

EUROCÓDIGOS

NORMA EUROPEA
EXPERIMENTAL

UNE-ENV 1991-2-2
Mayo 1998



EUROCÓDIGO 1

BASES DE PROYECTO Y ACCIONES EN ESTRUCTURAS

**PARTE 2-2: ACCIONES EN
ESTRUCTURAS. ACCIONES EN
ESTRUCTURAS EXPUESTAS AL FUEGO**

PREÁMBULO

La presente publicación de la Norma UNE-ENV 1991-2-2:1998 es la versión española de la norma europea experimental de iguales siglas. Lleva por título: Eurocódigo 1: "Bases de proyecto y acciones en las estructuras. Parte 2-2: Acciones en estructuras. Acciones en estructuras expuestas al fuego".

Los Eurocódigos estructurales constituyen un conjunto de normas técnicas europeas de aplicación voluntaria en las estructuras de edificación y de ingeniería civil. Son fruto del esfuerzo conjunto para la convergencia en materia normativa que favorezca el libre intercambio de productos y servicios entre los países de la CE. Inicialmente se aprueban con carácter experimental.

En España la regulación técnica en materia de edificación se desarrolla a través de las Normas Básicas de la Edificación, NBE, que pretenden garantizar la necesaria fiabilidad de las estructuras, atendiendo al mismo tiempo a criterios de economía, y son de obligado cumplimiento.

La Norma Básica NBE-CPI/96 "Condiciones de protección contra incendios en los edificios" establece las prescripciones que deben aplicarse a los proyectos y obras de nueva construcción o de reforma de edificios para su protección frente a los riesgos originados por un incendio y, entre ellos los derivados de la acción térmica del incendio sobre las estructuras portantes.

La NBE-CPI/96 admite dos opciones para determinar la estabilidad al fuego de la estructura portante de un edificio: considerar una acción térmica convencional definida por una relación tiempo/temperatura normalizada, o bien considerar la acción térmica previsible en función de las características particulares del edificio en cuestión. El presente documento considera ambas opciones y facilita el desarrollo de ambas.

En todo caso, la presente publicación servirá para familiarizar a los técnicos españoles con los nuevos criterios consensuados de cálculo de estructuras. La fase experimental de esta norma constituye una invitación a los técnicos usuarios de sus especificaciones para analizar su contenido y valorar la facilidad de aplicación del documento. Los comentarios y observaciones al respecto pueden remitirse a AENOR.

La traducción de esta norma ha sido realizada en el Laboratorio de Estructuras de la ETSICCP de Madrid, bajo la supervisión del Subcomité I del Comité Técnico de Normalización 140 de AENOR "Eurocódigos Estructurales".

Gerardo Mingo Pinacho

Subdirector General de Arquitectura

*Dirección General de la Vivienda,
la Arquitectura y el Urbanismo*

MINISTERIO DE FOMENTO

norma española experimental

UNE-ENV 1991-2-2

Mayo 1998

TÍTULO

EUROCÓDIGO 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras

Parte 2-2: Acciones en estructuras

Acciones en estructuras expuestas al fuego

Eurocode 1: Basis of design and actions on structures. Part 2-2: Actions on structures. Actions on structures exposed to fire.

Eurocode 1: Bases du calcul et actions sur les structures. Partie 2-2: Actions sur les structures. Actions sur les structures exposées au feu.

CORRESPONDENCIA

Esta norma experimental es la versión oficial, en español, de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2 de febrero 1995.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

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

ICS 91.040.00

Descriptor: Edificaciones, estructuras, proyecto, computación, resistencia al fuego.

Versión en español

EUROCÓDIGO 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras
Parte 2-2: Acciones en estructuras
Acciones en estructuras expuestas al fuego

Eurocode 1: Basis of design and actions on structures. Part 2-2: Actions on structures. Actions on structures exposed to fire.

Eurocode 1: Bases du calcul et actions sur les structures. Partie 2-2: Actions sur les structures. Actions sur les structures exposées au feu.

Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 2-2: Einwirkungen auf Tragwerk. Einwirkungen im Brandfall.

Esta Norma Europea Experimental (ENV) ha sido aprobada por CEN el 1993-06-30 como una norma experimental para su aplicación provisional. El período de validez de esta Norma ENV está limitado inicialmente a tres años. Pasados dos años, los miembros de CEN enviarán sus comentarios, en particular sobre la posible conversión de la Norma ENV en Norma Europea (EN).

Los miembros de CEN deberán anunciar la existencia de esta Norma ENV utilizando el mismo procedimiento que para una Norma EN y hacer que esta Norma ENV esté disponible rápidamente y en la forma apropiada a nivel nacional. Se permite mantener (en paralelo con la Norma ENV) las normas nacionales que estén en contradicción con la Norma ENV hasta que se adopte la decisión final sobre la posible conversión de la Norma ENV en Norma EN.

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, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, 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
PREÁMBULO	10
Objetivos de los Eurocódigos	10
Antecedentes del programa de Eurocódigos	10
Programa de Eurocódigos	10
Documentos Nacionales de Aplicación (DNA)	11
Materias específicas de esta Norma Experimental	11
1 GENERALIDADES	13
1.1 Objeto	13
1.1.1 Objeto y campo de aplicación de ENV 1991, Eurocódigo 1	13
1.1.2 Objeto y campo de aplicación de ENV 1991-2-2: Acciones en estructuras expuestas al fuego	13
1.1.3 Otras Partes de ENV 1991	13
1.2 Normativas de referencia	14
1.3 Distinción entre Principios y Reglas de aplicación	14
1.4 Definiciones	15
1.5 Notación	17
2 PROCEDIMIENTOS DE PROYECTO Y CLASIFICACIÓN DE LAS ACCIONES	19
3 SITUACIONES DE PROYECTO FRENTE AL FUEGO	19
3.1 Situaciones accidentales	19
3.2 Fuego de proyecto	20
3.3 Exposición al fuego	20
3.4 Situaciones posteriores al fuego	20
4 ACCIONES PARA EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA (ACCIONES TÉRMICAS)	20
4.1 Reglas generales	20
4.2 Curvas nominales temperatura-tiempo	21
4.2.1 Generalidades	21
4.2.2 Curva normalizada temperatura-tiempo	22
4.2.3 Curva de fuego externo	22
4.2.4 Curva de hidrocarburos	23
4.3 Exposición paramétrica al fuego	23
5 ACCIONES PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL (ACCIONES MECÁNICAS)	23
ANEXOS	
A (Informativo) EXPOSICIÓN PARAMÉTRICA AL FUEGO	24
B (Informativo) CURVAS PARAMÉTRICAS DE TEMPERATURA-TIEMPO ...	25
C (Informativo) ACCIONES TÉRMICAS PARA ELEMENTOS EXTERNOS MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO	27
D (Informativo) DENSIDAD DE LA CARGA DE FUEGO	37
E (Informativo) TIEMPO EQUIVALENTE DE EXPOSICIÓN AL FUEGO	41
F (Normativo) BASES DE PROYECTO. CLÁUSULAS SUPLEMENTARIAS DE ENV 1991-1 PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN SITUACIONES DE PROYECTO FRENTE A FUEGO	43

PREÁMBULO

Objetivos de los Eurocódigos

- (1) Los Eurocódigos Estructurales comprenden un grupo de normas para el proyecto de edificaciones y obras de ingeniería civil desde los puntos de vista estructural y geotécnico.
- (2) Abarcan la ejecución y el control, sólo hasta el punto que es necesario para indicar la calidad de los productos de construcción y el nivel de ejecución necesarios para cumplir con las prescripciones de las reglas de proyecto.
- (3) Hasta que el conjunto necesario de especificaciones técnicas armonizadas para los productos y los métodos de ensayo de los mismos esté disponible, algunos de los Eurocódigos Estructurales cubren estos aspectos en anexos informativos.

Antecedentes del programa de Eurocódigos

- (4) La Comisión de las Comunidades Europeas (CCE) inició el trabajo de establecer un conjunto de normas técnicas armonizadas para el proyecto de edificaciones y obras de ingeniería civil, que sirviese, inicialmente, como una alternativa a las diferentes normas vigentes en los distintos Estados Miembros y que, finalmente, las sustituyese. Estas reglas técnicas son las denominadas "Eurocódigos Estructurales".
- (5) En el año 1990, después de consultar a sus respectivos Estados Miembros, la CCE transfirió el trabajo del futuro desarrollo de los Eurocódigos al CEN al mismo tiempo que la secretaría de la EFTA estuvo de acuerdo en apoyar el trabajo del CEN.
- (6) El Comité Técnico del CEN, CEN/TC 250, es el responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

Programa de Eurocódigos

- (7) El trabajo se está desarrollando en los siguientes Eurocódigos Estructurales, los cuales se subdividen en Partes:

EN 1991	Eurocódigo 1	Bases de proyecto y acciones en estructuras.
EN 1992	Eurocódigo 2	Proyecto de estructuras de hormigón.
EN 1993	Eurocódigo 3	Proyecto de estructuras de acero.
EN 1994	Eurocódigo 4	Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero.
EN 1995	Eurocódigo 5	Proyecto de estructuras de madera.
EN 1996	Eurocódigo 6	Proyecto de estructuras de fábrica de ladrillo.
EN 1997	Eurocódigo 7	Proyecto geotécnico.
EN 1998	Eurocódigo 8	Proyecto de estructuras resistentes al sismo.
EN 1999	Eurocódigo 9	Proyecto de estructuras de aluminio.
- (8) CEN/TC250 ha formado subcomités independientes para cada uno de los Eurocódigos mencionados.
- (9) Esta parte del Eurocódigo 1 está siendo publicada como norma experimental europea ENV 1991-1 con una vida inicial de tres años.
- (10) Esta prenorma está pensada para su aplicación experimental y para el envío de comentarios.
- (11) Después de aproximadamente dos años, los miembros de CEN serán invitados a enviar comentarios formales que serán tenidos en cuenta en los trabajos futuros.

- (12) Mientras tanto, las observaciones y los comentarios a esta Norma Experimental deben enviarse a la secretaria de CEN/TC250/SC1, a la siguiente dirección:

SIS/BST
Box 5630
S- 114 86 Stockholm
SWEDEN

o al Organismo Nacional de Normalización correspondiente.

