

EUROCÓDIGOS

NORMA EUROPEA
EXPERIMENTAL

UNE-ENV 1999-1-2
Diciembre 2000



EUROCÓDIGO 9

PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE ALUMINIO

PARTE 1-2: REGLAS GENERALES PROYECTO DE ESTRUCTURAS SOMETIDAS A FUEGO

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

9

Parte 1-2

PREÁMBULO

Esta Norma Experimental, UNE-ENV 1999-1-2 *Eurocódigo 9: Proyecto de estructuras de aluminio. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas a fuego*, es la versión española de la Norma Europea Experimental (ENV) del mismo nombre, y trata del proyecto de estructuras de aleación de aluminio expuestas a la acción accidental del fuego. Esta UNE-ENV sólo se debe aplicar a estructuras o a piezas estructurales que estén dentro del campo de aplicación de la Norma Europea Experimental UNE-ENV 1999-1-1 y debe ser utilizada conjuntamente con ella y con la Norma Europea Experimental UNE-EN 1991-2-2.

Esta versión ha sido traducida del inglés y adaptada a la tecnología usual del sector de la construcción por el Subcomité 9, "Estructuras de aluminio" del Comité Técnico de Normalización AEN/CTN 140 "Eurocódigos Estructurales" de AENOR.

La Norma Básica de la Edificación NBE-CPI/96 es la reglamentación técnica obligatoria que establece la resistencia ante el fuego que deben aportar las estructuras portantes de los edificios, con independencia del material del que estén construidas. Sin embargo, en el ámbito concreto de las estructuras de aluminio no existen en nuestro país especificaciones técnicas que sirvan como instrumentos de ayuda para determinar dicha resistencia al fuego, por lo que esta publicación viene a llenar un vacío en la normativa de la construcción.

En este sentido, puede considerarse incorporada de facto al conjunto de aquellas partes de otros Eurocódigos citados en el Apéndice 1 de la NBE-CPI/96, que estaban disponibles en la fecha de aprobación de dicha norma básica y que se consideran adecuados para determinar la resistencia ante el fuego de los elementos estructurales construidos con otros materiales: hormigón, acero, mixto, madera y fábrica.

Debe tenerse en cuenta que, en virtud de lo establecido en la Disposición final 2ª de la Ley de Ordenación de la Edificación (Ley 38/99, de 5 de noviembre, BOE de 6.11.99), tanto la NBE-CPI/86 como las demás NBE vigentes siguen siendo de aplicación, hasta tanto se apruebe el Código Técnico de la Edificación que la citada Ley establece.

Es preciso señalar que la necesaria progresiva convergencia europea en el campo normativo confiere especial importancia a los Eurocódigos Estructurales, y entre ellos a la Norma UNE-ENV 1999-1-2 que hoy se presenta, toda vez que están llamados a constituir el punto de partida de futuras normas armonizadas que quedarán integradas en su día en las reglamentaciones técnicas españolas sobre cada materia.

Javier Serra María-Tomé

Jefe del Área de Normativa y
Calidad de la Edificación

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

MINISTERIO DE FOMENTO

Diciembre 2000

norma española experimental

UNE-ENV 1999-1-2

Diciembre 2000

TÍTULO

EUROCÓDIGO 9: Proyecto de estructuras de aluminio

Parte 1-2: Reglas generales

Proyecto de estructuras sometidas a fuego

Eurocode 9: Design of aluminium structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design.

Eurocode 9: Conception et dimensionnement des structures en aluminium. Partie 1-2: Règles générales. Calcul du comportement au feu.

CORRESPONDENCIA

Esta norma experimental es la versión oficial, en español, de la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-2 de mayo 1998.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

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

ICS 13.220.50; 91.010.30; 91.080.10

Descriptores: Ingeniería civil, edificios, construcción metálica, aluminio, diseño, normas de construcción, cálculo, resistencia al fuego.

Versión en español

EUROCÓDIGO 9: Proyecto de estructuras de aluminio
Parte 1-2: Reglas generales
Proyecto de estructuras sometidas a fuego

Eurocode 9: Design of aluminium structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design.

Eurocode 9: Conception et dimensionnement des structures en aluminium. Partie 1-2: Règles générales. Calcul du comportement au feu.

Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumbauten. Teil 1-2: Allgemeine Regeln. Tragwerksbemessung für den Brandfall.

