equivale a la absorptividad de una superficie, es decir, a la relación entre el calor radiante absorbido por una superficie determinada y el absorbido por la superficie de un cuerpo negro.

1.5.4.4 flujo neto de calor: Energía definitivamente absorbida por los elementos, por unidad de tiempo y de superficie.

1.6 Símbolos

(1)P A los efectos de esta Parte 1-2 son de aplicación los siguientes símbolos:

Letras latinas mayúsculas

A	superficie del sector de incendio
$A_{ind,d}$	valor de cálculo de una acción indirecta debida al fuego
A_f	superficie construida del sector de incendio
A_{fi}	superficie del fuego
A_h	superficie de las aberturas horizontales de la cubierta del sector de incendio
$A_{h,v}$	superficie total de las aberturas de la envolvente del sector ($A_{h,v} = A_h + A_v$)
A_j	superficie del elemento j de la envolvente sin incluir sus aberturas
A_t	superficie total de la envolvente (paredes, techo y suelo, incluidas las aberturas)
A_v	superficie total de las aberturas verticales existentes en todas las paredes ($A_v = \sum_i A_{v,i}$)
$A_{v,i}$	superficie de la ventana "i"
C_i	coeficiente de protección de la cara i del elemento
D	profundidad del sector de incendio, diámetro del fuego
E_d	valor de cálculo de los efectos pertinentes de las acciones a partir de la combinación fundamental, conforme a la Norma EN 1990
$E_{fi,d}$	valor de cálculo constante de los efectos pertinentes de las acciones en situación de incendio
$E_{fi,d,t}$	valor de cálculo en el instante t de los efectos pertinentes de las acciones en situación de incendio
E_g	energía interna del gas
H	distancia existente entre el foco de fuego y el techo
H_u	potencial calorífico neto, incluyendo la humedad
H_{u0}	potencial calorífico neto del material seco
H_{ui}	potencial calorífico neto del material i

L_c	longitud del núcleo
L_f	longitud de la llama medida a lo largo de su eje
L_H	proyección horizontal de la llama (desde la fachada)
L_h	longitud horizontal de la llama
L_L	altura de la llama (desde la parte superior de la ventana)
L_x	longitud del eje desde la ventana hasta el punto en el que se hace el cálculo
$M_{k,i}$	cantidad de material combustible i
O	coeficiente de abertura del sector de incendio ($O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$)
O_{lim}	coeficiente de abertura reducido, en caso de fuego controlado por el combustible
P_{int}	presión interna
Q	velocidad de liberación de calor del fuego
Q_c	parte convectiva de la velocidad de liberación de calor Q
$Q_{fi, k}$	carga de fuego característica
$Q_{fi, k, i}$	carga de fuego característica del material i
Q_D^*	velocidad de liberación de calor dividida por el diámetro D del fuego local
Q_H^*	velocidad de liberación de calor dividida por la altura H del sector de incendio
$Q_{k,1}$	valor característico de la acción variable principal
$Q_{m\acute{a}x.}$	máxima velocidad de liberación de calor
Q_{in}	velocidad de liberación de calor aportada por el flujo de aire que entra por las aberturas
Q_{out}	velocidad de liberación de calor perdida por el flujo de gas que sale por las aberturas
Q_{rad}	velocidad de liberación de calor perdida por radiación por las aberturas
Q_{wall}	velocidad de liberación de calor perdida por radiación y por convección hacia las superficies del sector de incendio
R	constante de los gases perfectos ($= 287$ [J/kgK])
R_d	valor de cálculo de la resistencia del elemento a temperatura ambiental
$R_{fi,d,t}$	valor de cálculo de la resistencia del elemento en la situación de incendio en el instante t
RHR_f	velocidad máxima de liberación de calor por metro cuadrado
T	temperatura [K]
T_{amb}	temperatura ambiente [K]
T_0	temperatura inicial ($= 293$ [K])
T_f	temperatura en el sector de incendio [K]
T_g	temperatura del gas [K]
T_w	temperatura de la llama en la ventana [K]

T_z	temperatura de la llama a lo largo de su eje [K]
W	longitud de la pared que contiene ventana(s) (W_1 y W_2)
W_1	longitud de la pared 1, suponiendo que contiene la mayor superficie de ventanas
W_2	longitud de la pared del sector de incendio que es perpendicular a la pared W_1
W_a	proyección horizontal de un voladizo o de un balcón
W_c	anchura del núcleo

Letras latinas minúsculas

b	absortividad térmica del conjunto de la envolvente del sector ($b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$)
b_i	absortividad térmica de la capa i de una de las superficies de la envolvente del sector
b_j	absortividad térmica de la superficie j de la envolvente del sector
c	calor específico
d_{eq}	característica geométrica de un elemento estructural exterior (diámetro o lado)
d_f	grosor de la llama
d_i	dimensión de la sección transversal de la cara i del elemento
g	aceleración de la gravedad
h_{eq}	media ponderada de las alturas de las ventanas existentes en todos los muros $\left(h_{eq} = \left(\sum_i (A_{v,i} h_i) \right) / A_v \right)$
h_i	altura de la ventana i
\dot{h}	flujo de calor por unidad de superficie
\dot{h}_{net}	flujo neto de calor por unidad de superficie
$\dot{h}_{net,c}$	flujo neto de calor debido a convección, por unidad de superficie
$\dot{h}_{net,r}$	flujo neto de calor debido a radiación, por unidad de superficie
\dot{h}_{tot}	flujo de calor total por unidad de superficie
\dot{h}_i	flujo de calor debido al fuego i, por unidad de superficie
k	factor de corrección
k_b	factor de conversión
k_c	factor de corrección
m	masa, coeficiente de combustión
\dot{m}	variación de la masa por unidad de tiempo
\dot{m}_{in}	masa de aire que entra por las aberturas por unidad de tiempo
\dot{m}_{out}	masa de gas que sale por las aberturas por unidad de tiempo

\dot{m}_{fi}	masa de productos de pirólisis generada por unidad de tiempo
q_f	carga de fuego por unidad de superficie, referida a la superficie de suelo A_f
$q_{f,d}$	densidad de carga de fuego de cálculo referida a la superficie de suelo A_f
$q_{f,k}$	densidad de carga de fuego característica referida a la superficie de suelo A_f
q_t	carga de fuego por unidad de superficie, referida a la superficie total A_t
$q_{t,d}$	densidad de carga de fuego de cálculo referida a la superficie total A_t
$q_{t,k}$	densidad de carga de fuego característica referida a la superficie total A_t
r	distancia horizontal entre el eje vertical del fuego y el punto del techo en el que se calcula el flujo de calor
s_i	espesor de la capa i
s_{lim}	límite de espesor
t	tiempo
$t_{e,d}$	tiempo equivalente de exposición al fuego
$t_{fi,d}$	resistencia al fuego de cálculo (propiedad del elemento o de la estructura)
$t_{fi,requ}$	tiempo de resistencia al fuego exigido
t_{lim}	tiempo en el que tiene lugar la máxima temperatura del gas, en caso de fuego controlado por el combustible
$t_{máx.}$	tiempo en el que tiene lugar la máxima temperatura del aire
t_a	coeficiente de rapidez de desarrollo del fuego
u	velocidad del viento; contenido de humedad
w_i	anchura de la ventana i
w_t	suma de la anchura de todas las ventanas ($w_t = \sum w_i$); coeficiente de ventilación referido a A_t
w_f	anchura de la llama; coeficiente de ventilación
y	coeficiente
z	altura
z_0	origen virtual de la altura z
z'	posición vertical de la fuente virtual de calor

Letras griegas mayúsculas

Φ	factor de forma
Φ_f	factor global de forma de un elemento para la transferencia de calor por radiación desde una abertura
$\Phi_{f,i}$	factor de forma de la cara i de un elemento para una determinada abertura
Φ_z	factor global de forma de un elemento para la transferencia de calor por radiación desde una llama
$\Phi_{z,i}$	factor de forma de la cara i de un elemento para una determinada llama
Γ	factor de tiempo función del coeficiente de abertura O y de la absorptividad térmica b
Γ_{lim}	factor de tiempo función del coeficiente de abertura O_{lim} y de la absorptividad térmica b

θ	temperatura [°C]; θ [°C] = T [K] – 273
$\theta_{cr,d}$	valor de cálculo de la temperatura crítica del material [°C]
θ_d	valor de cálculo de la temperatura del material [°C]
θ_g	temperatura del gas en el sector de incendio o en la proximidad del elemento [°C]
θ_m	temperatura de la superficie del elemento [°C]
θ_{max}	temperatura máxima [°C]
θ_r	temperatura efectiva de radiación del fuego [°C]
Ω	$(A_f \cdot q_{f,d}) / (A_v \cdot A_t)^{1/2}$
Ψ_i	factor de protección de la carga de fuego

Letras griegas minúsculas

α_c	coeficiente de transferencia de calor por convección
α_h	superficie de las aberturas horizontales dividida por la superficie de suelo
α_v	superficie de las aberturas verticales dividida por la superficie de suelo
δ_{ni}	factor que considera la existencia de una medida específica de protección contra incendios i
δ_{q1}	factor que considera el riesgo de activación del fuego debido al tamaño del sector de incendio
δ_{q2}	factor que considera el riesgo de activación del fuego debido al tipo de actividad
ε_m	emisividad de la superficie del elemento
ε_f	emisividad de las llamas, del fuego
η_{fi}	coeficiente de reducción
$\eta_{fi,t}$	nivel de carga para el cálculo en situación de incendio
λ	conductividad térmica
ρ	densidad
ρ_g	densidad del gas interior
σ	constante de Stephan Boltzmann (= $5,67 \cdot 10^{-8}$ [W/m ² K ⁴])
τ_F	duración del fuego en combustión libre (se asume 1 200 [s])
ψ_0	factor de combinación para el valor característico de una acción variable
ψ_1	factor de combinación para el valor frecuente de una acción variable
ψ_2	factor de combinación para el valor cuasi-permanente de una acción variable

CAPÍTULO 2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO ESTRUCTURAL EN SITUACIÓN DE INCENDIO

2.1 Generalidades

- (1) Un análisis de cálculo estructural en situación de incendio debería considerar los siguientes pasos, cuando sean pertinentes:
 - selección de los escenarios de fuego de cálculo oportunos;
 - determinación de los fuegos de cálculo correspondientes;
 - cálculo de la evolución de la temperatura en el interior de los elementos estructurales;
 - cálculo del comportamiento mecánico de la estructura expuesta al fuego.
- NOTA – El comportamiento mecánico de una estructura depende de las acciones térmicas y de su efecto térmico sobre las propiedades de los materiales y sobre las acciones mecánicas indirectas, así como del efecto directo de las acciones mecánicas.
- (2) El cálculo estructural en situación de incendio supone aplicar acciones relacionadas, tanto con el análisis térmico, como con el análisis mecánico, conforme a esta parte y a otras partes de la Norma EN 1991.
- (3)P Las acciones sobre estructuras expuestas al fuego se clasifican como acciones accidentales. Véase el apartado 6.4.3.3(4) de la Norma EN 1990:2002.

2.2 Escenario de fuego de cálculo

- (1) Para identificar la situación accidental de cálculo, se deberían determinar los escenarios de fuego de cálculo oportunos y los fuegos de cálculo asociados a ellos, a partir de una evaluación del riesgo de incendio.
- (2) En estructuras en las que el riesgo particular de incendio aparece como consecuencia de otras acciones accidentales, dicho riesgo debería considerarse cuando se determine el concepto de seguridad integral.
- (3) El comportamiento de la estructura en función del tiempo y de la carga antes de la situación accidental, no precisa ser considerada, excepto cuando el apartado (2) sea de aplicación.

2.3 Fuego de cálculo

- (1) Para cada escenario de fuego de cálculo debería considerarse un fuego de cálculo en un sector de incendio, conforme a la sección 3 de esta norma.
- (2) El fuego de cálculo debería aplicarse únicamente a un sector de incendio del edificio cada vez, salvo cuando se especifique otra cosa en el escenario de dicho fuego.
- (3) Para aquellas estructuras para las que las autoridades nacionales especifiquen exigencias de resistencia al fuego, puede suponerse que el fuego de cálculo apropiado es el fuego normalizado, excepto cuando se especifique otra cosa.

2.4 Análisis térmico

- (1)P Para hacer el análisis térmico de un elemento se debe tener en cuenta la posición del fuego de cálculo respecto a dicho elemento.