NOTA NACIONAL – El Organismo Nacional de Normalización en España:

AENOR
Génova, 6
28004 MADRID
Teléfono: 91-4326000
Fax: 91-3104976

Documentos Nacionales de Aplicación (DNA)

- (13) A la vista de las responsabilidades de los estados miembros, en asuntos relacionados con la seguridad, la salud y otras materias cubiertas por los requisitos esenciales de la Directiva Europea de Productos de Construcción (DPC), a algunos elementos que afectan a la seguridad, en esta Norma Experimental, se les han asignado valores indicativos que están identificados por "valores en recuadro" o por |__|. Las autoridades de cada Estado Miembro examinarán los "valores en recuadro" y podrán sustituirlos por valores aplicables a nivel nacional.
- (14) Algunas de las normas de apoyo europeas o normas internacionales no van a estar disponibles en el momento de publicación de esta Norma Experimental. Por lo tanto, se considera prematura la publicación, por parte de cada Estado Miembro o por parte de sus organizaciones normativas nacionales, de un Documento Nacional de Aplicación (DNA) que proponga valores definitivos de los elementos que afectan a la seguridad, que haga referencia a normas de apoyo compatibles o que dé una guía nacional para la aplicación de esta Norma Experimental.
- (15) Se pretende que esta Norma Experimental sea usada conjuntamente con el DNA vigente en el país donde se realice la edificación o el trabajo de ingeniería civil.

Materias específicas de esta Norma Experimental

- (16) El propósito del Eurocódigo 1 está definido en el apartado 1.1.1 y el propósito de esta Parte del Eurocódigo 1 se define en el apartado 1.1.2. Las partes adicionales del Eurocódigo 1 que están previstas se indican en el apartado 1.1.3.
- (17) Esta Parte se complementa mediante un número de anexos, algunos normativos y otros informativos. Los anexos normativos tienen el mismo rango que los apartados a los que se refieren.
- (18) Los objetivos generales de la protección contra el fuego son limitar los riesgos de los individuos y la sociedad, las propiedades cercanas, y cuando sea necesario, las propiedades expuestas directamente, en caso de fuego.
- (19) La Directiva de Productos de Construcción 89/106/EEC proporciona los requisitos esenciales para la limitación de los riesgos:

"Las estructuras deben ser proyectadas y construidas de tal forma que en caso de incendio

- se mantenga durante un cierto período de tiempo la capacidad portante de la construcción;
- se limite la generación y extensión del fuego a las construcciones próximas;
- los ocupantes puedan abandonar los trabajos o puedan ser rescatados por otros medios;
- se tenga en cuenta la seguridad de los equipos de rescate".

- (20) De acuerdo con el Documento Interpretativo "Seguridad en caso de incendio" el requisito esencial puede ser cumplido mediante la adopción de varias estrategias de seguridad frente al fuego, incluyendo medidas activas y pasivas de protección.
- (21) Los Eurocódigos estructurales tratan aspectos específicos de protección pasiva en términos de proyecto de estructuras y partes encaminadas a conseguir una adecuada capacidad resistente y a limitar la expansión del fuego cuando sea relevante.
- (22) Las funciones requeridas y los niveles de funcionalidad están especificados generalmente por las autoridades nacionales, principalmente en términos de clases de resistencia al fuego. Si se aceptan las medidas ingenieriles activas y pasivas de resistencia al fuego, los requisitos de las autoridades serán menos restrictivos y se podrán permitir estrategias alternativas.
- (23) Se acepta, sin embargo, que la técnica ingenieril de seguridad frente al fuego proponga modelos más generales que los propuestos en este documento. Los modelos de resistencia al fuego se propondrán en futuros suplementos, los cuales se completarán una vez que la investigación prenormativa se complete.
- (24) Por otro lado también se admite que la aceptación de los modelos de resistencia al fuego por parte de las autoridades nacionales en Europa difiere notablemente y que las actuales regulaciones nacionales sólo permiten proyectos que cumplan los requisitos normativos de resistencia al fuego.
- (25) Por lo tanto, este documento cubre principalmente las acciones producidas por las curvas normalizadas temperatura-tiempo y otras curvas nominales temperatura-tiempo. Las acciones térmicas fundamentadas físicamente (paramétricas) sólo son tratadas cuando están disponibles los modelos analíticos simplificados o los datos de proyecto directos. Estos vienen definidos en los anexos informativos. El campo de aplicación de las diversas acciones térmicas y procedimientos de proyecto, incluyendo suplementos nacionales, será especificado por las autoridades nacionales.
- (26) La aplicación de las acciones térmicas de acuerdo con esta parte del Eurocódigo y el proyecto de estructuras de acuerdo con el proyecto frente a fuego de las partes de los Eurocódigos 1992 a 1996 y 1999 se ilustra en la tabla 1.

Tabla 1
Procedimientos de proyecto

Acciones térmicas dadas en el Eurocódigo 1991 Parte 2-2	De acuerdo con las especificaciones nacionales: para comprobación	Proyecto mediante reglas y datos tabulados definidos en los Eurocódigos 1992 a 1996 y 1999	proyecto mediante modelos de cálculo definidos en los Eurocódigos 1992 a 1996 y 1999
curva normalizada temperatura-tiempo	requisitos normativos de resistencia al fuego	si es relevante ¹⁾ o para ensayos de resistencia al fuego	si es relevante ¹⁾
otras curvas nominales temperatura-tiempo	otros requisitos de resistencia nominal al fuego	principalmente para ensayos de resistencia al fuego	si es relevante ¹⁾
curva normalizada temperatura-tiempo	resistencia al fuego para un tiempo equivalente de exposición al fuego	si es relevante ¹⁾	si es relevante ¹⁾
exposición paramétrica al fuego	resistencia al fuego – para un determinado período de tiempo o – para la duración completa del fuego	no es aplicable	si es relevante ¹⁾

1) Depende de la extensión para la cual están definidas las reglas y los modelos de cálculo de las correspondientes Partes referentes a fuego y del propósito de su aplicación

1 GENERALIDADES

1.1 Objeto

1.1.1 Objeto y campo de aplicación de ENV 1991, Eurocódigo 1

- (1)P ENV 1991 describe los principios generales y las acciones para el proyecto de estructuras de edificación e ingeniería civil incluyendo algunos aspectos geotécnicos. Se utilizará conjuntamente con las ENV 1992 a 1999.
- (2) Se utiliza como base para el proyecto de estructuras no recogidas en las ENV 1992 a 1999, y cuando se utilicen otros materiales u otras acciones para el proyecto estructural.
- (3) ENV 1991 también comprende el diseño de estructuras durante su ejecución, así como el proyecto de estructuras temporales. ENV 1991 se refiere a todas las circunstancias bajo las cuales una estructura debe tener una adecuada funcionalidad.
- (4) ENV 1991 no está expresamente pensada para la valoración del estado estructural de construcciones existentes ni para el desarrollo de proyectos de reparación por daños o cambios de uso.
- (5) ENV 1991 no cubre totalmente todas las situaciones especiales de proyecto que requieran una fiabilidad excepcional, tales como estructuras nucleares, para las cuales se deberán utilizar procedimientos específicos de proyecto.

1.1.2 Objeto y campo de aplicación de ENV 1991-2-2: Acciones en estructuras expuestas al fuego

- (1)P Esta Parte se refiere a las acciones en estructuras expuestas al fuego. Su utilización irá unida a las partes de proyecto de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999 los cuales proporcionan reglas para el proyecto de estructuras resistentes al fuego.
- (2) Las acciones térmicas expuestas en el texto principal de este documento se refieren a las acciones térmicas nominales. En los anexos informativos se detallan algunos datos y modelos para las acciones térmicas fundamentadas físicamente.
- (3)P Esta Parte proporciona principios generales y acciones para el proyecto estructural de edificios y obras civiles y debe ser utilizada junto a ENV 1991-1 "Bases de proyecto" y otras partes de ENV 1991 y ENV 1992 a 1996 y ENV 1999.
- (4)P La aplicación de esta Parte y de las Partes de proyecto frente a fuego de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999 son válidas sólo si la temperatura normal de proyecto de las estructuras es la misma que la propuesta en los Eurocódigos Estructurales pertinentes.
- (5) Esta Parte también cubre el proyecto estructural de estructuras provisionales respecto a los aspectos mencionados en 1.1.2(1)P. Esta Parte se refiere a todas las circunstancias bajo las cuales una estructura debe prestar una adecuada funcionalidad en la exposición al fuego.

1.1.3 Otras Partes de ENV 1991

- (1) Otras Partes de ENV 1991, que en la actualidad están siendo preparadas o planificadas, están definidas en el apartado 1.2.

1.2 Normativas de referencia

Esta Norma Experimental europea incorpora, con referencias fechadas o no, referencias de otras normas. Estas normativas de referencia se citan a lo largo del texto y en las publicaciones enumeradas a continuación.

ISO 3898:1987 – *Bases de proyecto de estructuras. Notación. Símbolos generales.*

NOTA – Las siguientes normas europeas, que están publicadas o en preparación, son citadas en el lugar apropiado en el texto y en las publicaciones siguientes:

ENV 1991-1 – *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 1: Bases de proyecto.*

ENV 1991-2-1 – *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-1: Densidades, pesos propios y cargas exteriores.*

ENV 1991-2-3 – *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-3: Cargas de nieve.*

ENV 1991-2-4 – *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-4: Cargas de viento.*

ENV 1991-2-5 – *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-5: Acciones térmicas.*

ENV 1991-2-6 – *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-6: Cargas y deformaciones impuestas durante la ejecución.*

ENV 1991-2-7 – *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-7: Acciones accidentales.*

ENV 1991-3 – *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 3: Cargas de tráfico en puentes.*

ENV 1991-4 – *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 4: Acciones en silos y tanques.*

ENV 1991-5 – *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 5: Acciones inducidas por grúas y maquinaria.*

ENV 1992 – *Proyecto de estructuras de hormigón.*

ENV 1993 – *Proyecto de estructuras de acero.*

ENV 1994 – *Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero.*

ENV 1995 – *Proyecto de estructuras de madera.*

ENV 1996 – *Proyecto de estructuras de fábrica de ladrillo.*

ENV 1997 – *Proyecto geotécnico.*

ENV 1998 – *Proyecto de estructuras resistentes al sismo.*

ENV 1999 – *Proyecto de estructuras de aluminio.*

1.3 Distinción entre Principios y Reglas de aplicación

- (1) Este Eurocódigo distingue entre Principios y Reglas de aplicación, dependiendo del carácter de las cláusulas individuales.
- (2) Los Principios comprenden:
 - Aspectos generales y definiciones para las que no hay alternativas.
 - Requisitos y modelos analíticos para los que no se permiten alternativas salvo que esté específicamente indicado.
- (3) Los Principios se identifican mediante la letra P precedida del número del párrafo.
- (4) Las Reglas de Aplicación son reglas reconocidas que se adecuan a los Principios y satisfacen sus requisitos.
- (5) Está permitido el uso de reglas alternativas a las reglas de aplicación propuestas en este Eurocódigo cuando esté demostrado que dichas reglas alternativas son acordes con los Principios y tienen, al menos, la misma fiabilidad.
- (6) Las Reglas de Aplicación, en esta Parte, se identifican por un número entre paréntesis, por ejemplo, esta cláusula.