Esta norma europea experimental (ENV) ha sido aprobada por CEN el 1997-10-26 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, 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
PREÁMBULO	9
Objetivos de los Eurocódigos	9
Antecedentes del programa de Eurocódigos.....	9
Programa de Eurocódigos	9
Documentos Nacionales de Aplicación	10
Aspectos específicos de esta norma experimental	10
Requisitos de seguridad	11
Procedimientos de cálculo	12
Ayudas al cálculo.....	12
1 GENERALIDADES	13
1.1 Campo de aplicación.....	13
1.2 Distinción entre Principios y Reglas de Aplicación.....	13
1.3 Normas de referencia	14
1.4 Definiciones	14
1.5 Símbolos.....	16
1.6 Unidades	17
2 PRINCIPIOS Y REGLAS BÁSICAS	18
2.1 Requisitos de funcionamiento	18
2.2 Acciones	18
2.3 Valores de cálculo de las propiedades de los materiales.....	18
2.4 Métodos de verificación.....	19
2.4.5 Proyecto asistido mediante ensayos.....	21
3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	22
3.1 Generalidades.....	22
3.2 Propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio	22
3.3 Propiedades térmicas de las aleaciones de aluminio.....	23
3.4 Materiales de protección frente al fuego.....	26
4 CÁLCULO ESTRUCTURAL FRENTE AL FUEGO.....	27
4.1 Generalidades.....	27
4.2 Modelos sencillos de cálculo	27
4.3 Métodos generales de cálculo.....	37

ANEXO A (Informativo)	PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO NO REFLEJADAS EN LA NORMA ENV 1999-1-1	39
ANEXO B (Informativo)	TRANSFERENCIA DE CALOR EN LAS ESTRUCTURAS EXTERNAS DE ALUMINIO	40
B.1	Generalidades.....	41
B.1.4	Factores de configuración globales	43
B.2	Columna no inmersa en la llama	43
B.3	Viga no inmersa en la llama.....	49
B.4	Columna inmersa en la llama	52
B.5	Viga total o parcialmente inmersa en la llama	55
ANEXO C (Informativo)	FACTOR DE CONFIGURACIÓN	60

PREÁMBULO

Objetivos de los Eurocódigos

Los Eurocódigos Estructurales comprenden un grupo de normas para el diseño de edificaciones y obras de ingeniería civil desde el punto de vista estructural y geotécnico.

Se pretende que sirvan como documentos de referencia para los siguientes propósitos:

- a) Como medio de que los trabajos de edificación e ingeniería civil cumplan con los requisitos esenciales de la Directiva de Productos de Construcción (CPD).
- b) Como marco para desarrollar especificaciones técnicas armonizadas para los productos de construcción.

Cubren la ejecución y el control, solamente hasta el punto que es necesario para indicar la calidad de los productos de construcción y el nivel de ejecución necesario para cumplir con las prescripciones de las reglas de proyecto.

Hasta que el conjunto necesario de especificaciones técnicas armonizadas para los productos y para 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

La Comisión de las Comunidades Europeas (CEC) inició el trabajo de establecer un conjunto de reglas técnicas armonizadas para el proyecto de edificaciones y trabajos de ingeniería civil que sirviese, inicialmente, como una alternativa a las diferentes reglas vigentes en los distintos estados miembros y que, finalmente, las sustituyese. Estas reglas técnicas se hicieron conocidas como los "Eurocódigos Estructurales".

En 1990, después de consultar a sus respectivos Estados Miembros, la CEC transfirió el trabajo del futuro desarrollo, puesta al día y distribución de los Eurocódigos al CEN, al mismo tiempo que la Secretaría de la EFTA estuvo de acuerdo en apoyar el trabajo del CEN.

El Comité Técnico CEN/TC 250 de CEN es el responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

Programa de Eurocódigos

El trabajo se está desarrollando en los siguientes Eurocódigos Estructurales, estando formado cada uno por un determinado número de partes:

EN 1991	Eurocódigo 1	Bases de proyecto y acciones sobre las 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 mampostería.
EN 1997	Eurocódigo 7	Proyecto geotécnico.
EN 1998	Eurocódigo 8	Reglas de proyecto para la resistencia al sismo de las estructuras.
EN 1999	Eurocódigo 9	Proyecto de estructuras de aluminio.

Se han formado subcomités independientes por CEN/TC 250 para el trabajo en los distintos Eurocódigos mencionados.

Esta parte de los Eurocódigos Estructurales para el Proyecto de Estructuras de Aluminio es considerada por el CEN como una norma europea experimental (ENV) con una vida inicial de tres años.

Esta norma experimental se pretende que se aplique de manera experimental en el proyecto de edificaciones y trabajos de ingeniería civil incluidos en el campo de aplicación indicado en el apartado 1.1 y que se remitan los oportunos comentarios.