- (2) Para elementos exteriores se debería considerar la exposición al fuego a través de las aberturas de las fachadas y de las cubiertas.
- (3) Para los muros delimitadores de un sector de incendio se debería considerar, cuando sea exigible, la exposición a un fuego en el interior de dicho sector y, alternativamente, a un fuego exterior en otros sectores de incendio.
- (4) Dependiendo del fuego de cálculo adoptado conforme a la sección 3, se deberían utilizar los siguientes procedimientos:
 - con una curva nominal tiempo-temperatura, el análisis térmico de los elementos estructurales se aplica para un periodo de tiempo especificado, sin considerar la fase de enfriamiento;

NOTA 1 – El periodo de tiempo especificado puede estar establecido en la reglamentación nacional u obtenerse a partir del anexo F siguiendo las especificaciones del anexo nacional.

- con un modelo de fuego, el análisis térmico de los elementos estructurales se hace para toda la duración del incendio, incluida la fase de enfriamiento;

NOTA 2 – Los anexos nacionales pueden establecer periodos limitados de resistencia al fuego.

2.5 Análisis mecánico

- (1)P La duración considerada para el análisis mecánico debe ser la misma que para el análisis térmico.
- (2) La verificación de la resistencia al fuego debería realizarse en términos de tiempo:

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,requ} \quad (2.1)$$

o en términos de resistencia:

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t} \quad (2.2)$$

o en términos de temperatura:

$$\theta_d \leq \theta_{cr,d} \quad (2.3)$$

donde

$t_{fi,d}$ es el valor de cálculo de la resistencia al fuego;

$t_{fi,requ}$ es el tiempo de resistencia al fuego exigido;

$R_{fi,d,t}$ es el valor de cálculo de la resistencia del elemento en situación de incendio en el instante t ;

$E_{fi,d,t}$ es el valor de cálculo de los efectos pertinentes de las acciones en situación de incendio en el tiempo t ;

θ_d es el valor de cálculo de la temperatura del material;

$\theta_{cr,d}$ es el valor de cálculo de la temperatura crítica del material.

CAPÍTULO 3 ACCIONES PARA EL ANÁLISIS TÉRMICO (ACCIONES TÉRMICAS)

3.1 Reglas generales

- (1)P Las acciones térmicas vienen dadas por el flujo neto de calor \dot{h}_{net} [W/m²] sobre la superficie del elemento.
- (2) El flujo neto de calor \dot{h}_{net} sobre las superficies expuestas al fuego debería determinarse considerando la transmisión de calor por convección y por radiación:

$$\dot{h}_{\text{net}} = \dot{h}_{\text{net,c}} + \dot{h}_{\text{net,r}} \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.1)$$

donde

$\dot{h}_{\text{net,c}}$ viene dado por la ecuación (3.2);

$\dot{h}_{\text{net,r}}$ viene dado por la ecuación (3.3).

- (3) La componente de convección del flujo térmico se debería determinar con:

$$\dot{h}_{\text{net,c}} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_m) \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.2)$$

donde

α_c es el coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m² K];

θ_g es la temperatura del gas en la proximidad del elemento expuesto al fuego [°C];

θ_m es la temperatura de la superficie del elemento [°C].

- (4) Los coeficientes de transferencia de calor por convección α_c correspondientes a las curvas nominales tiempo-temperatura se indican en el apartado 3.2.
- (5) En la cara no expuesta de los elementos separadores, el flujo neto de calor \dot{h}_{net} debería determinarse utilizando la ecuación (3.1), donde $\alpha_c = 4$ [W/m² K]. Como coeficiente de transferencia de calor por convección debería adoptarse $\alpha_c = 9$ [W/m² K] cuando se suponga que incluye los efectos de transferencia de calor por radiación.
- (6) La componente de radiación del flujo neto de calor por unidad de superficie se determina mediante:

$$\dot{h}_{\text{net,r}} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot \left[(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right] \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.3)$$

donde

Φ es el factor de forma;

ε_m es la emisividad de la superficie del elemento;

ε_f es la emisividad del fuego;

σ es la constante de Stephan Boltzmann ($= 5,67 \cdot 10^{-8}$ [W/m² K⁴]);

θ_r es la temperatura efectiva de radiación del fuego [°C];

θ_m es la temperatura de la superficie del elemento [°C].

NOTA 1 – Salvo mención explícita en las partes de los proyectos de Normas prEN 1992 a prEN 1996 y prEN 1999 relativas al cálculo estructural en situación de incendio según el material, se puede adoptar $\varepsilon_m = 0,8$.

NOTA 2 – Para la emisividad del fuego generalmente se adopta $\varepsilon_f = 1,0$.

- (7) Cuando esta parte o las partes de los proyectos de las Normas prEN 1992 a prEN 1996 y prEN 1999 relativas al cálculo estructural en situación de incendio no aporten datos específicos para el factor de forma, debería adoptarse como factor de forma $\Phi = 1,0$. Para tener en cuenta los efectos de posición y de sombra puede adoptarse un valor menor.

NOTA – En el anexo G se aporta un método para el cálculo del factor de forma Φ .

- (8) En el caso de elementos totalmente rodeados por el fuego, la temperatura de radiación θ_r puede asimilarse a la temperatura del gas θ_g alrededor del elemento.
- (9) La temperatura de la superficie θ_m se obtiene como resultado del análisis térmico del elemento conforme a las Partes 1-2 de los proyectos de Normas prEN 1992 a prEN 1996 y prEN 1999 relativas al cálculo estructural en situación de incendio que sean aplicables.
- (10) Las temperaturas del gas θ_g pueden adoptarse en forma de curvas nominales tiempo-temperatura conforme al apartado 3.2, o según los modelos de fuego indicados en el apartado 3.3.

NOTA El anexo nacional puede especificar las condiciones de utilización de las curvas nominales tiempo-temperatura conforme al apartado 3.2 o bien, como alternativa, la utilización de modelos de fuego natural.

3.2 Curvas nominales tiempo-temperatura

3.2.1 Curva normalizada tiempo-temperatura

- (1) La curva normalizada tiempo-temperatura está definida por:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.4)$$

donde

θ_g es la temperatura del gas en el sector de incendio [$^{\circ}\text{C}$]

t es el tiempo [min]

- (2) El coeficiente de transferencia de calor por convección es:

$$\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

3.2.2 Curva de fuego exterior

- (1) La curva de fuego exterior está definida por:

$$\theta_g = 660 \left(1 - 0,687 e^{-0,32t} - 0,313 e^{-3,8t} \right) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.5)$$

donde

θ_g es la temperatura del gas en la proximidad del elemento [$^{\circ}\text{C}$]

t es el tiempo [min]

- (2) El coeficiente de transferencia de calor por convección es:

$$\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

3.2.3 Curva de hidrocarburos

- (1) La curva tiempo-temperatura de hidrocarburos está definida por:

$$\theta_g = 1\,080 \left(1 - 0,325 e^{-0,167 t} - 0,675 e^{-2,5 t} \right) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.6)$$

donde

θ_g es la temperatura del gas en el sector de incendio $[^{\circ}\text{C}]$

t es el tiempo $[\text{min}]$

- (2) El coeficiente de transferencia de calor por convección es: (3.7)

$$\alpha_c = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$$

3.3 Modelos de fuego natural

3.3.1 Modelos de fuego simplificados

3.3.1.1 Generalidades

- (1) Los modelos de fuego simplificados se fundamentan en parámetros físicos específicos con un campo de aplicación limitado.

NOTA – En el anexo E se aporta un método para el cálculo de la densidad de carga de fuego de cálculo $q_{t,d}$.

- (2) Para los fuegos de sector se supone una distribución uniforme de la temperatura en función del tiempo. Para los fuegos localizados se supone no uniforme.
- (3) Cuando se utilicen modelos de fuego simplificados, como coeficiente de transferencia de calor por convección se debería adoptar $\alpha_c = 35 \text{ [W/m}^2\text{ K]}$.

3.3.1.2 Fuegos de sector

- (1) Las temperaturas del gas deberían determinarse en función de parámetros físicos, considerando al menos la densidad de carga de fuego y las condiciones de ventilación.

NOTA 1 – El anexo nacional puede especificar el método de cálculo de las condiciones de calentamiento.

NOTA 2 – Para elementos interiores a los sectores, en el anexo A se aporta un método para el cálculo de la temperatura del gas en el sector.

- (2) Para los elementos exteriores, la componente de radiación del flujo de calor debería calcularse como la suma de las aportaciones del sector de incendio y de las llamas que salen por la aberturas.

NOTA – En el anexo B se aporta un método para el cálculo de las condiciones de calentamiento de los elementos exteriores expuestos al fuego por las aberturas de fachada.

3.3.1.3 Fuegos localizados

- (1) Cuando sea improbable que se alcance la inflamación súbita generalizada (*flash-over*) se deberían tener en cuenta las acciones térmicas correspondientes a un fuego localizado.

NOTA – El anexo nacional puede especificar el procedimiento de cálculo de las condiciones de calentamiento. En el anexo C se aporta un método para el cálculo de la acciones térmicas de los fuegos localizados.

3.3.2 Modelos de fuego avanzados

- (1) Los modelos de fuego avanzados deberían tener en cuenta los siguientes aspectos:

- las propiedades del gas;
- el intercambio de masa;
- el intercambio de energía.

NOTA 1 – Los métodos de cálculo disponibles normalmente incluyen procedimientos iterativos.

NOTA 2 – En el anexo E se aporta un método para el cálculo de la densidad de carga de fuego de cálculo $q_{f,d}$.

NOTA 3 – En el anexo E se aporta un método para el cálculo de la velocidad de liberación de calor \dot{Q} .

- (2) Se debería utilizar uno de los siguientes modelos:

- modelos de una zona, suponiendo una distribución uniforme de la temperatura en el sector de incendio en función del tiempo;
- modelos de dos zonas, suponiendo una capa superior cuyo espesor y temperatura, considerada uniforme, son función del tiempo, y una capa inferior con temperatura menor, uniforme y función del tiempo;
- modelos informáticos de dinámica de fluidos que determinen la evolución de la temperatura en el sector, en función del tiempo y del espacio.

NOTA – El anexo nacional puede especificar el procedimiento de cálculo de las condiciones de calentamiento. En el anexo D se aporta un método para el cálculo de la acciones térmicas según el modelo utilizado: de una zona, de dos zonas o modelo informático de dinámica de fluidos.

- (3) Excepto cuando se disponga de información más detallada, se debería adoptar el coeficiente de transferencia de calor por convección $\alpha_c = 35 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$.
- (4) En caso de fuego localizado, para calcular con más precisión la distribución de la temperatura en el elemento puede considerarse una combinación de los resultados obtenidos con un modelo de dos zonas y con un enfoque de fuego localizado.

NOTA – El campo de temperaturas en el elemento puede obtenerse considerando el efecto máximo de los dos modelos de fuego para cada localización.

CAPÍTULO 4 ACCIONES PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL (ACCIONES MECÁNICAS)

4.1 Generalidades

- (1)P Las dilataciones y las deformaciones impuestas y coartadas causadas por cambios de temperatura debidos a la exposición al fuego tienen como resultado efectos de acciones (por ejemplo fuerzas y momentos) que se deben tener en cuenta, excepto en los casos en que:
- pueda admitirse a priori que son despreciables o favorables;
 - sean consecuencia de modelos de apoyo y de condiciones de contorno adoptados del lado de la seguridad, o bien se hayan en cuenta implícitamente en requisitos de protección contra incendios establecidos con criterios conservadores.
- (2) Para evaluar las acciones indirectas se debería tener en cuenta:
- la dilatación térmica constreñida de los propios elementos, por ejemplo los pilares de estructuras de pórticos de varias plantas con muros rígidos;
 - la dilatación térmica diferencial en el interior de elementos hiperestáticos, por ejemplo forjados de piso continuos;
 - los gradientes térmicos en las secciones transversales que originen tensiones internas;
 - la dilatación térmica de elementos adyacentes, por ejemplo el desplazamiento de la cabeza de un pilar debido a la dilatación de un forjado de piso, o la dilatación de cables suspendidos;
 - la dilatación térmica de elementos que afecte a otros elementos situados fuera del sector de incendio.
- (3) Los valores de cálculo de las acciones indirectas debidas al fuego $A_{ind,d}$ deberían determinarse en función de los valores de cálculo de las propiedades térmicas y mecánicas de los materiales que figuran en las partes de los proyectos de Norma prEN 1992 a prEN 1996 y prEN 1999 relativas al cálculo en situación de incendio y de la exposición al fuego considerada.
- (4) Cuando los requisitos de protección contra incendios se refieran a elementos sometidos a un fuego normalizado no es preciso considerar las acciones indirectas debidas a los elementos adyacentes.