1.4 Definiciones

En esta Norma Experimental se utilizan las definiciones expresadas en ENV 1991-1, "Bases de Proyecto" y unas definiciones adicionales específicas de esta Parte, que se muestran a continuación.

1.4.1 Factor de configuración Φ [-]

La relación entre el ángulo sólido desde el cual, en un cierto punto de la superficie del elemento, puede observarse el entorno irradiado, y 2π .

1.4.2 Coeficiente de transferencia de calor por convección α_c [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$]

El flujo de calor por convección del elemento relaciona la diferencia entre el pico de temperatura del gas que rodea la superficie del elemento con la temperatura de la superficie del propio elemento.

1.4.3 Fuego de proyecto

Es el desarrollo específico del fuego considerado en el proyecto.

1.4.4 Densidad de carga de fuego de proyecto q_d [MJ/m^2]

Es la densidad de carga de fuego considerada para la determinación de las acciones térmicas en el proyecto frente al fuego; el valor de q_d considera las incertidumbres y los requisitos de seguridad.

1.4.5 Efectos de las acciones E

Los momentos, fuerzas, tensiones y deformaciones (a diferencia de los efectos de las acciones S que se refieren únicamente a fuerzas y momentos).

1.4.6 Curva de fuego externo

La curva nominal temperatura-tiempo que se propone para el exterior de los muros de separación, los cuales pueden estar expuestos al fuego desde diferentes partes de la fachada, es decir, directamente desde el interior de los respectivos compartimentos o desde un compartimento inferior o adyacente al respectivo muro de cerramiento.

1.4.7 Elemento externo

Los elementos estructurales exteriores al edificio, los cuales pueden estar expuestos al fuego a través de los huecos del edificio.

1.4.8 Compartimento de fuego

Un espacio dentro del edificio, que se extiende por una o más plantas y que está rodeado de elementos de separación, en el cual la extensión de un fuego adyacente está impedido durante la exposición relevante al fuego.

1.4.9 Carga de fuego Q [MJ]

La suma de la energía calorífica que se desprende en la combustión de todos los materiales combustibles en un espacio (contenidos del edificio y elementos constructivos).

1.4.10 Densidad de la carga de fuego q [MJ/m^2]

Es la carga de fuego por unidad de área,

referida a la superficie en planta: q_f ó

referida a la superficie del recinto total, incluyendo huecos: q_t .

1.4.11 Resistencia al fuego

La capacidad de una estructura, o de una parte o un elemento de ella, para cumplir las funciones requeridas (capacidad resistente, o función de separación), para una exposición al fuego específica y para un determinado período de tiempo.

1.4.12 Muro frente a fuego

Un muro que separa dos espacios (generalmente dos edificios) el cual es proyectado para resistir al fuego y proveer de estabilidad, incluyendo la resistencia a las cargas horizontales de tal forma que, en caso de fuego y fallo de la estructura de un lado del muro, no se produzca la extensión del fuego al otro lado.

1.4.13 Fuego totalmente desarrollado

El estado de desarrollo total del fuego en todas las superficies combustibles dentro de un espacio determinado.

1.4.14 Curva de fuego de hidrocarburos

La curva nominal temperatura-tiempo que representa las cargas de fuego debidas a hidrocarburos.

1.4.15 Acciones indirectas de fuego

Las expansiones, deformaciones y gradientes térmicos que provocan fuerzas y momentos.

1.4.16 Función resistente

La capacidad de una estructura o de un elemento para resistir las acciones especificadas durante el fuego correspondiente, de acuerdo con unos criterios definidos.

1.4.17 Flujo neto de calor \dot{h}_{net} [W/m²]

La energía por unidad de superficie absorbida por los elementos.

1.4.18 Temperatura normal de proyecto

El Estado Límite Último de proyecto para temperatura ambiente de acuerdo con las Partes 1.1 de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999 para la combinación fundamental (véase ENV 1991 Parte 1 "Bases de proyecto").

1.4.19 Emisividad resultante ϵ [-]

La relación entre el flujo actual de calor radiante del elemento y el flujo neto de calor que puede ocurrir en el elemento si este y su entorno radiante se consideran como cuerpos negros.

1.4.20 Función de separación

La capacidad de un elemento de separación para prevenir la extensión del fuego mediante el paso de llamas o gases calientes (integridad) o ignición bien de la superficie expuesta (aislamiento térmico) o bien durante la exposición al fuego.

1.4.21 Elementos de separación

Elementos estructurales y no estructurales (muros y suelos) que forman un recinto estanco al fuego.

1.4.22 Resistencia normalizada al fuego

La capacidad de una estructura o de una parte de ella (habitualmente sólo elementos) para cumplir las funciones requeridas (capacidad resistente, o función de separación), para la exposición normalizada al fuego y para un período de tiempo determinado. Habitualmente, los requisitos de resistencia normalizada al fuego se expresan en términos de períodos de tiempo, tales como 30, 60 o más minutos.

1.4.23 Curva normalizada temperatura-tiempo

La curva nominal que representa, principalmente, las cargas de fuego debidas a celulosa.

1.4.24 Elementos estructurales

Los elementos resistentes de una estructura, incluyendo las uniones.

1.4.25 Análisis de temperatura

El procedimiento para la determinación del desarrollo de la temperatura en elementos, mediante las bases de las acciones térmicas (flujo neto de calor), las propiedades térmicas de los materiales y las superficies de protección, cuando proceda.

1.4.26 Curvas temperatura-tiempo

Las temperaturas de los gases en el entorno de la superficie del elemento en función del tiempo. Estas curvas pueden ser:

- nominales, en términos de curvas convencionales, adoptadas para la clasificación y comprobación de la resistencia al fuego, por ejemplo, curvas normalizadas temperatura-tiempo;
- paramétricas, determinadas mediante las bases de los modelos de fuego y los parámetros físicos específicos que definen las condiciones de los compartimentos de fuego.

1.4.27 Acciones térmicas

Las acciones en la estructura definidas por el flujo neto de calor de los elementos.

1.5 Notación

- (1) En esta Norma experimental se seguirá la siguiente notación.

NOTA – La notación utilizada se basa en ISO 3898:1987.

- (2) ENV 1991-1 "Bases de proyecto" ofrece una lista básica de términos y las notaciones adicionales se especifican en esta Parte.

Mayúsculas latinas

<i>A</i>	acción de la exposición al fuego
<i>A_{ind}</i>	acción indirecta del fuego
<i>E</i>	efecto de las acciones
<i>G</i>	acción permanente
<i>Q</i>	acción variable
<i>R_f</i>	resistencia a las acciones de fuego

Minúsculas latinas

- \dot{h} flujo de calor por unidad de superficie [W/m^2]
 t_{fi} resistencia normalizada al fuego (propiedad del elemento o de la estructura) [min.]
 $t_{fi,requ}$ tiempo requerido de resistencia normalizada al fuego (valor nominal) [min.]

Mayúsculas griegas

- Φ factor de configuración [-]
 θ temperatura [$^{\circ}\text{C}$]; θ [$^{\circ}\text{C}$] = T [K] - 273
 θ_{cr} temperatura crítica [$^{\circ}\text{C}$], importante para el acero
 θ_r temperatura de radiación del ambiente del elemento [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_g temperatura del gas en la exposición al fuego [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_m temperatura de la superficie del elemento [$^{\circ}\text{C}$]
 θ_o temperatura inicial del gas [$^{\circ}\text{C}$]

Minúsculas griegas

- α coeficiente de transferencia de calor [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$]
 ϵ_{res} emisividad resultante [-]
 ψ coeficientes de combinación de cargas [-]
 γ coeficiente parcial de seguridad [-]

Subíndices

- c componente convectiva de la transferencia de calor
cr valor crítico
fi identifica los valores relevantes de proyecto frente a fuego
d valor de proyecto
k valor característico
r componente de radiación de la transferencia de calor
t duración de la exposición al fuego

2 PROCEDIMIENTOS DE PROYECTO Y CLASIFICACIÓN DE LAS ACCIONES

- (1)P El proyecto estructural frente al fuego concierne a las acciones aplicadas para el análisis de temperaturas y a las acciones para el análisis estructural, de acuerdo con esta Parte y otras Partes de ENV 1991, para estructuras que están proyectadas utilizando las reglas definidas en las Partes de resistencia al fuego de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999.
- (2) Dependiendo de la representación de las acciones térmicas, se pueden distinguir los siguientes procedimientos:
- curvas normalizadas temperatura-tiempo, las cuales se aplican a un período de tiempo específico, y para las que las estructuras son proyectadas teniendo en cuenta las reglas prescritas, incluyendo los datos tabulados, o usando modelos de cálculo;
 - curvas paramétricas temperatura-tiempo, que se calculan siguiendo las bases de los parámetros físicos y para las cuales las estructuras son proyectadas usando modelos de cálculo.
- (3) La comprobación puede hacerse en el dominio del tiempo:

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

o en el dominio de la resistencia:

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

o en el dominio de la temperatura:

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

donde

$t_{fi,d}$ valor de proyecto del tiempo requerido de resistencia normalizada al fuego;

$t_{fi,requ}$ tiempo requerido de resistencia normalizada al fuego;

$R_{fi,d,t}$ valor de proyecto de la resistencia para la situación de fuego;

$E_{fi,d,t}$ valor de proyecto de los efectos relevantes de las acciones para la situación de fuego;

θ_d valor de proyecto de la temperatura del material;

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

- (4)P Las acciones en las estructuras debidas a la acción del fuego se clasifican como acciones accidentales, véase ENV 1991-1.

3 SITUACIONES DE PROYECTO FRENTE AL FUEGO

NOTA – Cuando las autoridades nacionales especifican de forma comprensible los requisitos necesarios para la seguridad frente al fuego, se debe suponer, en el proyecto de estructuras, que las situaciones relevantes de proyecto frente al fuego están tenidas en cuenta por los citados requisitos.

3.1 Situaciones accidentales

- (1)P El fuego, si es suficientemente importante como para causar daños, debe ser considerado como una situación accidental.
- (2) Las situaciones relevantes de proyecto y las acciones accidentales asociadas al fuego se deben determinar mediante las bases de la determinación del riesgo del fuego.