Después de dos años, aproximadamente, los miembros del CEN, serán invitados a remitir comentarios y opiniones más formales a fin de que se tengan en cuenta para determinar acciones futuras.

Mientras tanto, las observaciones y comentarios a esta norma experimental se deben enviar a la Secretaría del Subcomité CEN/TC 250/SC 9 a la siguiente dirección:

Secretariat of CEN/TC 250/SC 9
c/o Norwegian Council for Building Standardization
Postboks 129 Blindern
N – 0314 OSLO

o al Organismo Nacional de Normalización correspondiente.

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

Documentos Nacionales de Aplicación

En vista de las responsabilidades de las autoridades de los Estados Miembros sobre la seguridad, salud y otras materias cubiertas por los requisitos esenciales de la CPD (Directiva Europea de Productos de Construcción), a algunos elementos que afectan a la seguridad en esta norma europea experimental se les ha asignado valores indicativos que están identificados por un recuadro □. Las autoridades de cada estado miembro serán las responsables de asignar los definitivos valores a estos elementos que afectan a la seguridad.

Muchas de las normas de apoyo armonizadas, incluyendo los Eurocódigos que dan los valores de las acciones a tener en cuenta y las medidas requeridas para la protección frente al fuego, no van a estar disponibles en el momento de la publicación de esta norma europea experimental. Está previsto que cada estado miembro o su Organismo de Normalización, publique un Documento Nacional de Aplicación (NAD) que dé valores definitivos para los elementos que afecten a la seguridad y que referencie normas de apoyo compatibles y dé una guía nacional para la aplicación de esta norma europea experimental.

Se pretende que esta norma europea experimental sea usada con el NAD (Documento Nacional de Aplicación) vigente en el país donde las edificaciones o los trabajos de ingeniería civil estén localizados.

Aspectos específicos de esta Norma Experimental

Generalidades

El campo de aplicación del Eurocódigo 9 está definido en la parte 1-1, en el apartado 1.1.1, y el campo de aplicación de esta parte del Eurocódigo 9 está definido en el apartado 1.1.

Cuando se use esta norma europea experimental en la práctica, se debe prestar especial consideración a los supuestos y condiciones indicados en la parte 1-1, apartado 1.4.

Durante el desarrollo de esta norma europea experimental, se han producido documentos de trabajo, que proporcionan comentarios y justificaciones de algunas de las especificaciones de la misma.

Anexos

Esta norma europea experimental está complementada con tres anexos, todos ellos con carácter informativo.

Concepto de Normas de Referencia

Para la utilización de esta norma europea experimental se necesita hacer referencia a varias normas CEN e ISO. Estas se utilizan para definir las características de los productos y procesos que se han supuesto al formular las reglas de cálculo.

Esta norma europea experimental menciona ciertas "Normas de Referencia". Cuando alguna norma de referencia CEN o ISO no está aún disponible, debe consultarse el Documento Nacional de Aplicación para saber que norma debe utilizarse en su sustitución. Se supone que sólo se pueden usar los grados y calidades consignados en el capítulo 3 del proyecto de Norma Europea Experimental prENV 1999-1-1 para edificios u obras de ingeniería civil proyectados con esta norma europea experimental.

Requisitos de seguridad

Los objetivos generales de la protección frente al fuego son limitar los riesgos respectivos de los individuos y la sociedad, las propiedades cercanas y, cuando se requiera, las propiedades directamente expuestas, en caso de incendio.

Los Eurocódigos estructurales tratan aspectos específicos de protección pasiva frente al fuego, en términos de proyecto de estructuras y de partes de ellas, encaminados a conseguir una adecuada capacidad de soportar cargas y a limitar la expansión del fuego cuando sea relevante.

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 seguridad frente al fuego, los requisitos de las autoridades pueden ser menos restrictivos y permitir estrategias alternativas.

Esta parte 1-2, en combinación con la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2, proporciona los suplementos a la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1 que son necesarios para que las estructuras proyectadas de acuerdo a este conjunto de Eurocódigos Estructurales puedan también cumplir con los requisitos estructurales de resistencia al fuego.

Los requisitos complementarios que conciernen a, por ejemplo:

- la posible instalación y mantenimiento de sistemas de rociadores automáticos;
- condiciones y ocupación del edificio o del compartimento de fuego;
- el uso de materiales aprobados para aislamiento y recubrimiento, incluyendo su mantenimiento.

no están dados en este documento, puesto que están sometidos a especificación por las autoridades nacionales.