4.2 Simultaneidad de acciones

4.2.1 Acciones procedentes del cálculo a temperatura ambiental

- (1)P Las acciones se deben considerar como para el cálculo a temperatura ambiental, si es previsible que estén presentes en situación de incendio.
- (2) Se deberían tener en cuenta los valores representativos de las acciones variables correspondientes a la situación accidental de exposición al fuego, conforme a la Norma EN 1990.
- (3) No se debería tener en cuenta la disminución de las sobrecargas debida a la combustión.
- (4) Los casos en los que no es preciso considerar la carga de nieve debido a su fusión deberían evaluarse individualmente.
- (5) No es necesario tener en cuenta las acciones resultantes de operaciones industriales.

4.2.2 Acciones adicionales

- (1) No es necesario tener en cuenta la simultaneidad con otras acciones accidentales independientes.
- (2) Dependiendo de las situaciones accidentales de cálculo a considerar, puede ser necesario aplicar acciones adicionales inducidas por el fuego durante la exposición al mismo, por ejemplo, impacto debido al colapso de un elemento estructural o de maquinaria pesada.

NOTA – La elección de acciones adicionales puede especificarse en el anexo nacional.

- (3) Puede ser necesario exigir a los muros cortafuegos que resistan un impacto horizontal de acuerdo con la Norma EN 1363-2.

4.3 Reglas para la combinación de acciones

4.3.1 Regla general

- (1)P Para obtener los efectos de las acciones $E_{fi,d,t}$ aplicables durante la exposición al fuego, se deben combinar las acciones mecánicas conforme a lo establecido en la Norma EN 1990 "Bases de cálculo de estructuras" para situaciones accidentales de cálculo.
- (2) El valor representativo de la acción variable Q_1 puede considerarse como el valor cuasi-permanente $\Psi_{2,1} Q_1$, o bien como el valor frecuente $\Psi_{1,1} Q_1$.

NOTA – El anexo nacional puede especificar la utilización del valor cuasi-permanente $\Psi_{2,1} Q_1$ o bien del valor frecuente $\Psi_{1,1} Q_1$. Se recomienda la utilización de $\Psi_{2,1} Q_1$.

4.3.2 Reglas simplificadas

- (1) Cuando no sea necesario considerar explícitamente las acciones indirectas de fuego, los efectos de las acciones pueden determinarse analizando la estructura para las acciones combinadas según el apartado 4.3.1 únicamente para $t = 0$. La aplicación de dichos efectos de las acciones $E_{fi,d}$ puede considerarse constante durante toda la exposición al fuego.

NOTA – Esto es de aplicación, por ejemplo, a los efectos de las acciones en los bordes y los apoyos, cuando se realice un análisis de partes de la estructura de acuerdo con las partes de los proyectos de Norma prEN 1992 a prEN 1996 y prEN 1999 relativas al cálculo en situación de incendio.

- (2) Como simplificación adicional de (1), los efectos de las acciones pueden deducirse de los determinados en el cálculo a temperatura ambiental:

$$E_{fi,d,t} = E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (4.1)$$

donde

E_d es el valor de cálculo de los efectos pertinentes de las acciones en la combinación fundamental, conforme a la Norma EN 1990;

$E_{fi,d}$ es el valor constante de cálculo correspondiente a la situación de incendio;

η_{fi} es un coeficiente de reducción definido en las partes de los proyectos de Norma prEN 1992 a prEN 1996 y prEN 1999 relativas al cálculo en situación de incendio.

4.3.3 Nivel de carga

- (1) Cuando se especifiquen datos tabulados para un nivel de carga de referencia, éste se corresponde con:

$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi,t} \cdot R_d \quad (4.2)$$

donde

R_d es valor de cálculo de la resistencia del elemento a temperatura ambiental, determinado conforme a los proyectos de Norma prEN 1992 a prEN 1996 y prEN 1999;

$\eta_{fi,t}$ es el nivel de carga para cálculo en situación de incendio.

ANEXO A (Informativo)

CURVAS PARAMÉTRICAS TIEMPO-TEMPERATURA

- (1) Las siguientes curvas tiempo-temperatura son válidas para sectores de incendio cuya superficie construida no exceda de 500 m², sin aberturas en la cubierta y con una altura máxima de 4 m. Se supone la combustión completa de toda la carga de fuego.
- (2) Si las densidades de carga de fuego se especifican sin consideraciones específicas sobre las condiciones de combustión (véase el anexo E), este procedimiento debería limitarse a sectores de incendio cuya carga de fuego sea principalmente de tipo celulósico.
- (3) Las curvas tiempo-temperatura de la fase de calentamiento se definen por:

$$\Theta_g = 20 + 1\,325 \left(1 - 0,324 e^{-0,2t^*} - 0,204 e^{-1,7t^*} - 0,472 e^{-19t^*} \right) \quad (\text{A.1})$$

donde

$$\begin{aligned} \Theta_g & \text{ es la temperatura del aire en el sector de incendio} & [^{\circ}\text{C}] \\ t^* & = t \cdot \Gamma & [\text{h}] \end{aligned} \quad (\text{A.2a})$$

con

$$t \quad \text{tiempo} \quad [\text{h}]$$

$$\Gamma = [O/b]^2 / (0,04 / 1\,160)^2 \quad [-]$$

$$b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$$

$$\text{con los siguientes límites: } 100 \leq b \leq 2\,200 \quad [\text{J/m}^2 \text{ s}^{1/2} \text{ K}]$$

$$\rho \quad \text{densidad del elemento de la envolvente del sector de incendio} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$c \quad \text{calor específico del elemento de la envolvente del sector de incendio} \quad [\text{J/kg K}]$$

$$\lambda \quad \text{conductividad térmica del elemento de la envolvente del sector de incendio} \quad [\text{W/m K}]$$

$$O \quad \text{coeficiente de abertura: } A_v \sqrt{h_{\text{eq}}} / A_t \quad [\text{m}^{1/2}]$$

con los siguientes límites: $0,02 \leq O \leq 0,20$

$$A_v \quad \text{superficie total de las aberturas verticales de todas las paredes} \quad [\text{m}^2]$$

$$h_{\text{eq}} \quad \text{media ponderada de altura de las ventanas de todas las paredes} \quad [\text{m}]$$

$$A_t \quad \text{superficie total de la envolvente (paredes, techo y suelo, incluidas las aberturas)} \quad [\text{m}^2]$$

NOTA — En caso de $\Gamma = 1$, la ecuación (A.1) se aproxima a la curva normalizada tiempo-temperatura.

(4) Para calcular el coeficiente b pueden tomarse los valores a temperatura ambiente de la densidad ρ , del calor específico c y de la conductividad térmica λ del elemento de la envolvente del sector de incendio.

(5) Para un cerramiento con varias capas de materiales, $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ debería introducirse de la siguiente forma:

$$- \text{ si } b_1 < b_2, b = b_1 \quad (A.3)$$

- si $b_1 > b_2$ se calcula un espesor límite s_{lim} para el material expuesto, conforme a:

$$s_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{3\,600 \, t_{\text{máx.}} \lambda_1}{c_1 \rho_1}} \quad \text{con } t_{\text{máx.}} \text{ dado por la ecuación A.7} \quad [\text{m}] \quad (A.4)$$

$$\text{si } s_1 > s_{\text{lim}} \quad \text{entonces } b = b_1 \quad (A.4a)$$

$$\text{si } s_1 < s_{\text{lim}} \quad \text{entonces } b = \frac{s_1}{s_{\text{lim}}} b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{\text{lim}}}\right) b_2 \quad (A.4b)$$

donde

el índice 1 representa la capa directamente expuesta al fuego, el índice 2 la capa siguiente, etc.

s_i es el espesor de la capa i ;

$$b_i = \sqrt{(\rho c_i \lambda_i)} ;$$

ρ es la densidad de la capa i ;

c_i es el calor específico de la capa i ;

λ_i es la conductividad térmica de la capa i .

(6) Para tener en cuenta los diferentes coeficientes b de las paredes, techos y suelos, $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ debería introducirse como:

$$b = \left(\sum (b_j A_j) \right) / (A_t - A_v) \quad (A.5)$$

donde

A_j es la superficie del elemento de la envolvente j , excluidas las aberturas;

b_j es la propiedad térmica del elemento j de la envolvente conforme a las ecuaciones (A.3) y (A.4).

- (7) La temperatura máxima θ_{\max} en la fase de calentamiento tiene lugar para $t^* = t_{\max}^*$.

$$t_{\max}^* = t_{\max} \cdot \Gamma \quad [\text{h}] \quad (\text{A.6})$$

$$\text{con} \quad t_{\max} = \max \left[\left(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O \right); t_{\lim} \right] \quad [\text{h}] \quad (\text{A.7})$$

donde

$q_{t,d}$ es el valor de cálculo de la densidad de carga de fuego referida a la superficie total A_t de la envolvente $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$ [MJ/m²]. Se deberían tener en cuenta los siguientes límites: $50 \leq q_{t,d} \leq 1\,000$ [MJ/m²];

$q_{f,d}$ es el valor de cálculo de la densidad de carga de fuego referida a la superficie de suelo construida A_f [MJ/m²] indicada en el anexo E;

t_{\lim} viene dado en el punto (10), en [h].

NOTA – Cuando el fuego esté controlado por el combustible, el tiempo t_{\max} correspondiente a la temperatura máxima viene dado por t_{\lim} . Si t_{\lim} viene dado por $(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O)$ el fuego está controlado por la ventilación.

- (8) Cuando $t_{\max} = t_{\lim}$, la variable t^* de la ecuación (A.1) se sustituye por:

$$t^* = t \cdot \Gamma_{\lim} \quad [\text{h}] \quad (\text{A.2b})$$

$$\text{con} \quad \Gamma_{\lim} = [O_{\lim} / b]^2 / (0,04 / 1\,160)^2 \quad (\text{A.8})$$

$$\text{donde} \quad O_{\lim} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / t_{\lim} \quad (\text{A.9})$$

- (9) Si $(O > 0,04$ y $q_{t,d} < 75$ y $b < 1\,160)$, Γ_{\lim} en la ecuación (A.8) tiene que multiplicarse por k dado por:

$$k = 1 + \left(\frac{O - 0,04}{0,04} \right) \left(\frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \left(\frac{1\,160 - b}{1\,160} \right) \quad (\text{A.10})$$

- (10) Para fuegos de desarrollo lento, $t_{\lim} = 25$ min; para fuegos de desarrollo medio, $t_{\lim} = 20$ min y para fuegos de desarrollo rápido, $t_{\lim} = 15$ min;

NOTA – Para más detalles acerca de la rapidez de desarrollo del fuego, véase la tabla E.5 del anexo E.

- (11) Las curvas tiempo-temperatura en la fase de enfriamiento vienen dadas por:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 625 \left(t^* - t_{\max}^* \cdot x \right) \quad \text{para} \quad t_{\max}^* \leq 0,5 \quad (\text{A.11a})$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250 \left(3 - t_{\max}^* \right) \left(t^* - t_{\max}^* \cdot x \right) \quad \text{para} \quad 0,5 < t_{\max}^* < 2 \quad (\text{A.11b})$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250 \left(t^* - t_{\max}^* \cdot x \right) \quad \text{para} \quad t_{\max}^* \geq 2 \quad (\text{A.11c})$$

donde t^* viene dado por (A.2a)

$$t_{\max}^* = \left(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O \right) \cdot \Gamma \quad (\text{A.12})$$

$x = 1,0$ si $t_{\max} > t_{\lim}$, o bien $x = t_{\lim} \cdot \Gamma / t_{\max}^*$ si $t_{\max} = t_{\lim}$

ANEXO B (Informativo)

ACCIONES TÉRMICAS SOBRE ELEMENTOS EXTERIORES – MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO

B.1 Objeto y campo de aplicación

- (1) Este método permite determinar:
 - las temperaturas máximas de un fuego de sector;
 - el tamaño y temperatura de las llamas que salen por las aberturas;
 - los parámetros de radiación y de convección.
- (2) Este método considera condiciones de régimen estacionario para los diversos parámetros. El método únicamente es válido para cargas de fuego $q_{f,d}$ mayores de 200 MJ/m².