- (3) La existencia simultánea de otras acciones accidentales independientes pueden no ser consideradas.
- (4) Para estructuras en las que los riesgos del fuego den lugar a otras acciones accidentales, se considerará el riesgo de fuego para determinar la seguridad total de la estructura.
- (5) El comportamiento estructural dependiente del tiempo y de la carga, previo a la situación accidental, puede no ser considerado, salvo que se aplique (4).

3.2 Fuego de proyecto

- (1)P Los compartimentos frente de fuego deben ser proyectados para prevenir la extensión del fuego a otros compartimentos durante la exposición relevante al fuego.
- (2)P El fuego de proyecto debe ser aplicado exclusivamente a un compartimento de fuego del edificio en un momento dado.
- (3) El fuego de proyecto debe representar un desarrollo total del fuego dentro del espacio especificado.

3.3 Exposición al fuego

- (1)P Cuando se determina la exposición al fuego de un elemento, se debe tener en cuenta la posición del fuego de proyecto en relación con el elemento.
- (2) Para comprobar la función de separación, se aplicará la exposición al fuego por una sola cara, durante el tiempo correspondiente.
- (3) Para elementos exteriores, se debe considerar la exposición al fuego a través de fachadas o cubiertas.
- (4) Para muros externos de separación, se debe considerar la exposición al fuego desde el interior (desde los respectivos compartimentos de fuego) y alternativamente desde el exterior (desde otros compartimentos).

3.4 Situaciones posteriores al fuego

- (1) En el proyecto deben considerarse las situaciones posteriores al fuego, una vez enfriada la estructura.
- (2) Cuando se proyecta una estructura para un período específico de tiempo, la funcionalidad de la estructura, después de dicho período, puede no ser considerada.

4 ACCIONES PARA EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA (ACCIONES TÉRMICAS)

4.1 Reglas generales

- (1)P Las acciones térmicas se definen mediante el flujo neto de calor \dot{h}_{net} [W/m²] en la superficie del elemento.
- (2)P El flujo neto de calor \dot{h}_{net} se debe determinar considerando la radiación térmica y la convección desde y hacia el entorno del incendio.
- (3) La componente de radiación del flujo de calor por unidad de superficie se determina mediante la siguiente expresión:

$$\dot{h}_{\text{net},r} = \Phi \cdot \epsilon_{\text{res}} \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.1)$$

donde

Φ factor de configuración [-];

ϵ_{res} emisividad resultante [-];

θ_r temperatura de radiación del ambiente del elemento [$^{\circ}\text{C}$];

θ_m temperatura de la superficie del elemento [$^{\circ}\text{C}$];

$5,67 \cdot 10^{-8}$ constante de Stephan Boltzman [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}^4$].

- (4) Cuando las Partes de proyecto frente al fuego de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999 no proporcionen datos específicos, el factor de configuración (Φ) se tomará igual a | 1,0 |.
- (5) Para la emisividad resultante (ϵ_{res}), necesaria para las curvas nominales temperatura-tiempo, véase apartado 4.2.
- (6) La temperatura de radiación (θ_r) puede ser representada por la temperatura del gas θ_g , véase 4.1(11).
- (7) La temperatura de la superficie (θ_m) se obtiene a partir del análisis de temperatura del elemento, de acuerdo con las Partes referentes al proyecto frente al fuego de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999, cuando sea relevante.
- (8) La componente de convección del flujo de calor por unidad de superficie debe determinarse mediante:

$$\dot{h}_{\text{net,c}} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_m) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (4.2)$$

donde

α_c es el coeficiente de transferencia de calor por convección [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$];

θ_g es la temperatura del gas en el entorno del elemento en la exposición al fuego [$^{\circ}\text{C}$];

θ_m es la temperatura de la superficie del elemento [$^{\circ}\text{C}$].

- (9) Para el coeficiente de transferencia de calor por convección α_c necesario para las curvas nominales temperatura-tiempo, véase 4.2.
- (10) En la cara no expuesta de un elemento de separación, el flujo de calor debido a la radiación puede ser omitido, y para la convección se debe adoptar $\alpha_c = [9]$ [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$].
- (11) La temperatura del gas (θ_g) puede ser:
 - adoptada como la de las curvas nominales temperatura-tiempo, véase 4.2;
 - especificada en función de parámetros físicos, véase 4.3.

4.2 Curvas nominales temperatura-tiempo

4.2.1 Generalidades

- (1) Las curvas nominales temperatura-tiempo definidas en los apartados 4.2.2 a 4.2.4 se deben utilizar de acuerdo con los correspondientes campos de aplicación nacionales.

- (2) Para el proyecto de acuerdo con curvas nominales temperatura-tiempo el flujo neto de calor por convección es:

$$\dot{h}_{\text{net,d}} = \gamma_{\text{n,c}} \cdot \dot{h}_{\text{net,c}} + \gamma_{\text{n,r}} \cdot \dot{h}_{\text{net,r}} \quad (4.3)$$

donde

$\dot{h}_{\text{net,c}}$ viene definido por la ecuación (4.2);

$\dot{h}_{\text{net,r}}$ viene definido por la ecuación (4.1);

$\gamma_{\text{n,c}}$ es el factor que tiene en cuenta los diferentes tipos de ensayos nacionales, igual a | 1,0 | ;

$\gamma_{\text{n,r}}$ es igual a | 1,0 | , como $\gamma_{\text{n,c}}$.

- (3) La emisividad resultante puede ser introducida como:

$$\epsilon_{\text{res}} = \epsilon_{\text{f}} \cdot \epsilon_{\text{m}} \quad [-] \quad (4.4)$$

donde

ϵ_{f} es la emisividad relacionada con el compartimento de fuego, habitualmente se utiliza un valor de | 0,8 | ;

ϵ_{m} es la emisividad relacionada con la superficie del material. Cuando las Partes relativas a proyecto frente a fuego de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999 no ofrezcan datos específicos, se puede utilizar un valor de | 0,7 | .

4.2.2 Curva normalizada temperatura-tiempo

- (1) La curva normalizada temperatura-tiempo se puede tomar como:

$$\theta_{\text{g}} = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.5)$$

donde

θ_{g} es la temperatura del gas en el compartimento de fuego $[^{\circ}\text{C}]$

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

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

$$\alpha_{\text{c}} = [25] \text{ W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{K}$$

4.2.3 Curva de fuego externo

- (1) La curva de fuego externo viene definida por:

$$\theta_{\text{g}} = 660 (1 - 0,687 e^{-0,32t} - 0,313 e^{-3,8t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.6)$$

donde

θ_{g} es la temperatura del gas en el entorno del elemento $[^{\circ}\text{C}]$

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

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

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

4.2.4 Curva de hidrocarburos

- (1) La curva temperatura-tiempo para hidrocarburos viene definida por:

$$\theta_g = 1080 (1 - 0,325 e^{-0,167t} - 0,675 e^{-2,5t}) + 20 \quad [^\circ\text{C}] \quad (4.7)$$

donde

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

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

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

$$\alpha_c = [50] \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K} \quad (4.8)$$

4.3 Exposición paramétrica al fuego

- (1) Las exposiciones paramétricas al fuego y los datos relacionados vienen definidos en los anexos a este documento, para su uso de acuerdo con los campos nacionales de aplicación.

5 ACCIONES PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL (ACCIONES MECÁNICAS)

- (1) Para acciones directas, la simultaneidad de las acciones y las reglas de combinación se especifican en el anexo F.
- (2)P Las expansiones impuestas y coartadas y las deformaciones causadas por los cambios de temperatura debidas a la exposición al fuego provocan fuerzas y momentos, los cuales se tendrán en cuenta salvo que:
- puedan ser considerados *a priori* bien favorables o bien despreciables;
 - estén cubiertas por medio de condiciones conservadoras de apoyo y de contorno o por requisitos de seguridad a fuego especificados de forma conservadora.
- (3) Para una valoración de las acciones indirectas se deben considerar:
- las expansiones térmicas de los elementos por sí mismos, por ejemplo, pilares de edificios con muros rígidos;
 - las distintas expansiones térmicas dentro de los elementos hiperestáticos, por ejemplo, losas continuas;
 - los gradientes térmicos en la sección transversal, producidos por las tensiones internas;
 - las expansiones térmicas de los elementos adyacentes, por ejemplo, desplazamientos de la cabeza del pilar debido a expansiones del forjado, o expansión de los cables de suspensión;
 - las expansiones térmicas de elementos afectados fuera del compartimento de fuego.
- (4) Los valores de proyecto para acciones indirectas $A_{d,ind}$ deben determinarse a partir de los valores de proyecto de las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales, definidas en las Partes de proyecto frente a fuego de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999 y la exposición relevante al fuego.
- (5) Las acciones indirectas de los elementos adyacentes deben ser consideradas cuando los requisitos de seguridad al fuego les afecten.

ANEXO A (Informativo)**EXPOSICIÓN PARAMÉTRICA AL FUEGO****A.1 Generalidades**

- (1) Las temperaturas del gas utilizadas para calcular el flujo neto de calor deben determinarse a partir de los parámetros físicos considerando al menos:
 - la densidad de la carga de fuego;
 - las condiciones de ventilación.

A.2 Modelos de fuego

- (1) Los cálculos deben estar basados en la suposición de que la carga de fuego relevante está extinguida, salvo que las especificaciones nacionales permitan períodos de tiempo de resistencia al fuego en exposición paramétrica.
- (2) Para compartimentos de fuego con sistemas de extinción aprobados –para los cuales, no obstante, no se requiere proyecto estructural frente a fuego– la densidad de carga de fuego puede ser adoptada de acuerdo con el anexo D, D.1.
- (3) En referencia al apartado 4.1 del texto principal se puede aplicar lo siguiente:
 - Para elementos externos, la componente de radiación del flujo de calor debe calcularse como la suma de contribuciones de los compartimentos de fuego y de las llamas emergentes de los huecos.
 - Para elementos internos, sólo se considera la contribución del compartimento de fuego a la componente radiante del flujo de calor.
- (4) Para elementos internos de los compartimentos de fuego, las temperaturas del gas se calculan de acuerdo con el anexo B.
- (5) Para elementos externos expuestos al fuego por la existencia de huecos en la fachada, puede utilizarse el anexo C.
- (6) Cuando los elementos internos sean proyectados de acuerdo con las reglas prescritas y los datos tabulados de las curvas normalizadas temperatura-tiempo, se puede utilizar un tiempo equivalente de exposición al fuego, véase anexo E.

ANEXO B (Informativo)

CURVAS PARAMÉTRICAS DE TEMPERATURA-TIEMPO

- (1) Las siguientes curvas de temperatura-tiempo pueden ser usadas de acuerdo con los campos nacionales de aplicación. Estas son válidas para compartimentos de fuego mayores de 100 m² de superficie, sin huecos en el techo y con una altura máxima de 4 m.
- (2) Si las densidades de carga de fuego se determinan sin consideraciones específicas respecto a la combustión (véase anexo D), entonces esta aproximación debe limitarse a compartimentos de fuego con cargas de fuego principalmente de celulosa.
- (3) Las curvas temperatura-tiempo en la fase de calentamiento están definidas por:

$$\theta_g = 1325 \left(1 - 0,324 e^{-0,2t^*} - 0,204 e^{-1,7t^*} - 0,472 e^{-19t^*} \right) \quad (B.1)$$

donde

θ_g es la temperatura en el compartimento de fuego [°C]

$t^* = t \cdot \Gamma$ [h]

donde

t es el tiempo [h]

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

donde $b = (\rho c \lambda)^{1/2}$ debe respetar los límites:

$1\ 000 \leq b \leq 2\ 000$ [J/m²s^{1/2}K]

O factor de abertura: $A_v \sqrt{h} / A_t$ [m^{1/2}]

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

A_v es el área de los huecos verticales [m²]

h es la altura de los huecos verticales [m]

A_t es el área total del recinto (muros, techo y suelo, incluyendo huecos) [m²]

ρ es la densidad del contorno del recinto [kg/m³]

c es el calor específico del contorno del recinto [J/kg K]

λ es la conductividad térmica del contorno del recinto [W/m K]

- (4) Para tener en cuenta los recintos con diferentes capas de material, $b = (\rho c \lambda)^{1/2}$, debe calcularse mediante la expresión:

$$b = \frac{\sqrt{\sum s_i c_i \lambda_i}}{\sqrt{\sum \left(\frac{s_i c_i \lambda_i}{b_i^2} \right)}} \quad (\text{B.2})$$

donde:

s_i es el espesor de la capa i ;

c_i es el calor específico de la capa i ;

λ_i conductividad térmica de la capa i

$$b_i = \sqrt{(\rho_i c_i \lambda_i)}$$

- (5) Para tener en cuenta los diferentes materiales de los muros, techos y suelos, $b = (\rho c \lambda)^{1/2}$, debe calcularse mediante la expresión:

$$b = \frac{\sum b_j A_{tj}}{\sum A_{tj}} \quad (\text{B.3})$$

donde

A_{tj} es el área del recinto, incluyendo huecos, con la misma propiedad térmica b_j

- (6) Las curvas temperatura-tiempo en la fase de enfriamiento están definidas por:

$$\theta_g = \theta_{\text{máx}} - 625 (t^* - t_d^*) \quad \text{para} \quad t_d^* \leq 0,5 \quad (\text{B.4})$$

$$\theta_g = \theta_{\text{máx}} - 250 (3 - t_d^*) (t^* - t_d^*) \quad \text{para} \quad 0,5 < t_d^* < 2 \quad (\text{B.5})$$

$$\theta_g = \theta_{\text{máx}} - 250 (t^* - t_d^*) \quad \text{para} \quad t_d^* \geq 2 \quad (\text{B.6})$$

donde

$\theta_{\text{máx}}$ es la temperatura máxima de la fase de calentamiento [°C] para $t^* - t_d^*$

$$t_d^* = (0,13 \cdot 10^{-3} q_{t,d} \cdot \Gamma) / O \quad [\text{h}]$$

$q_{t,d}$ es el valor de proyecto de la densidad de carga de fuego relacionada con la superficie A_t del recinto por lo que $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$ [MJ/m²]

Se deben respetar los límites: $50 \leq q_{t,d} \leq 1\,000$ [MJ/m²]

$q_{f,d}$ es el valor de proyecto de la densidad de carga de fuego relacionada con la superficie A_f del suelo [MJ/m²]

- (7) La emisividad resultante ϵ_{res} y el coeficiente de transferencia de calor por convección α_c deben respetar los apartados 4.2.1 y 4.2.2 del texto principal.

ANEXO C (Informativo)

ACCIONES TÉRMICAS PARA ELEMENTOS EXTERNOS
MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO

C.1 Objetivo

- (1) Este método permite la determinación de:
- las temperaturas máximas del compartimento de fuego;
 - el tamaño y la temperatura de las llamas de los huecos;
 - los parámetros de radiación y convección.
- (2) Este método considera unas condiciones estables del resto de los parámetros.

C.2 Símbolos y unidades

A_F	área de suelo del compartimento de fuego	[m ²]
A_T	área total de suelo, techo y muros, menos el área total de las ventanas	[m ²]
A_w	suma de las áreas de las ventanas de los muros ($A_w = \sum_i A_{wi}$)	[m ²]
A_{wi}	área de la ventana i	[m ²]
d	característica geométrica de un elemento estructural externo (diámetro o lado)	[m]
D	profundidad del compartimento de fuego	[m]
g	aceleración de la gravedad	[m/s ²]
h	media ponderada de las alturas de las ventanas de todos los muros $\left(h = \frac{\sum_i A_{wi} h_i}{A_w} \right)$	[m]
h_a	proyección horizontal de una marquesina	[m]
h_i	altura de la ventana i	[m]
l	longitud del eje que va desde la ventana al punto de fuego donde se realiza el cálculo	[m]
L	carga de fuego (= $A_F \cdot Q$)	[kg de madera]
Q	densidad de carga de fuego por unidad de superficie de suelo	[kg de madera/m ²]
R	relación de quemado	[kg de madera/s]

T_a	temperatura inicial (= 293)	[K]
T_f	temperatura del fuego	[K]
T_o	temperatura de la llama en la ventana	[K]
T_z	temperatura de la llama a lo largo del eje	[K]
u	velocidad del viento	[m/s]
w	suma de los anchos de las ventanas de todos los muros ($w = \sum w_i$)	[m]
w_i	ancho de la ventana i	[m]
w_z	ancho de la llama	[m]
W	ancho del muro que contiene la ventana o ventanas	[m]
x	proyección horizontal de la llama (desde la fachada)	[m]
X	longitud de la llama según el eje	[m]
z	altura de la llama (desde la parte superior de la ventana)	[m]
$A_w h^{1/2}/A_T$	factor de abertura del compartimento de fuego	[m ^{1/2}]
α	coeficiente de transferencia de calor por convección	[kW/m ² K]
ϵ	emisividad de la llama	
ρ	densidad del gas (se supone igual a 0,45)	[kg/m ³]
λ	espesor de la llama	[m]
η	$A_T / A_w h^{1/2}$	[m ^{-1/2}]
ψ	$L/(A_w \cdot A_T)^{1/2}$	[kg/m ²]
τ_F	duración del fuego libre (se supone igual a 1 200)	[s]

C.3 Condiciones de utilización

- (1) Cuando hay más de una ventana, la altura media, la superficie de la ventana, y el ancho se definen en el compartimento correspondiente de fuego, como sigue:

– La media ponderada de las alturas de las ventanas en todos los muros:

$$h = \frac{\sum_i A_i h_i}{A_w} \quad (\text{C.1})$$

– La suma de las áreas de las ventanas de todos los muros:

$$A_w = \sum_i A_{wi} \quad (C.2)$$

– La suma de los anchos de las ventanas de todos los muros:

$$w = \sum_i w_i \quad (C.3)$$

(2) Cuando hay ventanas en más de un muro, la relación D/W se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\frac{D}{W} = \frac{W_2}{W_1} \frac{A_{w1}}{A_w} \quad (C.4)$$

donde

W_1 ancho del muro 1, que contiene la mayor superficie de ventanas;

A_{w1} suma de las áreas de las ventanas del muro 1;

W_2 ancho del muro del compartimento de fuego, perpendicular al muro 1.

(3) Cuando hay un foco en el compartimento de fuego, la relación D/W se obtendrá como sigue:

– Se aplicará la definición dada en C.3 (6);

– C_1 y C_2 son la longitud y el ancho del foco;

– W_1 y W_2 son la longitud y el ancho de los compartimentos de fuego:

$$\frac{D}{W} = \frac{(W_2 - C_2) A_{w1}}{(W_1 - C_1) A_w} \quad (C.5)$$

(4) En un muro externo, la ventana es cualquier parte del muro que no tiene la resistencia al fuego (REI) requerida para la estabilidad del edificio.

(5) El área total de la ventana de un muro externo es:

– el área total, de acuerdo con (4), si es menor del 50% del área del muro externo relevante del compartimento;

– primeramente el área total y en segundo lugar el 50% del área del muro externo relevante del compartimento si, de acuerdo con (4), el área es mayor del 50%. Estas dos situaciones deben ser consideradas en el cálculo. Cuando se utilice el 50% del área del muro externo la situación y el área de las superficies abiertas deben ser escogidas de tal forma que representen el caso más desfavorable.

(6) Las dimensiones del compartimento de fuego no deben ser superiores a 70 m de longitud, 18 m de ancho y 5 m de altura.

(7) La temperatura de la llama debe considerarse uniforme a lo largo de su ancho y su espesor.

C.4 Efectos del viento

C.4.1 Modos de ventilación

- (1) Si existen ventanas en caras opuestas del compartimento de fuego o se introduce aire adicional desde otra fuente (distinta a las ventanas), el cálculo se debe realizar en condiciones de ventilación forzada. En otro caso, el cálculo debe realizarse en condiciones de ventilación natural.

C.4.2 Desvío de la llama por el viento

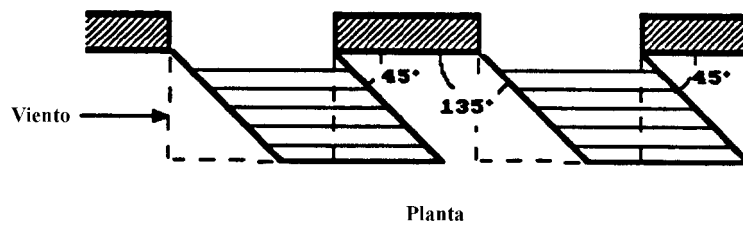


Fig. C.1 – Desvío de la llama por el viento

- (1) La llama de una ventana debe suponerse emergiendo hacia el exterior del compartimento (figura C.1):
 - perpendicular a la fachada;
 - con un desvío, debido al efecto del viento, de $+45^\circ$ y -45° con la fachada.