B.2 Condiciones de utilización

- (1) Cuando exista más de una ventana en el sector de incendio considerado, se debe utilizar la altura media ponderada de las ventanas h_{eq} , la superficie total de las aberturas verticales A_v y la suma de la anchura de las ventanas ($w_i = \sum w_i$).
- (2) Cuando solamente hay ventanas en la pared 1, la relación D/W viene dada por:

$$D/W = \frac{W_2}{w_t} \quad (B.1)$$

- (3) Cuando hay ventanas en más de una pared, la relación D/W debe obtenerse conforme a:

$$D/W = \frac{W_2}{W_1} \frac{A_{v1}}{A_v} \quad (B.2)$$

donde

W_1 es la anchura de la pared 1, suponiendo que contiene la mayor superficie de ventanas;

A_{v1} es la suma de la superficie de las ventanas de la pared 1;

W_2 es la anchura de la pared perpendicular a la pared 1 del sector de incendio.

- (4) Cuando el sector de incendio contenga un núcleo central, la relación D/W debe obtenerse conforme a lo siguiente:
 - se aplican los límites dados en el punto (7);
 - L_c y W_c son la longitud y la anchura del núcleo;
 - W_1 y W_2 son la longitud y la anchura del sector de incendio;

$$D/W = \frac{(W_2 - L_c) A_{v1}}{(W_1 - W_c) A_v} \quad (B.3)$$

- (5) Todas las zonas de una fachada que no tengan al menos la resistencia al fuego (REI) exigida para la estabilidad del edificio se deberían considerar como ventanas.
- (6) Se considera la superficie total de ventanas de una fachada:
 - la superficie total de ventanas de acuerdo con el punto (5), si es menor que el 50% de la superficie de la fachada considerada del sector;
 - en primer lugar la superficie total de las ventanas, y en segundo lugar el 50% de la superficie de la fachada considerada del sector si, de acuerdo con el punto (5), la superficie total de ventanas es mayor que el 50% de la superficie de la fachada. Estas dos hipótesis deberían considerarse en el cálculo. Cuando se utilice como superficie el 50% de la superficie de la fachada, la localización y la geometría de las aberturas deberían adoptarse de forma que se considere la opción más desfavorable.
- (7) El sector de incendio no debería exceder de 70 m de longitud, de 18 m de anchura y de 5 m de altura.
- (8) La temperatura de la llama debería suponerse uniforme en toda su anchura y en todo su espesor.

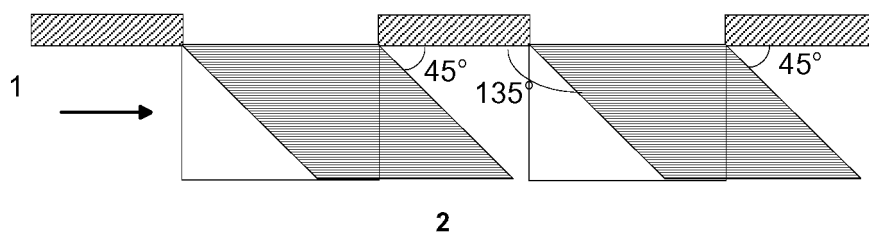
B.3 Efectos del viento

B.3.1 Modo de ventilación

- (1)P Si hay ventanas en lados opuestos del sector o si hay aportación adicional de aire al fuego desde un origen distinto de las ventanas, el cálculo se debe efectuar para condiciones de ventilación forzada. En caso contrario se efectúa para condiciones de ventilación no forzada.

B.3.2 Desvío de la llama por el viento

- (1) Se debería asumir que las llamas que salen por una ventana de un sector de incendio lo hacen (véase la figura B.1):
 - perpendicularmente a la fachada;
 - con una desviación de 45° debido al efecto del viento.



Leyenda

- 1 Viento
- 2 Sección horizontal

Fig. B.1 – Desvío de la llama por el viento

B.4 Características del fuego y de las llamas

B.4.1 Ventilación no forzada

(1) La velocidad de combustión o la velocidad de liberación de calor viene dada por:

$$Q = \min. \left((A_f \cdot q_{f,d}) / \tau_F; 3,15 (1 - e^{-0,036/O}) A_v \left(\frac{h_{eq}}{D/W} \right)^{1/2} \right) \quad [\text{MW}] \quad (\text{B.4})$$

(2) La temperatura en el sector de incendio viene dada por:

$$T_f = 6\,000 (1 - e^{-0,1/O}) O^{1/2} (1 - e^{-0,00286\Omega}) + T_0 \quad (\text{B.5})$$

(3) La altura de la llama (véase la figura B.2) viene dada por:

$$L_L = \max. \left(0; h_{eq} \left(2,37 \left(\frac{Q}{A_v \rho_g (h_{eq} g)^{1/2}} \right)^{2/3} - 1 \right) \right) \quad (\text{B.6})$$

NOTA – Para $\rho_g = 0,45 \text{ kg/m}^3$ y $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, esta ecuación puede simplificarse, quedando:

$$L_L = 1,9 \left(\frac{Q}{w_t} \right)^{2/3} - h_{eq} \quad (\text{B.7})$$

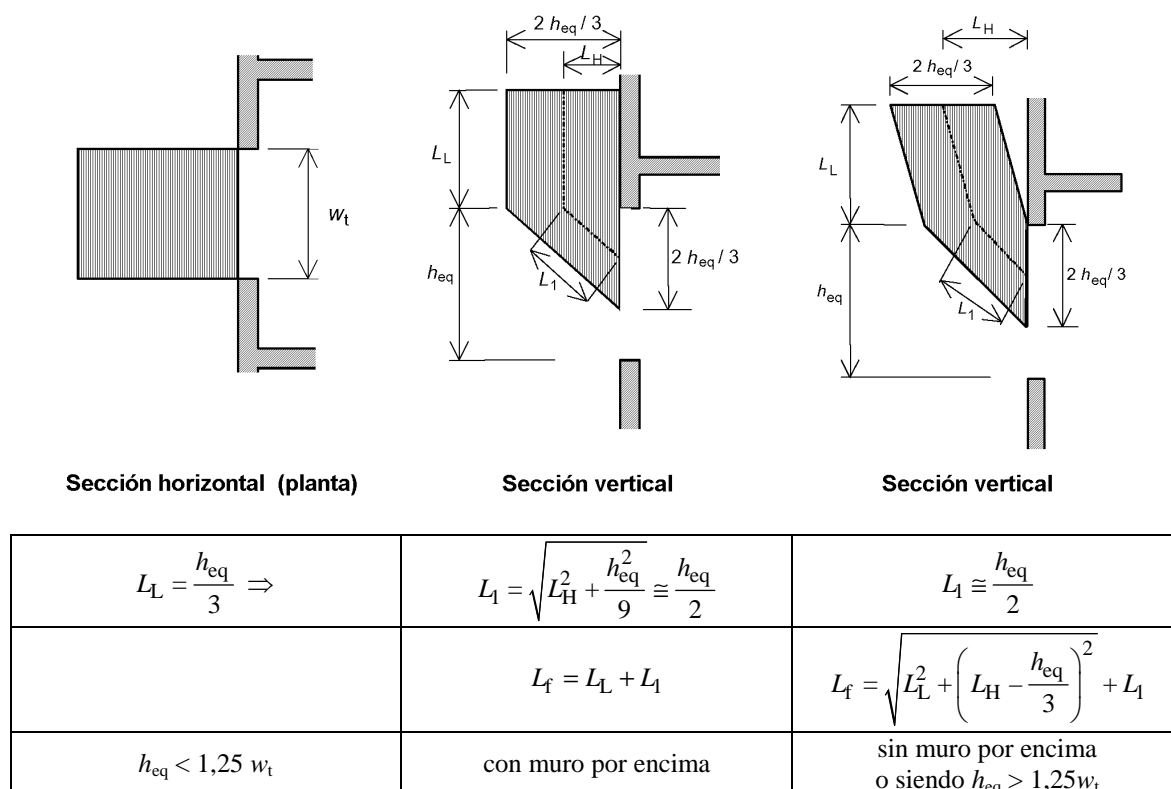


Fig. B.2 – Dimensión de las llamas sin ventilación forzada

- (4) La anchura de la llama es igual a la anchura de la ventana (véase la figura B.2).
- (5) El espesor de la llama es igual a 2/3 de la altura de la ventana: $2/3 h_{eq}$ (véase la figura B.2).
- (6) La proyección horizontal de las llamas viene dada:

- si existe muro por encima de la ventana, por:

$$L_H = h_{eq} / 3 \quad \text{si } h_{eq} \leq 1,25 w_t \quad (\text{B.8})$$

$$L_H = 0,3 h_{eq} (h_{eq} / w_t)^{0,54} \quad \text{si } h_{eq} > 1,25 w_t \text{ y la distancia a cualquier otra ventana es } > 4 w_t \quad (\text{B.9})$$

$$L_H = 0,454 h_{eq} (h_{eq} / 2 w_t)^{0,54} \quad \text{en otros casos} \quad (\text{B.10})$$

- si no existe muro por encima de la ventana, por:

$$L_H = 0,6 h_{eq} (L_L / h_{eq})^{1/3} \quad (\text{B.11})$$

- (7) La longitud de las llamas, medida a lo largo de su eje, viene dada:

cuando $L_L > 0$ por:

$$L_f = L_L + h_{eq} / 2 \quad \begin{array}{l} \text{si existe un muro por encima de la ventana} \\ \text{o si } h_{eq} \leq 1,25 w_t \end{array} \quad (\text{B.12})$$

$$L_f = (L_L^2 + (L_H - h_{eq} / 3)^2)^{1/2} + h_{eq} / 2 \quad \begin{array}{l} \text{si no existe un muro por encima de la ventana} \\ \text{o si } h_{eq} > 1,25 w_t \end{array} \quad (\text{B.13})$$

cuando $L_L = 0$, entonces $L_f = 0$

- (8) La temperatura de la llama en la ventana viene dada por:

$$T_w = 520 / (1 - 0,4725 (L_f \cdot w_t / Q)) + T_0 \quad [\text{K}] \quad (\text{B.14})$$

con $L_f \cdot w_t / Q < 1$

- (9) La emisividad de las llamas en la ventana puede considerarse $\varepsilon_f = 1,0$

- (10) La temperatura de las llamas a lo largo de su eje viene dada por:

$$T_z = (T_w - T_0) (1 - 0,4725 (L_x \cdot w_t / Q)) + T_0 \quad [\text{K}] \quad (\text{B.15})$$

con

$$L_x \cdot w_t / Q < 1;$$

L_x es la longitud, medida sobre el eje, desde la ventana hasta el punto en el que se hace el cálculo.

- (11) Para la emisividad de las llamas puede adoptarse:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0,3d_f} \quad (\text{B.16})$$

donde d_f es el espesor de las llamas en [m]

(12) El coeficiente de transferencia de calor por convección viene dado por:

$$\alpha_c = 4,67 (1 / d_{eq})^{0,4} (Q / A_v)^{0,6} \quad (B.17)$$

(13) Si sobre el dintel superior de la ventana y en toda su anchura (véase la figura B.3) existe un voladizo o un balcón con proyección horizontal W_a , en el muro situado por encima de la ventana y siempre que $h_{eq} \leq 1,25 w_t$, la altura y la proyección horizontal de las llamas deberían modificarse como se indica a continuación:

- la altura de las llamas L_L dada en (3) se reduce un valor igual a $W_a (1 + \sqrt{2})$;
- la proyección horizontal de las llamas L_H dada en (6) se incrementa un valor igual a W_a .