C.5 Características del fuego y de la llama

C.5.1 Ventilación natural

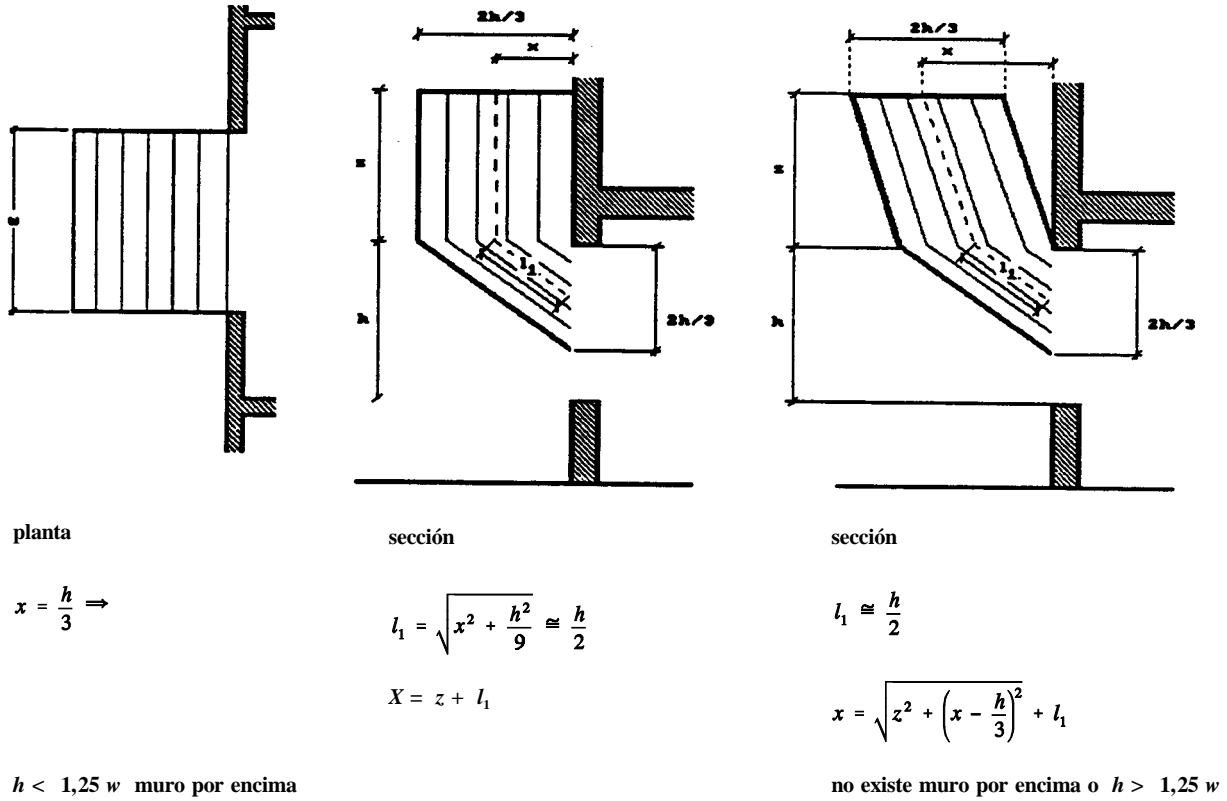


Fig. C.2 – Dimensiones de la llama, con ventilación no forzada

(1) Relación de quemado:

$$R = \min \left[\frac{L}{\tau_F}; 0,18 (1 - e^{-0,036 \eta}) A_w \left(h \frac{W}{D} \right)^{1/2} \right] \quad (C.6)$$

(2) Temperatura del compartimento de fuego:

$$T_f = 6000 \frac{(1 - e^{-0,1 \eta})}{\eta^{1/2}} (1 - e^{-0,05 \psi}) + T_a \quad (C.7)$$

(3) Altura de la llama (figura C.2):

$$z = h \left[16 \left(\frac{R}{A_w \rho (hg)^{1/2}} \right)^{2/3} - 1 \right] \quad (C.8)$$

Comentario:

Con $\rho = 0,45 \text{ kg/m}^3$ y $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, esta ecuación se puede simplificar como sigue:

$$z = 12,8 \left(\frac{R}{w} \right)^{2/3} - h \quad (C.9)$$

- (4) El ancho de la llama es igual al ancho de la ventana (figura C.2).
 (5) La altura de la llama es 2/3 de la altura de la ventana: $2/3 h$ (figura C.2).
 (6) La proyección horizontal de la llama:

– Si existe muro por encima de la ventana

• para $h \leq 1,25 w$: $x = h/3$ (C.10)

• para $h > 1,25 w$ y la distancia a cualquier otra ventana $> 4 w$:

$$x = 0,3 h (h/w)^{0,54} \quad (C.11)$$

• otros casos: $x = 0,454 h (h/2w)^{0,54}$ (C.12)

– Si no existe muro por encima de la ventana:

$$x = 0,6 h (z/h)^{1/3} \quad (C.13)$$

- (7) Longitud de la llama alrededor del eje:

– Si existe muro por encima de la ventana $h \leq 1,25 w$:

$$X = z + h/2 \quad (C.14)$$

– Si no existe muro por encima de la ventana $h > 1,25 w$:

$$X = \left[z^2 + \left(x - \frac{h}{3} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{h}{2} \quad (C.15)$$

- (8) Temperatura de la llama en la ventana:

$$T_o = \frac{520}{1 - 0,027 \left(X \cdot \frac{w}{R} \right)} + T_a \quad [K] \quad (C.16)$$

- (9) Emisividad de la ventana: 1,0

- (10) Temperatura de la llama a lo largo del eje:

$$T_z = (T_o - T_a) \frac{1}{1 - 0,027 \left(l \cdot \frac{w}{R} \right)} + T_a \quad [K] \quad (C.17)$$

donde

l es la longitud del eje desde la ventana hasta el punto donde se efectúa el cálculo.

- (11) Emisividad de la llama:

$$\varepsilon = 1 - e^{-0,3\lambda} \quad (C.18)$$

(12) Coeficiente de transferencia de calor por convección:

$$\alpha = 0,026 \left(\frac{1}{d}\right)^{0,4} \left(\frac{R}{A_w}\right)^{0,6} \quad (C.19)$$

(13) Si una marquesina o balcón (de proyección horizontal h_a) está situada en la parte superior de la ventana, la altura y la proyección horizontal de la llama pueden modificarse como sigue, para el caso de muro encima de ventana y $h \leq 1,25 w$:

- la altura de la llama z , calculada en (3), se disminuye en $h_a (2)^{0,5}$;
- la proyección horizontal de la llama x definida en (6), se aumenta en h_a .

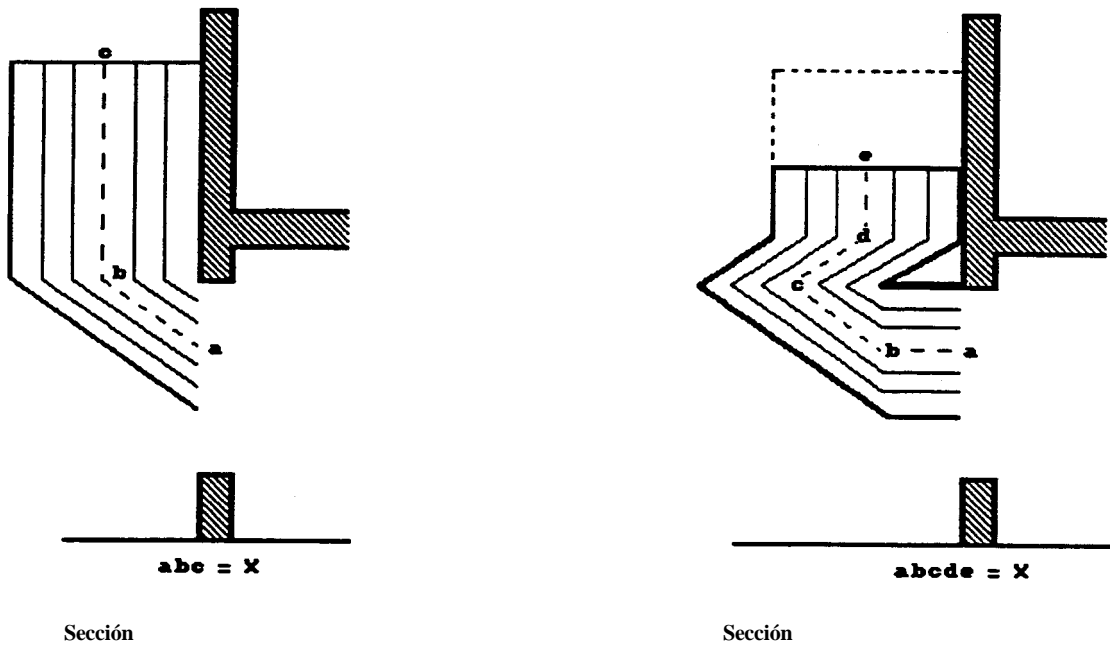


Fig. C.3 – Desviación de la llama por un balcón

(14) Con las mismas condiciones para balcones y marquesinas mencionadas en (13), en el caso de no existir muro encima de la ventana o $h > 1,25 w$, la altura y la proyección horizontal de la llama puede modificarse como sigue:

- la altura de la llama z , calculada en (3), se disminuye en h_a ;
- la proyección horizontal de la llama x obtenida en (6) con el mencionado valor de z , se aumenta en h_a .