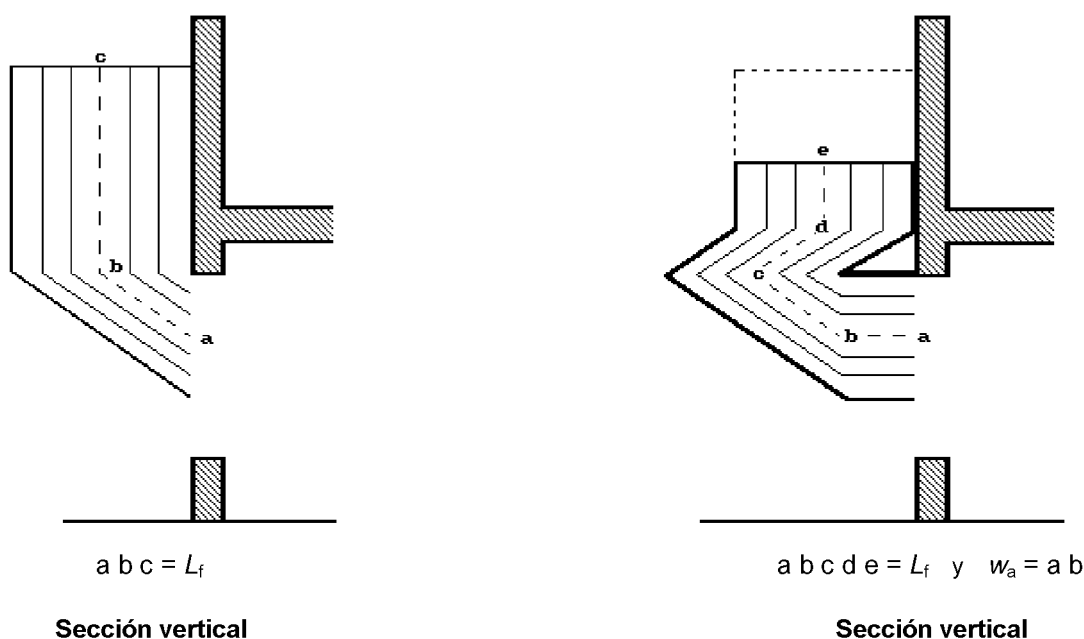


Fig. B.3 – Desvío de las llamas debido a los balcones

(14) Con las mismas condiciones de voladizo o de balcón indicadas en el punto (13), en caso de que no exista muro sobre la ventana o si $h_{eq} > 1,25 w_t$, la altura y la proyección horizontal de las llamas deberían modificarse del siguiente modo:

- la altura de las llamas L_L dada en el punto (3) se reduce un valor igual a W_a ;
- la proyección horizontal de las llamas L_H , obtenida según el punto (6) con el valor L_L citado, se aumenta un valor igual a W_a .

B.4.2 Ventilación forzada

(1) La velocidad de combustión o la velocidad de liberación de calor viene dada por:

$$Q = (A_f \cdot q_{f,d}) / \tau_F \quad [MW] \quad (B.18)$$

(2) La temperatura en el sector de incendio viene dada por:

$$T_f = 1\,200 \left((A_f \cdot q_{f,d}) / 17,5 - e^{-0,00228 \Omega} \right) + T_0 \quad (\text{B.19})$$

(3) La altura de las llamas (véase la figura B.4) viene dada por:

$$L_L = \left(1,366 \left(\frac{1}{u} \right)^{0,43} \frac{Q}{A_v^{1/2}} \right) - h_{eq} \quad (\text{B.20})$$

NOTA – Para $u = 6$ m/s, $L_L \approx 0,628 Q / A_v^{1/2} - h_{eq}$.

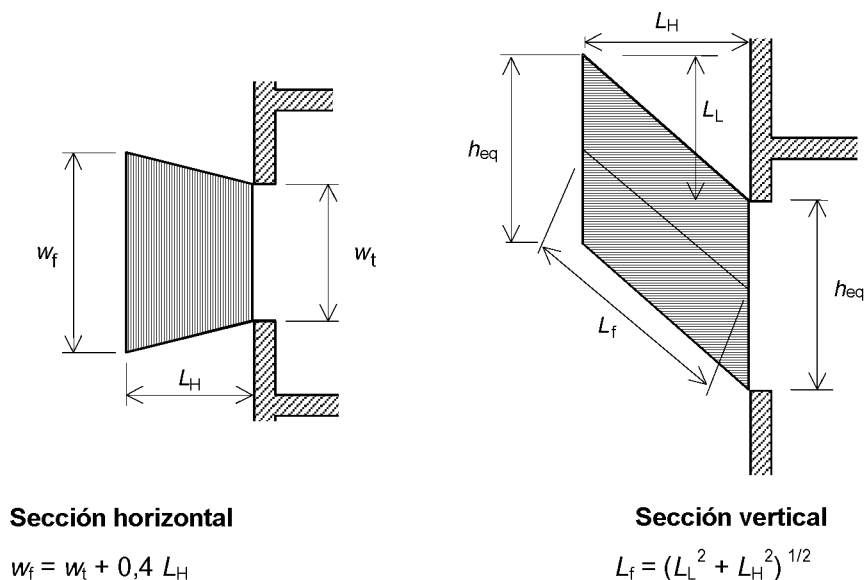


Fig. B.4 – Dimensión de las llamas con ventilación forzada

(4) La proyección horizontal de las llamas viene dada por:

$$L_H = 0,605 \left(u^2 / h_{eq} \right)^{0,22} (L_L + h_{eq}) \quad (\text{B.21})$$

NOTA – Para $u = 6$ m/s, $L_H = 1,33 (L_L + h_{eq}) / h_{eq}^{0,22}$.

(5) La anchura de las llamas viene dada por:

$$w_f = w_t + 0,4 L_H \quad (\text{B.22})$$

(6) La longitud de las llamas, medida a lo largo de su eje, viene dada por:

$$L_f = (L_L^2 + L_H^2)^{1/2} \quad (\text{B.23})$$

- (7) La temperatura de las llamas en la ventana viene dada por:

$$T_w = 520 / (1 - 0,3325 L_f (A_v)^{1/2} / Q) + T_0 \quad [K] \quad (B.24)$$

con $L_f (A_v)^{1/2} / Q < 1$

- (8) La emisividad de las llamas en la ventana puede considerarse como $\varepsilon_f = 1,0$

- (9) La temperatura de las llamas a lo largo de su eje viene dada por:

$$T_z = \left(1 - 0,3325 \frac{L_x (A_v)^{1/2}}{Q} \right) (T_w - T_0) + T_0 \quad [K] \quad (B.25)$$

donde

L_x es la longitud, medida a lo largo del eje, desde la ventana hasta el punto en el cual se hace el cálculo.

- (10) La emisividad de las llamas puede considerarse como:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0,3d_f} \quad (B.26)$$

donde d_f es el espesor de las llamas en [m]

- (11) El coeficiente de transferencia de calor por convección viene dado por:

$$\alpha_c = 9,8 (1 / d_{eq})^{0,4} (Q / (17,5 A_v) + u / 1,6)^{0,6} \quad (B.27)$$

NOTA – Con $u = 6$ m/s el coeficiente de transferencia de calor por convección viene dado por:

$$\alpha_c = 9,8 (1 / d_{eq})^{0,4} (Q / (17,5 A_v) + 3,75)^{0,6}$$

- (12) En relación con los efectos de los balcones y voladizos (véase la figura B.5), la trayectoria de las llamas, tras ser desviada horizontalmente por un balcón o un voladizo, continúa de igual forma, es decir, se desplaza hacia el exterior una longitud igual a la profundidad del balcón, pero mantiene la misma longitud de llama L_f .

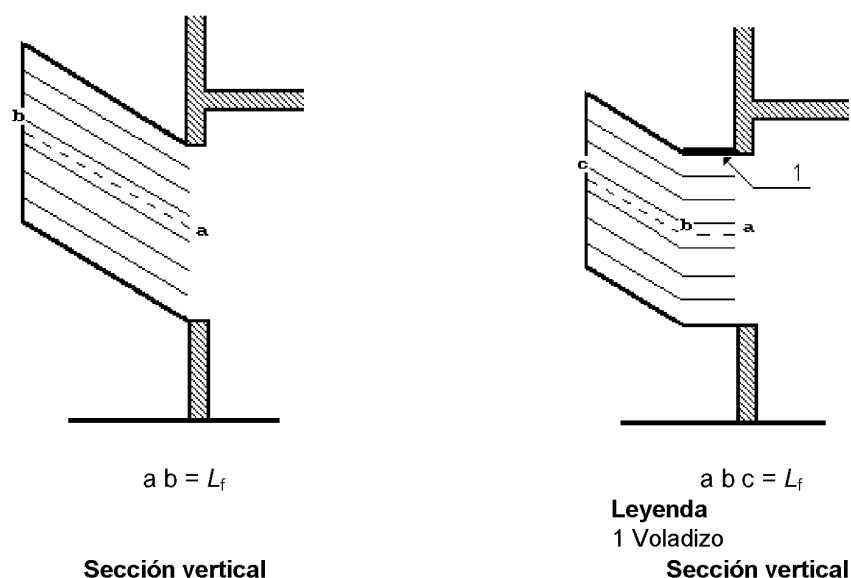


Fig. B.5 – Desvío de las llamas debido a un voladizo

B.5 Factores globales de forma

- (1) El factor global de forma Φ_f de un elemento para la transferencia de calor por radiación desde una abertura debería determinarse mediante:

$$\Phi_f = \frac{(C_1\Phi_{f,1} + C_2\Phi_{f,2})d_1 + (C_3\Phi_{f,3} + C_4\Phi_{f,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2} \quad (\text{B.28})$$

donde

$\Phi_{f,i}$ es el factor de forma de la cara i del elemento para la abertura considerada (véase el anexo G);

d_i es la dimensión de la sección transversal de la cara i del elemento;

C_i es el coeficiente de protección de la cara i del elemento, conforme a lo siguiente:

- para una cara protegida: $C_i = 0$
- para una cara no protegida: $C_i = 1$

- (2) El factor de forma $\Phi_{f,i}$ de una cara del elemento desde la cual la abertura no es visible debería considerarse cero.
- (3) El factor global de forma Φ_z de un elemento para la transferencia de calor por radiación desde una llama debería determinarse mediante:

$$\Phi_z = \frac{(C_1\Phi_{z,1} + C_2\Phi_{z,2})d_1 + (C_3\Phi_{z,3} + C_4\Phi_{z,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2} \quad (\text{B.29})$$

donde

$\Phi_{z,i}$ es el factor de forma de la cara i del elemento para la llama (véase el anexo G).

- (4) Los factores de forma $\Phi_{z,i}$ de las caras de un elemento para la transferencia de calor por radiación desde una llama pueden determinarse en función de dimensiones rectangulares equivalentes de la llama. Para ello, las dimensiones y localizaciones de los rectángulos equivalentes representativos de las partes frontales y laterales de las llamas deberían determinarse como se indica en el anexo G. Para otros fines, deberían utilizarse las dimensiones de las llamas dadas en el capítulo 4 de este anexo.

ANEXO C (Informativo)

FUEGOS LOCALIZADOS

- (1) La acción térmica de un fuego localizado puede determinarse mediante la expresión que se aporta en este anexo. Se deben establecer diferencias en función de la altura relativa de las llamas respecto del techo.
- (2) El flujo de calor de un fuego localizado sobre un elemento estructural debería calcularse mediante la expresión (3.1) y basarse en un factor de forma establecido conforme al anexo G.
- (3) La longitud de las llamas L_f de un fuego localizado (véase la figura C.1) viene dada por:

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5} \quad [\text{m}] \quad (\text{C.1})$$

- (4) Si las llamas no alcanzan el techo del sector de incendio ($L_f < H$; véase la figura C.1) o en caso de un fuego al aire libre, la temperatura $\Theta_{(z)}$ del penacho a lo largo de su eje vertical de simetría viene dada por:

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25 Q_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \leq 900 \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{C.2})$$

donde

D es el diámetro del fuego en [m], (véase la figura C.1);

Q es la velocidad de liberación de calor en [W] del fuego conforme al capítulo E.4;

Q_c es la componente de convección de la velocidad de liberación de calor en [W] siendo $Q_c = 0,8 Q$ por defecto;

z es la altura en [m] medida sobre el eje de las llamas, véase la figura C.1;

H es la distancia en [m] entre el foco de fuego y el techo, véase la figura C.1.

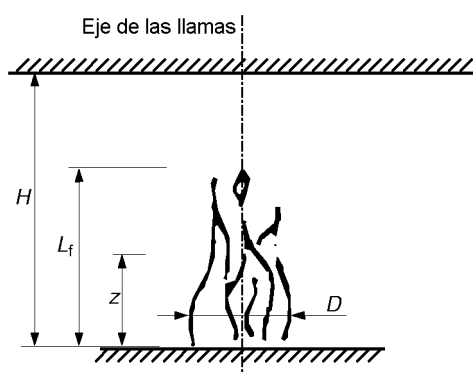


Fig. C.1

(5) El origen virtual z_0 del eje viene dado por:

$$z_0 = -1,02 D + 0,00524 Q^{2/5} \quad [\text{m}] \quad (\text{C.3})$$

(6) Si las llamas alcanzan el techo ($L_f \geq H$; véase la figura C.2) el flujo de calor \dot{h} [W/m^2] recibido por la unidad de superficie expuesta al fuego a la altura del techo viene dado por:

$$\begin{aligned} \dot{h} &= 100\,000 & \text{si } y \leq 0,30 \\ \dot{h} &= 136\,000 \text{ a } 121\,000 y & \text{si } 0,30 < y < 1,0 \\ \dot{h} &= 15\,000 y^{-3,7} & \text{si } y \geq 1,0 \end{aligned} \quad (\text{C.4})$$

donde

y es un parámetro [-] dado por: $y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'}$

r es la distancia horizontal [m] entre el eje vertical del fuego y el punto del techo para el que se calcula el flujo de calor, véase la figura C.2.