C.5.2 Ventilación forzada

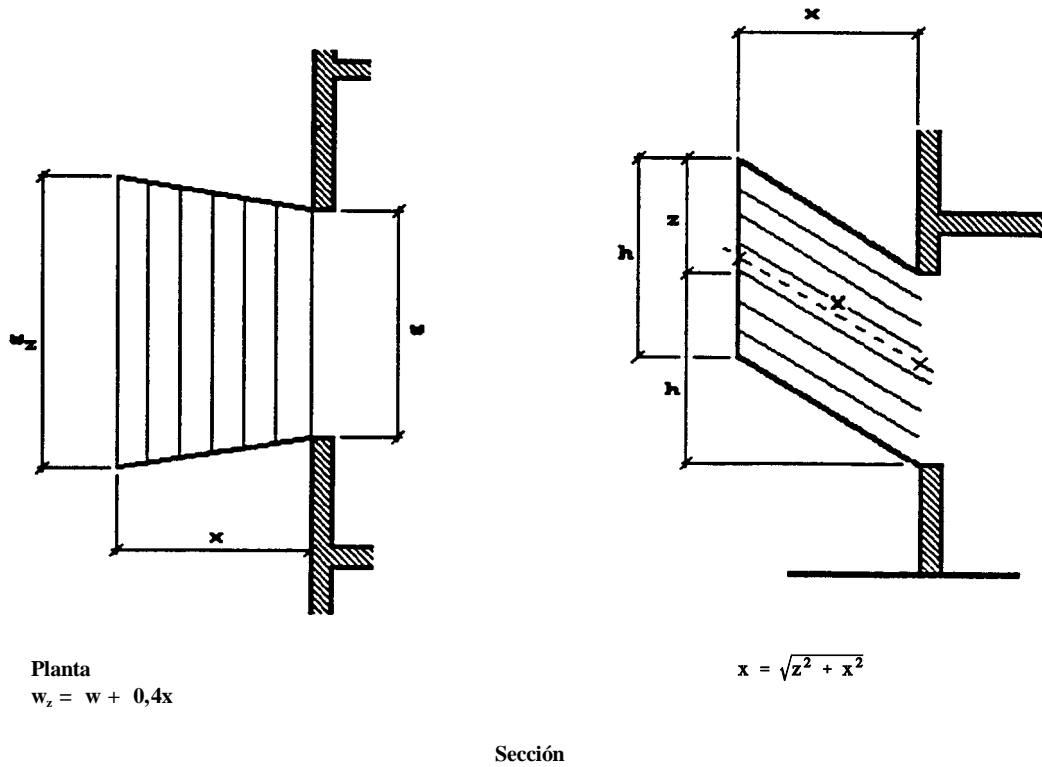


Fig. C.4 – Dimensiones de la llama a través de la ventilación forzada

- (1) Tasa de combustión:

$$R = \frac{L}{\tau_F} \tag{C.20}$$

- (2) Temperatura del compartimento de fuego:

$$T_f = 1200 (L - e^{-0,04\psi}) + T_a \tag{C.21}$$

- (3) Altura de la llama:

$$z = \left[23,9 \left(\frac{1}{u} \right)^{0,43} (1) \frac{R}{A_w^{1/2}} \right] - h \tag{C.22}$$

Comentario:

Con $u = 6 \text{ m/s}$, $z \approx 11 R/A_w^{1/2} - h$

- (4) Proyección horizontal de la llama:

$$x = 0,605 \left(\frac{u^2}{h} \right)^{0,22} (z+h) \quad (C.23)$$

Comentario:

Con $u = 6 \text{ m/s}$,

$$x = \frac{1,33 (z+h)}{h^{0,22}}$$

- (5) Ancho de la llama:

$$w_z = w + 0,4x \quad (C.24)$$

- (6) Longitud de la llama a lo largo del eje:

$$X = \sqrt{z^2 + x^2} \quad (C.25)$$

- (7) Temperatura de la llama en la ventana:

$$T_o = \frac{520}{1 - \frac{0,019 X \sqrt{A_w}}{R}} + T_a \quad [\text{K}] \quad (C.26)$$

- (8) Emisividad en la ventana: 1

- (9) Temperatura de la llama a lo largo del eje:

$$T_z = \left(1 - 0,019 \frac{l (A_w)^{1/2}}{R} \right) (T_o - T_a) + T_a \quad [\text{K}] \quad (C.27)$$

donde

l es la longitud del eje desde la ventana hasta el punto donde se efectúa el cálculo.

- (10) Emisividad de la llama:

$$\varepsilon = 1 - e^{-0,3\lambda} \quad (C.28)$$

- (11) Coeficiente de transferencia de calor por convección:

$$\alpha = 0,0098 \left(\frac{1}{d} \right)^{0,4} \left(\frac{R}{A_w} + \frac{u}{1,6} \right)^{0,6} \quad (C.29)$$

Comentario:

Con $u = 6 \text{ m/s}$,

$$\alpha = 0,0098 \left(\frac{1}{d} \right)^{0,4} \left(\frac{R}{A_w} + 3,75 \right)^{0,6}$$

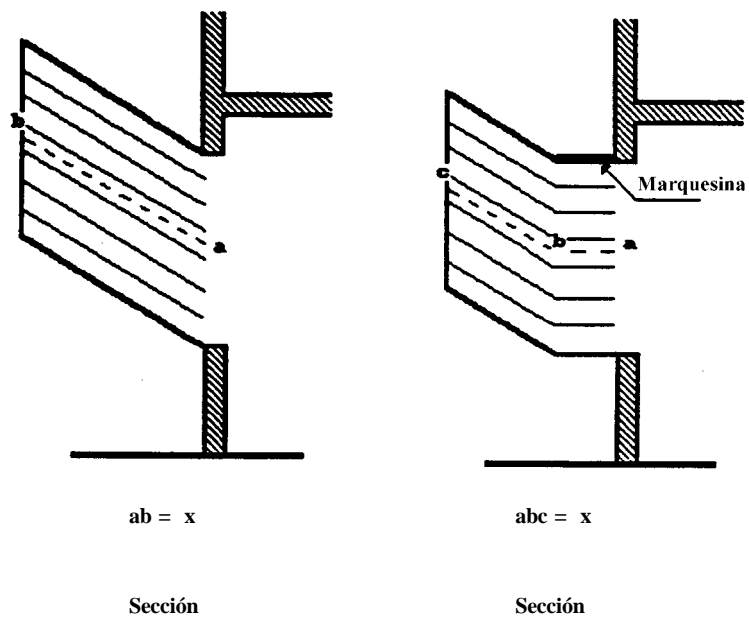


Fig. C.5 – Variación de la llama por una marquesina

- (12) Efecto de la marquesina o del balcón: la trayectoria de la llama es similar a la anterior pero desplazada horizontalmente una longitud igual a la del balcón, con el valor de X sin modificar.

ANEXO D (Informativo)

DENSIDAD DE LAS CARGAS DE FUEGO

D.1 Valores para el cálculo

- (1) La densidad de la carga de fuego utilizada en el cálculo debe ser un valor de proyecto, basado en medidas o, en casos especiales, un valor nominal, basado en los requisitos de resistencia al fuego de los reglamentos.
- (2) El valor de proyecto puede determinarse:
 - a partir de una clasificación nacional de cargas de fuego por tipo de ocupación; o
 - específicamente para un proyecto individual cumpliendo una carga de fuego determinada.
- (3) La densidad de carga de fuego de proyecto se define como:

$$q_d = \gamma_q \cdot \gamma_n \cdot q_k \quad (D.1)$$

donde

q_k es la densidad de la carga de fuego determinada

- a partir de la clasificación de las cargas de fuego por tipo de ocupación; o
- para un proyecto específico.

γ_q es el coeficiente de seguridad que depende de las consecuencias del fallo y la frecuencia con que se produce el fuego, de acuerdo con las especificaciones nacionales;

γ_n es el factor diferenciador que tiene en cuenta las medidas de protección activas (si no se han considerado en el modelo de fuego) de acuerdo con las especificaciones nacionales. Para sistemas de extinción aprobados se utilizará $\gamma_n = |0,6|$.

D.2 Determinación de las densidades de la carga de fuego

D.2.1 Generalidades

- (1) Deben tenerse en cuenta los elementos de construcción y los contenidos combustibles de un edificio, incluyendo los cerramientos y acabados.
- (2) Los siguientes apartados de D.2 se aplican para la determinación de las densidades de la carga de fuego.
 - a partir de una clasificación de cargas de fuego por tipo de ocupación (véase D.3); o
 - específicamente para un proyecto individual (véase D.4).
- (3) Cuando la densidad de la carga de fuego se determina a partir de la clasificación de carga de fuego por tipo de ocupación, las cargas de fuego se dividen en:
 - cargas de fuego según la ocupación, dada por la clasificación;
 - cargas de fuego según el edificio (elementos de construcción, acabados y cerramientos) los cuales no están generalmente incluidos en la clasificación y son, por tanto, determinados de acuerdo con los siguientes apartados.

D.2.2 Definiciones

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

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

donde

$M_{k,i}$ es la cantidad de material combustible en [kg], de acuerdo con (3) y (4);

H_{ui} es el valor calorífico neto [MJ/kg], ver (D.2.4);

$[m_i]$ es el factor opcional que describe el comportamiento de la combustión, véase (D.2.5);

$[\psi_i]$ es el factor opcional para asegurar la protección a las cargas del fuego, véase (D.2.3).

- (2) La densidad característica de la carga de fuego q_k por unidad de área es:

$$q_k = \frac{Q_{fi,k}}{A} \quad \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \right] \quad (\text{D.3})$$

donde

A es el área de suelo (A_f) del compartimento de fuego o espacio de referencia, o área interior (A_i) del compartimento de fuego, de las que se obtienen $q_{f,k}$ ó $q_{t,k}$

- (3) Las cargas de fuego permanentes, las cuales no se espera que varíen durante la vida de servicio de la estructura, pueden introducirse por sus valores esperados, obtenidos de la inspección.
- (4) Las cargas de fuego variables, las cuales pueden variar durante el período de servicio de la estructura, deben ser representadas por valores que no sean excedidos durante el 80% del tiempo.

D.2.3 Cargas de fuego protegidas

- (1) No se consideran las cargas de fuego en compartimentos proyectados para resistir la exposición al fuego.
- (2) Las cargas de fuego en compartimentos no combustibles, sin especificaciones de proyecto de fuego, pero que permanecerán intactos durante la exposición al fuego, deben considerarse de la siguiente forma:

La carga de fuego mayor, pero al menos el 10% de la carga de fuego protegida, está asociada con $\psi_i = 1,0$.

Si esta carga de fuego más las cargas de fuego sin protección no son suficientes para calentar las cargas de fuego protegidas restantes hasta la temperatura de ignición, entonces las cargas de fuego protegidas restantes se asocian a $\psi_i = 0,0$.

En otros casos, los valores de ψ_i se estimarán de forma individual.

D.2.4 Valores del calor neto

- (1) Los valores del calor neto se determinan de acuerdo a ISO 1716.
- (2) La humedad de los materiales puede ser tenida en cuenta de la siguiente forma:

$$H_u = H_{uo} (1 - 0,01 u) - 0,025 u \quad \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right] \quad (\text{D.4})$$

donde

u es el contenido de humedad en tanto por ciento en peso;

H_{uo} es el valor de calor neto de los materiales secos.

- (3) El calor neto de algunos materiales sólidos, líquidos y gaseosos se muestra en la tabla D.1.

Tabla D.1
Calor neto H_u de materiales combustibles

sólidos	[MJ/kg]	líquidos	[MJ/kg]
antracita	34	gasolina	44
asfalto	41	aceite diesel	41
betún	42	aceite de linaza	39
celulosa	17	metanol	20
carbón vegetal	35	aceite de parafina	41
ropas	19	bebidas alcohólicas	29
carbón, coque	31	brea	38
corcho	29	benceno	40
algodón	18	alcohol de bencilo	33
grano	17	alcohol de etilo	27
grasa	41	alcohol de isopropilo	31
residuo biológico	18		
piel	19		
linóleo	20		
papel, cartón	17		
parafinas, ceras	47		
espuma de caucho	37		
caucho de isopreno	45		
caucho de neumático	32		
seda	19		
paja	16		
madera	19		
lana	23		
tablero de partículas	18		
plásticos	[MJ/kg]	gases	[MJ/kg]
ABS	36	acetileno	48
acrílico	28	butano	46
celuloide	19	monóxido de carbono	10
epoxi	34	hidrógeno	120
resina de melamina	18	propano	46
fenolformaldeído	29	metano	50
poliester	31	etanol	27
poliester reforzado con fibras	21		
polietileno	44		
poliestireno	40		
petróleo	41		
espuma de polisocianuro	24		
policarbonato	29		
polipropileno	43		
poliuretano	23		
espuma de poliuretano	26		
cloruro de polivinilo	17		
formaldeido de urea	15		
espuma de formaldeido de urea	14		

D.2.5 Comportamiento en combustión

- (1) El comportamiento en combustión debe ser considerado de acuerdo con los reglamentos nacionales.
- (2) El factor de combustión de los principales materiales de celulosa puede tomarse, de forma conservadora, como $m_i = 1,0$.

D.3 Clasificación de cargas de fuego en función de la ocupación

- (1) Sujeto a aprobación y ampliación por las autoridades nacionales, las cargas de fuego deben ser calculadas según la tabla D.2 dependiendo del tipo de ocupación del compartimento de fuego. Las densidades de la carga de fuego cubren sólo las cargas de fuego en función de la ocupación y están relacionadas con la superficie en planta.
- (2) Las cargas de fuego de un edificio deben determinarse de acuerdo con D.2 para calcular la densidad de carga de fuego total.

Tabla D.2
Clasificación del tipo de ocupación
por la carga de fuego

Clase	$q_{t,k}$ [MJ/m ²]
I	250
II	500
III	1 000
IV	1 500
V	2 000

D.4 Determinación individual de las densidades de la carga de fuego

- (1) En los casos en que no se aplican las clases nacionales de ocupación, las densidades de carga de fuego pueden determinarse específicamente para un proyecto individual realizando una estimación de las cargas de fuego a partir del tipo de ocupación.
- (2) Las cargas de fuego y su disposición local deben ser estimadas conjuntamente con el cliente, considerando el uso, el mobiliario y las instalaciones, las variaciones en el tiempo, las tendencias desfavorables y las posibles modificaciones de la ocupación.
- (3) Cuando esté disponible, debe realizarse una revisión de proyectos existentes, de tal forma que las posibles diferencias entre los proyectos existentes y el proyecto a realizar sean especificadas por el cliente.

ANEXO E (Informativo)

TIEMPO EQUIVALENTE DE EXPOSICIÓN AL FUEGO

- (1) Se puede utilizar la siguiente aproximación de acuerdo con el campo de aplicación nacional. En contraste con el anexo B, esta aproximación se puede utilizar cuando el proyecto de los elementos se realiza mediante reglas simplificadas o datos tabulados, referidos a la exposición normalizada al fuego.
- (2) Si la densidad de la carga de fuego se determina sin ninguna consideración específica del comportamiento frente a la combustión (véase anexo D), esta aproximación se debe limitar a los compartimentos de fuego con cargas de fuego provocadas principalmente por materiales de celulosa.
- (3) El tiempo equivalente de exposición al fuego se define mediante:

$$\begin{aligned}
 t_{e,d} &= q_{f,d} k_b \cdot w_f \\
 &= q_{t,d} k_b \cdot w_t
 \end{aligned}
 \qquad \text{[min]} \qquad \text{(E.1)}$$

donde

q_d es la densidad de la carga de fuego de proyecto de acuerdo con el anexo D;

k_b es el factor de conversión de acuerdo con (4);

w es el factor de ventilación de acuerdo con (5)

$$w_t = w_f \frac{A_t}{A_f}$$

- (4) Cuando los detalles de las propiedades térmicas del recinto no estén fijadas, se puede adoptar:

$$k_b = 0,07 \text{ [min} \cdot \text{m}^2/\text{MJ}] \quad \text{con} \quad q_d \text{ en [MJ/m}^2\text{]} \qquad \text{(E.2)}$$

en otro caso, k_b se debe relacionar con la propiedad térmica $b = (\rho c \lambda)^{1/2}$ del recinto de acuerdo con la tabla E.1. Para la determinación de b en materiales de varias capas o diferentes materiales en muros, suelos y techos, véase el anexo B (4) y (5).

Tabla E.1
Factor de conversión k_b en función de
las propiedades térmicas del recinto

$b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ [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 factor de ventilación w_f puede calcularse mediante:

$$w_f = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \cdot \left[0,62 + \frac{90 (0,4 - \alpha_v)^4}{(1 + b_v \alpha_h)}\right] \geq 0,5 \quad [-] \quad (\text{E.3})$$

donde

$\alpha_v = A_v/A_f$ es el área de los huecos verticales en la fachada A_v , referida al área en planta del compartimento, y que debe cumplir: $0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25$;

$\alpha_h = A_h/A_f$ es el área de los huecos horizontales en la cubierta A_h , referida al área en planta del compartimento

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

H es la altura del compartimento [m]

Para compartimentos de fuego pequeños [$A_f < 100 \text{ m}^2$] sin huecos en el techo, el factor w_f se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$w_f = \frac{1}{\sqrt{O}} \cdot \frac{A_f}{A_t} \quad (\text{E.4})$$

donde

O es el factor de abertura, de acuerdo con el anexo B.

- (6) Se debe comprobar que

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

donde

$t_{fi,d}$ es el valor de proyecto de la resistencia normalizada al fuego de los elementos, fijada de acuerdo a las Partes de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999.

ANEXO F (Normativo)

**BASES DE PROYECTO. CLÁUSULAS SUPLEMENTARIAS
DE ENV 1991-1 PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL
EN SITUACIONES DE PROYECTO FRENTE A FUEGO**

F.1 Generalidades

- (1) En principio, se puede aplicar el formato general para los procedimientos de proyecto definidos en ENV 1991-1.
- (2) Este anejo proporciona una guía suplementaria aplicable a estructuras expuestas al fuego, teniendo en cuenta la simultaneidad de acciones y sus reglas de combinación.

F.2 Simultaneidad de acciones

F.2.1 Acciones para el proyecto con temperaturas normales G , Q

- (1)P Se consideran acciones para el proyecto con temperaturas normales aquellas que tengan probabilidad de actuar en situaciones de fuego.
- (2) Los valores representativos de las acciones variables, teniendo en cuenta las situaciones accidentales de exposición al fuego, se deben introducir de acuerdo con F.3.
- (3) No debe tenerse en cuenta la disminución de las cargas exteriores debida a la combustión.
- (4) Se deben fijar, de forma individual, los casos en que no se consideren cargas de nieve, debido a la fusión de ésta.
- (5) Las cargas procedentes de operaciones industriales generalmente no son tenidas en cuenta, por ejemplo, fuerzas horizontales de la pluma de una grúa.

F.2.2 Acciones adicionales

- (1) Dependiendo de la situación accidental a considerar en el proyecto, de acuerdo con 3.1, las acciones adicionales hay que aplicarlas durante la exposición al fuego, por ejemplo, impacto provocado por el colapso de elementos estructurales o de maquinaria pesada.

NOTA – Los valores de proyecto de A_d son especificados por la autoridad o por el cliente.

- (2) En muros contra el fuego, se debe considerar un impacto horizontal. Estos muros deben soportar un impacto horizontal con una energía de proyecto $A_d = 3\ 000\ \text{Nm}$.

F.3 Reglas para la combinación de acciones

F.3.1 Regla general

- (1)P Para obtener los efectos relevantes de las acciones $E_{fi,d,t}$ durante la exposición al fuego, las acciones mecánicas deben combinarse de acuerdo con ENV 1991-1 "Bases de proyecto", utilizando las siguientes combinaciones accidentales (dadas en forma simbólica):

$$\sum \gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + \sum A_d(t) \quad (F.1)$$

donde

G_k son los valores característicos de las acciones permanentes;

$Q_{k,1}$ es el valor característico de una (la principal) acción variable;

$Q_{k,i}$ es el valor característico del resto de acciones variables;

$A_d(t)$ son los valores de proyecto de las acciones debidas a la exposición al fuego de acuerdo con los capítulos 4 y 5;

$\gamma_{GA} = |1,0|$ coeficiente parcial de seguridad para acciones permanentes en situaciones accidentales;

$\psi_{1,1}, \psi_{2,i}$ son los coeficientes de combinación para edificaciones de acuerdo con ENV 1991-1.

F.3.2 Reglas simplificadas

- (1) Cuando las acciones indirectas del fuego puedan no ser consideradas de forma explícita, los efectos de las acciones pueden determinarse mediante el análisis de la estructura para acciones combinadas de acuerdo con el apartado F.3.1, para $t = 0$ exclusivamente. Estos efectos de las acciones pueden considerarse como constantes durante la exposición al fuego.
- (2) F.3.2(1) se aplica, por ejemplo, a los efectos de las acciones, a las condiciones de contorno y a los soportes, cuando el análisis de las partes de la estructura se realiza de acuerdo con las Partes relativas al proyecto frente al fuego de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999.
- (3) Como simplificación añadida a F.3.2(1), los efectos de las acciones pueden ser deducidos a partir de los determinados en el proyecto con temperaturas normales:

$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi} E_d \quad (F.2)$$

donde

E_d es el valor de proyecto de los efectos relevantes de las acciones a partir de la combinación fundamental de acuerdo con ENV 1991-1 (incluyendo los coeficientes parciales γ_F);

$E_{fi,d,t}$ es el valor de proyecto correspondiente a la situación de fuego;

$\eta_{fi} = (\gamma_{GA} + \psi_{1,1} \xi) / (\gamma_G + \gamma_Q \xi)$ factor de reducción que depende de $\xi = Q_{k,1} / G_k$, el cual es la relación global entre la variable principal y las acciones permanentes aplicadas en la estructura.

- (4) Los valores relevantes de η_{fi} se definen en las Partes de proyecto de fuego de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999.

F.3.3 Nivel de carga

- (1) Cuando los datos tabulados se especifican para un nivel de carga de referencia, dicho nivel corresponde a:

$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi,t} R_d \quad (F.3)$$

donde

R_d es la resistencia del elemento, determinado de acuerdo con las Partes 1.1 de ENV 1992 a 1996 y ENV 1999;

$\eta_{fi,t}$ es el nivel de carga para el proyecto frente a fuego.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32