H es la distancia [m] entre el foco del fuego y el techo, véase la figura C.2.

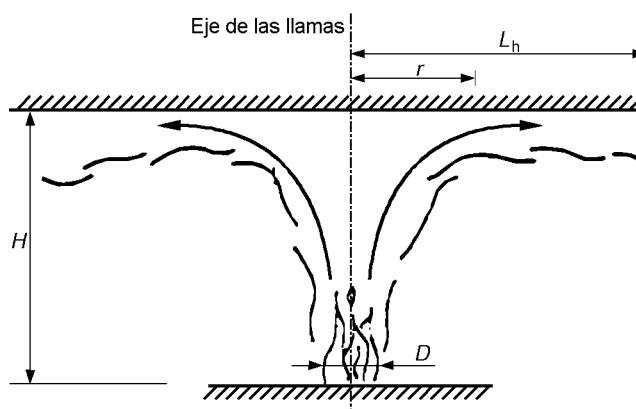


Figura C.2

(7) L_h es la longitud horizontal de las llamas (véase la figura C.2) dada por la siguiente relación:

$$L_h = (2,9 H (Q_H^*)^{0,33}) - H \quad [\text{m}] \quad (\text{C.5})$$

(8) Q_H^* es un factor adimensional de liberación de calor, dado por:

$$Q_H^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot H^{2,5}) \quad [-] \quad (\text{C.6})$$

(9) z' es la posición vertical del foco virtual de calor [m] y viene dada por:

$$z' = 2,4 D (Q_D^{*2/5} - Q_D^{*2/3}) \text{ cuando } Q_D^{*} < 1,0 \quad (C.7)$$

$$z' = 2,4 D (1,0 - Q_D^{*2/5}) \text{ cuando } Q_D^{*} \geq 1,0$$

donde

$$Q_D^{*} = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot D^{2,5}) \quad [-] \quad (C.8)$$

(10) El flujo neto de calor \dot{h}_{net} recibido por la unidad de superficie expuesta al fuego a la altura del techo, viene dado por:

$$\dot{h}_{\text{net}} = \dot{h} - \alpha_c \cdot (\Theta_m - 20) - \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_m + 273)^4 - (293)^4] \quad (C.9)$$

donde los diversos coeficientes dependen de las expresiones (3.2), (3.3) y (C.4).

(11) Las reglas dadas en los puntos (3) a (10) son válidas si se cumplen las siguientes condiciones:

- el diámetro del fuego está limitado por $D \leq 10$ m;
- la velocidad de liberación de calor del fuego está limitada por $Q \leq 50$ MW.

(12) En caso de varios fuegos localizados separados, la expresión (C.4) puede utilizarse para obtener los diferentes flujos térmicos $\dot{h}_1, \dot{h}_2, \dots$ recibidos por la unidad de superficie expuesta al fuego a la altura del techo. Para el flujo térmico total puede adoptarse:

$$\dot{h}_{\text{tot}} = \dot{h}_1 + \dot{h}_2 \dots \leq 100\,000 \quad [\text{W/m}^2] \quad (C.10)$$

ANEXO D (Informativo)

MODELOS DE FUEGO AVANZADOS

D.1 Modelos de una zona

- (1) Se debería aplicar un modelo de una zona para situaciones posteriores a la inflamación súbita generalizada (*flash-over*). La temperatura, la densidad, la energía interna y la presión del aire se suponen homogéneas en el sector de incendio considerado.
- (2) La temperatura debería calcularse teniendo en cuenta:
- la resolución de las ecuaciones de conservación de masa y energía;
 - el intercambio de masa entre el gas interior, el aire exterior (a través de las aberturas) y el fuego (velocidad de pirólisis);
 - el intercambio de energía entre el fuego, el gas interior, las paredes y las aberturas.

- (3) La ley de gases perfectos considerada es la siguiente:

$$P_{\text{int}} = \rho_g R T_g \quad [\text{N/m}^2] \quad (\text{D.1})$$

- (4) El balance de masa de los gases del sector se expresa como:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{\text{in}} - \dot{m}_{\text{out}} + \dot{m}_{\text{fi}} \quad [\text{kg/s}] \quad (\text{D.2})$$

donde

$\frac{dm}{dt}$ es la pérdida de masa del gas en el sector en la unidad de tiempo;

\dot{m}_{out} es la masa de gas que sale por las aberturas en la unidad de tiempo;

\dot{m}_{in} es la masa de aire que entra por las aberturas en la unidad de tiempo;

\dot{m}_{fi} es la masa de los productos generados por la pirólisis en la unidad de tiempo.

- (5) La pérdida de masa del gas y la masa de productos generados por la pirólisis pueden despreciarse. Por tanto:

$$\dot{m}_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{out}} \quad (\text{D.3})$$

Estos flujos de masa pueden calcularse a partir de la presión estática debida a la diferencia de densidad del aire a temperatura ambiente y a alta temperatura.

- (6) El balance energético de los gases en el sector de incendio puede considerarse como:

$$\frac{dE_g}{dt} = Q - Q_{out} + Q_{in} - Q_{wall} - Q_{rad} \quad [W] \quad (D.4)$$

donde

E_g es la energía interna del gas [J]

Q es la velocidad de liberación de calor del fuego [W]

$$Q_{out} = \dot{m}_{out} c T_f$$

$$Q_{in} = \dot{m}_{in} c T_{amb}$$

$Q_{wall} = (A_t - A_{h,v}) \dot{h}_{net}$, es la pérdida de energía por las superficies de la envolvente

$Q_{rad} = A_{h,v} \sigma T_f^4$, es la pérdida de energía por radiación a través de las aberturas

donde

c es el calor específico [J/kgK]

\dot{h}_{net} viene dado por la expresión (3.1)

\dot{m} es la velocidad de variación de masa del gas [kg/s]

T es la temperatura [K]

D.2 Modelos de dos zonas

- (1) Un modelo de dos zonas se basa en la hipótesis de que los productos de combustión se acumulan en una capa bajo el techo, con una superficie de separación horizontal. Se definen diferentes zonas: la capa superior, la capa inferior, el fuego y su penacho, el aire exterior y las paredes.
- (2) En la capa superior, las características del gas se pueden suponer uniformes.
- (3) Los intercambios de masa, energía y sustancia química pueden calcularse entre las zonas citadas.
- (4) En un determinado sector con carga de fuego uniformemente distribuida, un modelo de dos zonas puede convertirse en uno de una zona en una de las situaciones siguientes:
 - si la temperatura del gas de la capa superior supera los 500 °C,
 - si la altura de la capa superior aumenta hasta suponer el 80% de la altura del sector.

D.3 Modelos informáticos de dinámica de fluidos

- (1) Puede utilizarse un modelo informático de dinámica de fluidos para resolver numéricamente las ecuaciones diferenciales parciales proporcionando las variables termodinámicas y aerodinámicas para todos los puntos del sector.

NOTA – Los modelos informáticos de dinámica de fluidos (CFD) analizan los sistemas que implican al flujo de fluidos, a la transferencia de calor y a los fenómenos asociados, resolviendo las ecuaciones fundamentales de flujo de fluidos. Estas ecuaciones son la expresión matemática de las leyes de conservación de la física:

- se conserva la masa de un fluido;
- la variación de la cantidad de movimiento es igual a la suma de las fuerzas ejercidas sobre una partícula de fluido (segunda ley de Newton);
- la variación de energía es igual a la suma de la tasa de calentamiento y la tasa de trabajo realizado sobre una partícula de fluido (primera ley de la termodinámica).

ANEXO E (Informativo)

DENSIDADES DE CARGA DE FUEGO

E.1 Generalidades

- (1) La densidad de carga de fuego utilizada en los cálculos debería ser un valor de cálculo basado en mediciones, o bien, en casos especiales, en las exigencias de resistencia al fuego de las reglamentaciones nacionales.
- (2) El valor de cálculo puede determinarse:
 - a partir de una clasificación nacional de cargas de fuego según el tipo de actividad; y/o
 - de manera específica para un proyecto particular, efectuando un estudio de cargas de fuego.
- (3) El valor de cálculo de la carga de fuego $q_{f,d}$ se define por:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (\text{E.1})$$

donde

m es el coeficiente de combustión (véase el capítulo E.3);

δ_{q1} es un coeficiente que tiene en cuenta el riesgo de inicio del incendio debido al tamaño del sector (véase la tabla E.1);

δ_{q2} es un coeficiente que tiene en cuenta el riesgo de inicio del incendio debido al tipo de actividad (véase la tabla E.1);

$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$ es un coeficiente que tiene en cuenta las diferentes medidas activas de lucha contra incendios i (rociadores, detección, transmisión automática de alarma, equipo de bomberos, ...). Estas medidas activas son generalmente implantadas por razones de protección de las personas (véase la tabla E.2 y los puntos (4) y (5)).

$q_{f,k}$ es la densidad de carga de fuego característica por unidad de superficie de suelo [MJ/m^2] (véase, por ejemplo, la tabla E.4)

Tabla E.1
Coeficientes δ_{q1} , δ_{q2}

Superficie de suelo del sector A_f [m ²]	Riesgo de inicio del incendio δ_{q1}	Riesgo de inicio del incendio δ_{q2}	Ejemplos de tipos de actividad
25	1,10	0,78	galería de arte, museo, piscina
250	1,50	1,00	oficina, residencia, hotel, industria papelera
2 500	1,90	1,22	fábrica de maquinaria y de motores
5 000	2,00	1,44	laboratorio químico, taller de pintura
10 000	2,13	1,66	fábrica de fuegos artificiales o de pinturas

Tabla E.2
Coeficientes $\delta_{n,i}$

$\delta_{n,i}$ Función de las medidas activas de lucha contra incendios											
Extinción automática				Detección automática		Extinción manual					
Sistema automático de extinción por agua	Fuentes independientes de suministro de agua			Detección y alarma automática		Transmisión automática de la alarma a los bomberos	Equipos propios de bomberos	Bomberos ajenos	Vías seguras de acceso	Equipo de lucha contra incendios	Sistema de control de humos
	0	1	2	de calor	de humo						
$\delta_{n\ 1}$	$\delta_{n\ 2}$			$\delta_{n\ 3}$	$\delta_{n\ 4}$	$\delta_{n\ 5}$	$\delta_{n\ 6}$	$\delta_{n\ 7}$	$\delta_{n\ 8}$	$\delta_{n\ 9}$	$\delta_{n\ 10}$
0,61	1,0	0,87	0,7	0,87 ó 0,73		0,87	0,61 ó 0,78		0,9 ó 1 ó 1,5	1,0 ó 1,5	1,0 ó 1,5

- (4) Para las medidas habituales de lucha contra incendios, que deberían estar siempre presentes, tales como vías seguras de acceso, equipo de lucha contra incendios y sistema de extracción de humos en cajas de escalera, los valores $\delta_{n,i}$ de la tabla E.2 deberían considerarse iguales a 1,0. Sin embargo, si dichas medidas no han sido previstas, el correspondiente valor $\delta_{n,i}$ debería considerarse igual a 1,5.
- (5) Si los cajas de las escaleras están presurizadas en caso de alarma por incendio, el coeficiente $\delta_{n,8}$ de la tabla E.2 puede considerarse igual a 0,9.
- (6) El criterio anterior se apoya en la hipótesis de que se cumplen las exigencias de las normas europeas relativas a instalaciones de rociadores, detección, alarma y sistemas de extracción de humos (véase también el apartado 1.3). No obstante, las circunstancias de cada caso pueden hacer modificar los valores indicados en la tabla E.2. A este respecto, véase el Documento de Referencia CEN/TC250/SC1/N300A.

E.2 Determinación de las densidades de carga de fuego

E.2.1 Generalidades

- (1) La carga de fuego debería incluir todo el contenido combustible del edificio y todos los elementos constructivos combustibles, incluidos los revestimientos y los acabados. No es preciso tener en cuenta los elementos combustibles que no se carbonizan durante el incendio.

- (2) Los párrafos siguientes son de aplicación para la determinación de las densidades de carga de fuego:
 - a partir de una clasificación de cargas de fuego según el tipo de actividad (véase el apartado E.2.5); y/o
 - de forma específica para un proyecto en particular (véase el apartado E.2.6).
- (3) Cuando las densidades de carga de fuego se determinan a partir de una clasificación de cargas de fuego según el tipo de actividad, se distinguen:
 - las cargas de fuego propias de la actividad, dadas en la clasificación;
 - las cargas de fuego debidas al edificio (elementos constructivos, revestimientos y acabados) que normalmente no están incluidos en la clasificación y que se determinan conforme a los párrafos siguientes que sean de aplicación.

E.2.2 Definiciones

- (1) La carga de fuego característica se define como:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \Psi_i = \sum Q_{fi,k,i} \quad [\text{MJ}] \quad (\text{E.2})$$

donde

$M_{k,i}$ es la cantidad de material combustible [kg] conforme a los puntos (3) y (4);

H_{ui} es el potencial calorífico neto [MJ/kg] (véase el apartado E.2.4);

$[\Psi_i]$ es el coeficiente opcional que permite evaluar las cargas de fuego protegidas (véase el apartado E.2.3).

- (2) La densidad de carga de fuego característica $q_{f,k}$ por unidad de superficie se define como:

$$q_{f,k} = Q_{fi,k} / A \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (\text{E.3})$$

donde

A es, o bien la superficie de suelo (A_f) del sector de incendio o del espacio de referencia, o bien la superficie interior total de la envolvente (A_t), resultando $q_{f,k}$ o $q_{t,k}$ respectivamente

- (3) Las cargas de fuego permanentes, cuya variación no es previsible durante la vida útil de una estructura, deberían considerarse con los valores esperados obtenidos del muestreo.
- (4) Las cargas de fuego variables, susceptibles de cambiar durante la vida útil de la estructura, deberían considerarse con los valores que se prevea que durante el 80% del tiempo no van a ser superados.

E.2.3 Cargas de fuego protegidas

- (1) No es necesario considerar las cargas de fuego en contenedores diseñados para resistir la exposición al fuego.
- (2) Las cargas de fuego en contenedores no combustibles y no concebidos específicamente para resistir la exposición al fuego, pero que se mantienen intactos durante la misma, pueden considerarse del siguiente modo:
 - a la carga de fuego mayor o al menos al 10% de todas las cargas de fuego protegidas, se le aplica un coeficiente $\Psi_i = 1,0$;

- si esta carga de fuego más las cargas de fuego no protegidas no son suficientes para calentar las restantes cargas de fuego por encima de sus temperaturas de ignición, entonces, a las restantes cargas de fuego protegidas se les puede aplicar un coeficiente $\Psi_i = 0,0$;
- en otros casos, el valor del coeficiente Ψ_i debe determinarse individualmente.

E.2.4 Potenciales caloríficos netos

- (1) Los potenciales caloríficos netos de los materiales deberían determinarse conforme a la Norma EN ISO 1716:2002.
- (2) El contenido de humedad de los materiales puede tenerse en cuenta de la siguiente forma:

$$H_u = H_{u0} (1 - 0,01 u) - 0,025 u \quad [\text{MJ/kg}] \quad (\text{E.4})$$

donde

u es el contenido de humedad, en porcentaje del peso en estado seco;

H_{u0} es el potencial calorífico neto del material seco.

- (3) En la tabla E.3 se aporta el potencial calorífico neto de algunos sólidos, líquidos y gases.

Tabla E.3
Potencial calorífico neto H_u [MJ/kg] de materiales combustibles para calcular cargas de fuego

Sólidos	
Madera	17,5
Otros materiales celulósicos	20
* Tejido	
* Corcho	
* Algodón	
* Papel, cartón	
* Seda	
* Paja	
* Lana	
Carbón	30
* Antracita	
* Carbón	
* Carbón de leña	
Productos químicos	
Serie de parafinas	50
* Metano	
* Etano	
* Propano	
* Butano	
Serie de olefinas	45
* Etileno	
* Propileno	
* Butano	
Serie de aromáticos	40
* Benzeno	
* Tolueno	
Alcoholes	30
* Metanol	
* Etanol	
* Alcohol etílico	
Combustibles	45
* Gasolina, petróleo	
* Diesel	
Hidrocarburos plásticos	40
* Polietileno	
* Poliestireno	
* Polipropileno	
Otros productos	
ABS (plástico)	35
Poliéster (plástico)	30
Polisocianurato y poliuretano (plástico)	25
Policloruro de vinilo, PVC (plástico)	20
Betún, asfalto	40
Cuero	20
Linoleo	20
Neumático	30
NOTA – Los valores que figuran en esta tabla no son aplicables para calcular el contenido energético de los combustibles.	

E.2.5 Clasificación de las cargas de fuego según el tipo de actividad

- (1) Las densidades de carga de fuego deberían clasificarse según la actividad, estar referidas a la superficie del suelo y utilizarse como densidades de carga de fuego características $q_{f,k}$ [MJ/m²], conforme a la tabla E.4.

Tabla E.4
Densidades de carga de fuego $q_{f,k}$ [MJ/m²] para diferentes actividades

Actividad	Media	Fractil 80%
Vivienda	780	948
Hospital (habitación)	230	280
Hotel (habitación)	310	377
Biblioteca	1 500	1 824
Oficina	420	511
Aula de escuela	285	347
Centro comercial	600	730
Teatro (cine)	300	365
Transporte (espacio público)	100	122
NOTA – Para el fractil 80% se supone aplicada la ley de Gumbel.		

- (2) Los valores de la densidad de carga de fuego $q_{f,k}$ dados en la tabla E.4 son válidos cuando el coeficiente δ_{q2} sea igual a 1,0 (véase la tabla E.1).
- (3) Las cargas de fuego indicadas en la tabla E.4 son válidas para recintos normales y para las actividades indicadas. Los recintos especiales se consideran según el apartado E.2.2.
- (4) Las cargas de fuego debidas al edificio (elementos constructivos, revestimientos y acabados) deberían determinarse según el apartado E.2.2. Cuando sea pertinente, estas cargas deberían añadirse a las densidades de carga de fuego del punto (1).

E.2.6 Evaluación individual de densidades de carga de fuego

- (1) Para aquellas actividades no clasificadas, la densidad de carga de fuego puede determinarse de forma específica para un proyecto individual, mediante un estudio de las cargas de fuego debidas a la actividad.
- (2) Las cargas de fuego y su localización deberían evaluarse teniendo en cuenta el uso previsto, el mobiliario y las instalaciones, los cambios a lo largo del tiempo, las tendencias desfavorables y los posibles cambios de actividad.
- (3) Cuando sea posible, debería realizarse un examen de un proyecto existente comparable, de tal forma que la propiedad solo necesite especificar las posibles diferencias entre el proyecto previsto y el existente.

E.3 Características de la combustión

- (1) Las características de la combustión deberían tenerse en cuenta, en función de la actividad y del tipo de carga de fuego.
- (2) Para materiales predominantemente celulósicos, el coeficiente de combustión puede suponerse $m = 0,8$.

E.4 Velocidad de liberación de calor Q

- (1) La fase de desarrollo del fuego puede definirse por la expresión:

$$Q = 10^6 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad (\text{E.5})$$

donde

Q es la velocidad de liberación de calor en [W];

t es el tiempo en [s];

t_α es el tiempo necesario para alcanzar una velocidad de liberación de calor de 1 MW.

- (2) El parámetro t_α y la máxima velocidad de liberación de calor RHR_f para diferentes actividades se indican en la tabla E.5.

Tabla E.5
Rapidez de desarrollo del fuego y RHR_f para diferentes actividades

Máxima velocidad de liberación de calor RHR_f			
Actividad	Rapidez de desarrollo del fuego	t_α [s]	RHR_f [kW/m ²]
Vivienda	Medio	300	250
Hospital (habitación)	Medio	300	250
Hotel (habitación)	Medio	300	250
Biblioteca	Rápido	150	500
Oficina	Medio	300	250
Aula de escuela	Medio	300	250
Centro comercial	Rápido	150	250
Teatro (cine)	Rápido	150	500
Transporte (espacio público)	Lento	600	250

- (3) Los valores del coeficiente de rapidez de desarrollo del fuego y de RHR_f indicados en la tabla E.5 son válidos cuando el coeficiente δ_{q2} sea igual a 1,0 (véase la tabla E.1).
- (4) Para un fuego de propagación ultra rápida, a t_α le corresponde el valor 75 s.
- (5) La fase de desarrollo del fuego está limitada por una línea horizontal que se corresponde con el estado estacionario y con un valor de Q dado por ($RHR_f \cdot A_{fi}$)

donde

A_{fi} es la máxima superficie del fuego [m²], que es la del sector de incendio si la carga de fuego está uniformemente distribuida, pero que puede ser menor en caso de fuego localizado;

RHR_f es la máxima velocidad de liberación de calor producido por 1 m² de fuego, en caso de fuego controlado por el combustible [kW/m²] (véase la tabla E.5).

- (6) La línea horizontal está limitada por la fase de decaimiento, la cual comienza cuando el 70% de la carga total de fuego se ha consumido.
- (7) Se puede suponer que la fase de decaimiento es un decrecimiento lineal que comienza cuando el 70% de la carga de fuego se ha consumido y que se completa cuando la carga de fuego se ha consumido por completo.
- (8) Si el fuego está controlado por ventilación, el nivel de la línea debe reducirse en función de la cantidad de oxígeno disponible, ya sea utilizando un programa informático basado en un modelo de una zona, o bien utilizando la expresión simplificada:

$$Q_{\text{máx.}} = 0,10 \times m \times H_u \times A_v \times \sqrt{h_{\text{eq}}} \quad [\text{MW}] \quad (\text{E.6})$$

donde

A_v es la superficie de la aberturas [m^2];

h_{eq} es la altura media de las aberturas [m];

H_u es el potencial calorífico neto de la madera, igual a 17,5 MJ/kg;

m es el coeficiente de combustión, igual a 0,8.

- (9) Cuando se reduce el valor máximo de velocidad de liberación de calor, en el caso de fuego controlado por ventilación, la curva de la velocidad de liberación de calor debe prolongarse para que se corresponda con la energía disponible, dada por la carga de fuego. Si esta curva no se prolonga, se asume que se produce combustión en el exterior del recinto, lo que supone una menor temperatura del gas en su interior.

ANEXO F (Informativo)

TIEMPO EQUIVALENTE DE EXPOSICIÓN AL FUEGO

- (1) Este procedimiento puede utilizarse cuando el cálculo de los elementos se fundamenta en datos tabulados o en otras reglas simplificadas referidas a la exposición al fuego normalizado.

NOTA – El método dado en este anexo depende del material. No es aplicable a estructuras mixtas de acero y hormigón, ni a estructuras de madera.

- (2) Cuando las densidades de carga de fuego se especifiquen sin considerar el tipo de combustión (véase el anexo E), este método solo debería aplicarse a sectores de incendio cuya carga de fuego sea predominantemente celulósica.
- (3) El tiempo equivalente de exposición al fuego normalizado se define por:

$$t_{e,d} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) k_c \quad \text{o bien} \\ t_{e,d} = (q_{t,d} \cdot k_b \cdot w_t) k_c \quad [\text{min}] \quad (\text{F.1})$$

donde

$q_{f,d}$ es la densidad de carga de fuego de cálculo según el anexo E, siendo $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$;

k_b es el factor de conversión conforme al punto (4);

w_f es el coeficiente de ventilación conforme al punto (5), siendo $w_t = w_f \cdot A_t / A_f$;

k_c es el factor de corrección función del material que constituye las secciones transversales de la estructura y que se define en la tabla F.1.

Tabla F.1
Factor de corrección k_c que cubre los diferentes materiales
(O es el coeficiente de abertura definido en el anexo A)

Material de la sección	Factor de corrección k_c
Hormigón armado	1,0
Acero protegido	1,0
Acero no protegido	$13,7 \cdot O$

- (4) Cuando no se realice una evaluación detallada de las propiedades térmicas de la envolvente, el factor de conversión k_c puede tomarse:

$$k_b = 0,07 \quad [\text{min} \cdot \text{m}^2/\text{MJ}] \quad \text{cuando } q_d \text{ venga dado en } [\text{MJ}/\text{m}^2] \quad (\text{F.2})$$

En otro caso k_b puede ser función de las propiedades térmicas de la envolvente $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ según la tabla F.2. Para determinar b para materiales de varias capas, o para paredes, suelos o techos compuestos por diferentes materiales, véanse los puntos (5) y (6) del anexo A.

Tabla F.2
Factor de conversión k_b función de las propiedades térmicas de la envolvente

$b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ [J/m ² s ^{1/2} K]	k_b [min · m ² /MJ]
$b > 2\,500$	0,04
$720 \leq b \leq 2\,500$	0,055
$b < 720$	0,07

(5) El coeficiente de ventilación w_f puede calcularse como:

$$w_f = (6,0 / H)^{0,3} [0,62 + 90 (0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \alpha_h)] \geq 0,5 \quad [-] \quad (F.3)$$

donde

$\alpha_v = A_v / A_f$ es la relación entre la superficie de las aberturas verticales de la fachada (A_v) y la superficie de suelo del sector de incendio (A_f), debiendo tenerse en cuenta los límites $0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25$;

$\alpha_h = A_h / A_f$ es la relación entre la superficie de las aberturas horizontales de la cubierta (A_h) y la superficie de suelo del sector de incendio (A_f);

$$b_v = 12,5 (1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2) \geq 10,0$$

H es la altura del sector de incendio [m]

Para sectores de incendio pequeños ($A_f < 100 \text{ m}^2$) sin aberturas en la cubierta, el factor w_f puede también calcularse como:

$$w_f = O^{-1/2} \cdot A_f / A_t \quad (F.4)$$

donde

O es el coeficiente de abertura conforme al anexo A.

(6) Se debe verificar que:

$$t_{e,d} < t_{fi,d} \quad (F.5)$$

donde

$t_{fi,d}$ es el valor de cálculo de la resistencia al fuego normalizado de los elementos, determinada conforme a las partes de los proyectos de Norma prEN 1992 a prEN 1996 y prEN 1999 relativas al cálculo en situación de incendio.

ANEXO G (Informativo)

FACTOR DE FORMA

G.1 Generalidades

- (1) El factor de forma Φ se define en el apartado 1.5.4.1, y en forma matemática viene dado por:

$$dF_{d1-d2} = \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi S_{1-2}^2} dA_2 \quad (G.1)$$

El factor de forma mide la fracción del calor total emitido por radiación por una superficie radiante que llega a una determinada superficie receptora. Su valor depende del tamaño de la superficie radiante, de la distancia entre la superficie radiante y la superficie receptora y de la orientación relativa entre ambas (véase la figura G.1).

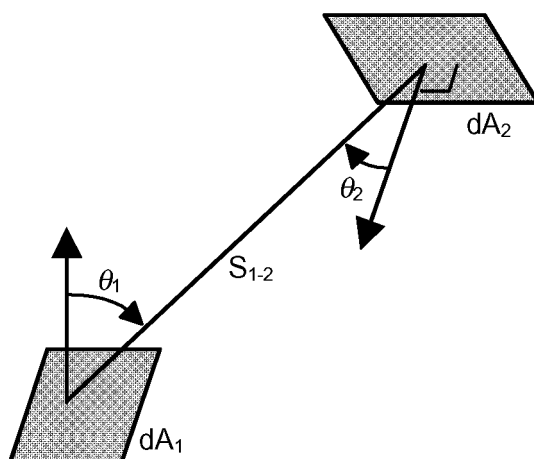


Fig. G.1 – Transferencia de calor por radiación entre dos superficies infinitesimales

- (2) En los casos en los que la temperatura y la emisividad del elemento radiante son uniformes, la definición puede simplificarse así: "El ángulo sólido bajo el cual el medio radiante puede ser visto desde una determinada superficie infinitesimal, dividido por 2π ."
- (3) La transferencia de calor por radiación sobre un área infinitesimal de la superficie de un elemento convexo depende únicamente de la posición y del tamaño del fuego (efecto posición).
- (4) La transferencia de calor por radiación sobre un área infinitesimal de la superficie de un elemento cóncavo depende de la posición y del tamaño del fuego (efecto posición), así como de la radiación desde otras partes del elemento (efecto sombra).
- (5) Los límites superiores del factor de forma Φ se indican en la tabla G.1.

Tabla G.1
Límites del factor de forma Φ

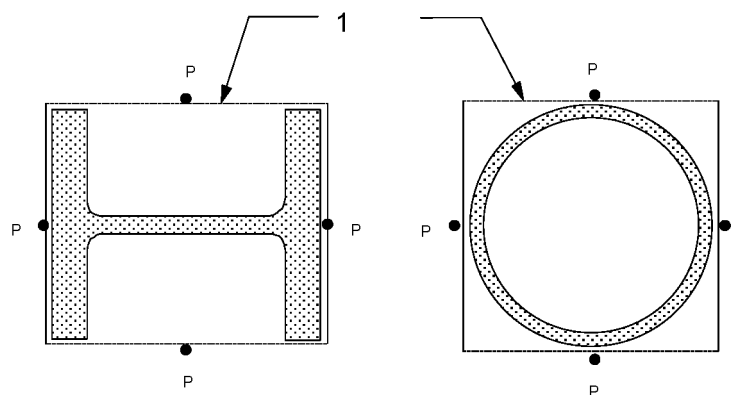
		Localizado	Plenamente desarrollado
efecto posición		$\Phi \leq 1$	$\Phi = 1$
efecto sombra	convexo	$\Phi = 1$	$\Phi = 1$
	cóncavo	$\Phi \leq 1$	$\Phi \leq 1$

G.2 Efectos sombra

- (1) En las partes de los Eurocódigos relativas a los materiales se dan reglas particulares para cuantificar el efecto sombra.

G.3 Elementos exteriores

- (1) Para calcular la temperatura en los elementos exteriores puede suponerse forma rectangular para todas las superficies radiantes. Esto incluye a las ventanas y aberturas de las paredes del sector de incendio y a la superficie rectangular equivalente de las llamas (véase el anexo B).
- (2) Para calcular el factor de forma para una situación dada, primeramente debería trazarse un rectángulo envolvente de la sección transversal del elemento que recibe la transferencia de calor por radiación, según se indica en la figura G.2. (Este método tiene en cuenta el efecto sombra de forma aproximada). El valor de Φ debería determinarse para el punto medio P de cada cara del rectángulo.
- (3) El factor de forma de cada superficie receptora debería determinarse sumando las contribuciones de cada una de las zonas de la superficie radiante (normalmente cuatro) que son visibles desde el punto P de la superficie receptora, según se indica en las figuras G.3 y G.4. Estas zonas deberían definirse respecto del punto X en el cual una línea horizontal perpendicular a la superficie receptora encuentra al plano que contiene a la superficie radiante. No debería considerarse la contribución de las zonas que no son visibles desde el punto P, tales como las zonas sombreadas de la figura G.4.
- (4) Si el punto X queda fuera de la superficie radiante, el factor de forma efectivo debería determinarse añadiendo las contribuciones de los dos rectángulos prolongados desde X hasta el lado más distante de la superficie radiante y restando después las contribuciones de los dos rectángulos prolongados desde X hasta el lado más cercano de la superficie radiante.
- (5) La contribución de cada zona debería determinarse del siguiente modo:



Leyenda
1 Envoltente

Fig. G.2 – Envoltente de las superficies receptoras

a) si la superficie receptora es paralela a la superficie radiante:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{(1+a^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{(1+a^2)^{0,5}} \right) + \frac{b}{(1+b^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2)^{0,5}} \right) \right] \quad (G.2)$$

donde

$a = h / s$

$b = w / s$

s es la distancia entre P y X;

h es la altura de la zona de la superficie radiante;

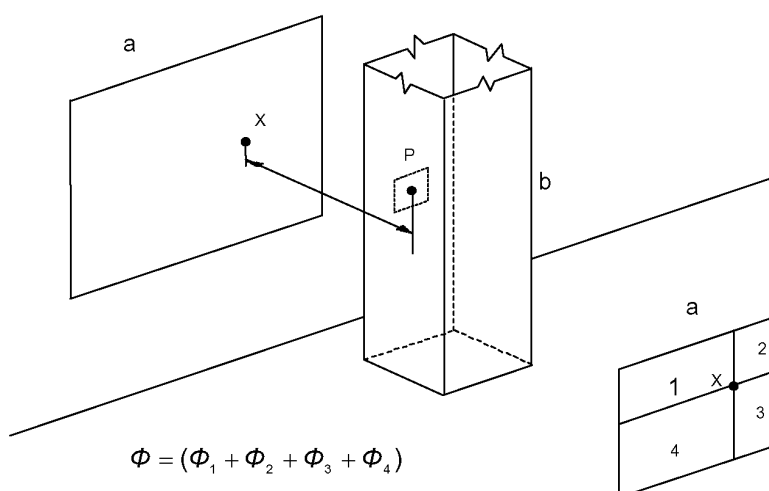
w es la anchura de dicha zona.

b) si la superficie receptora es perpendicular a la superficie radiante:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1}(a) - \frac{1}{(1+b^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2)^{0,5}} \right) \right] \quad (G.3)$$

c) si la superficie receptora está en un plano que forma un ángulo θ con la superficie radiante:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1}(a) - \frac{(1-b\cos\theta)}{(1+b^2-2b\cos\theta)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2-2b\cos\theta)^{0,5}} \right) + \frac{a\cos\theta}{(a^2+\sin^2\theta)^{0,5}} \left[\tan^{-1} \left(\frac{(b-\cos\theta)}{(a^2+\sin^2\theta)^{0,5}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\cos\theta}{(a^2+\sin^2\theta)^{0,5}} \right) \right] \right] \quad (G.4)$$

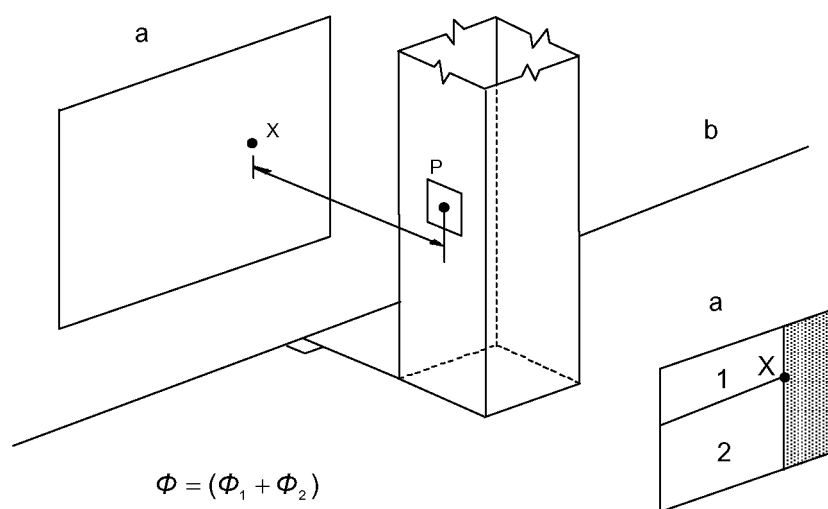


Leyenda

a Superficie radiante

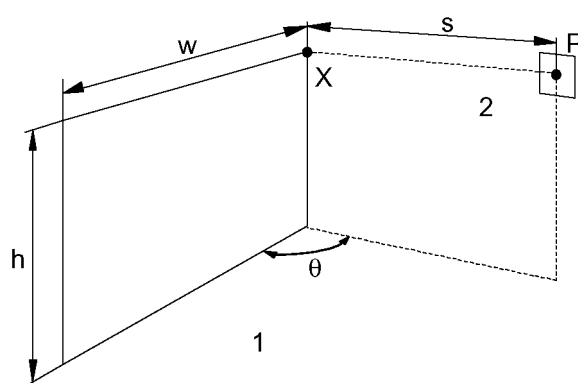
b Superficie receptora

Fig. G.3 – Superficie receptora en un plano paralelo al de la superficie radiante

**Leyenda**

- a Superficie radiante
b Superficie receptora

Fig. G.4 – Superficie receptora perpendicular al plano de la superficie radiante

**Leyenda**

- a Superficie radiante
b Superficie receptora

Fig. G.5 – Superficie receptora en un plano que forma un ángulo θ con la superficie radiante

BIBLIOGRAFÍA

EN ISO 1716:2002 – *Ensayos de reacción al fuego de los productos de construcción. Determinación del calor de combustión (ISO 1716:2002).*

EN 1363-2 – *Ensayos de resistencia al fuego. Parte 2: Procedimientos alternativos y adicionales.*

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD POLITECNICA MADRID