Normalmente las estructuras de aleación de aluminio con requisitos para resistencia frente al fuego tienen que ser protegidas. Esta parte 1-2 contiene, sin embargo, también reglas de cálculo para estructuras de aleación de aluminio no protegidas que estén expuestas al fuego. Las estructuras de aleación de aluminio no protegidas se pueden usar para:

- estructuras externas (las paredes y techos del edificio protegen la estructura)
- estructuras con requisitos de resistencia al fuego de 10 ó 15 min (requisitos en algunos estados)
- estructuras expuestas a cargas térmicas inferiores a las cargas normalizadas de fuego.

Procedimientos de cálculo

Un procedimiento analítico completo para el cálculo estructural frente al fuego debe de tener en cuenta el comportamiento del sistema estructural a elevadas temperaturas, la potencial exposición al calor y los efectos beneficiosos de los sistemas activos de protección frente al fuego, en combinación con las incertidumbres asociadas con estos tres aspectos y la importancia de la estructura (consecuencias del fallo).

En el momento actual es posible acometer un procedimiento para la determinación adecuada del nivel de funcionamiento que incorpora algunos, si no todos, de estos parámetros y demostrar que la estructura, o sus componentes, proporcionarán un adecuado nivel de funcionamiento en un fuego real en el edificio. Sin embargo, el procedimiento principal corriente en los países europeos está basado en los resultados de ensayos normalizados de resistencia al fuego. El sistema de definición en las regulaciones nacionales exige periodos específicos de resistencia al fuego, habiendo tenido en cuenta (aunque no explícitamente) los aspectos e incertidumbres descritos anteriormente.

Debido a las limitaciones de los métodos de ensayo, se deben usar varios ensayos o análisis. No obstante, los resultados de los ensayos de fuego normalizado conforman la mayor parte de los datos de los métodos de cálculo para el proyecto de estructuras frente al fuego. Esta norma europea experimental, por consiguiente, trata principalmente del proyecto para la resistencia al fuego normalizado.

Ayudas al cálculo

En este documento se dan modelos sencillos de cálculo de estructuras de aleación de aluminio y por consiguiente no se incluyen datos tabulados. Es esperable que tablas y otras ayudas al cálculo basadas en los métodos de cálculo dados en esta norma europea experimental sean preparadas por organizaciones externas interesadas.

1 GENERALIDADES

1.1 Campo de aplicación

- (1)P Esta norma europea experimental trata del proyecto de estructuras de aleación de aluminio expuestas a la situación accidental de fuego y debe ser utilizada conjuntamente con los proyectos de Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1:1997 y ENV 1991-2-2:1995. Esta norma europea experimental sólo identifica las diferencias, o los suplementos, respecto a un proyecto a temperatura normal.
- (2)P Este documento trata únicamente los métodos pasivos de protección frente al fuego. Los métodos activos no están cubiertos.
- (3)P Esta norma europea experimental se aplica a estructuras en las que, por razones de seguridad general frente al fuego, sea preciso evitar el colapso prematuro de la estructura durante la exposición al fuego (función capacidad de soportar carga).
- (4)P Este documento sólo se aplica a estructuras o piezas estructurales que estén dentro del campo de aplicación del proyecto de Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1 y estén acordemente proyectadas.
- (5)P Los métodos dados en este documento son aplicables a cualquiera de las aleaciones de aluminio especificadas en el apartado 3.1 (1).
- (6)P Las propiedades de las aleaciones de aluminio dadas en este documento se aplican a las siguientes aleaciones de aluminio:

EN AW-5052	EN AW-5454	EN AW-6063
EN AW-5083	EN AW-6061	EN AW-6082

1.2 Distinción entre Principios y Reglas de Aplicación

- (1) En este Eurocódigo se distingue entre Principios y Reglas de Aplicación dependiendo del carácter de los diferentes apartados particulares.
- (2) Los Principios comprenden:
 - declaraciones y definiciones generales para las cuales no existe alternativa, así como
 - requisitos y modelos analíticos para los cuales no se permite alternativa, salvo que se establezca específicamente.
- (3) Los Principios se identifican por la letra P a continuación del número de párrafo.
- (4) Las Reglas de Aplicación son reglas generalmente reconocidas que siguen los Principios y que cumplen sus requisitos.
- (5) Se permitirá el uso de reglas de cálculo alternativas, diferentes a las Reglas de Aplicación dadas en el Eurocódigo, siempre que se demuestre que las reglas alternativas están de acuerdo con los Principios correspondientes y que son al menos equivalentes en lo que respecta a resistencia, capacidad de servicio y durabilidad alcanzados por la estructura.
- (6) En este Eurocódigo las Reglas de Aplicación se identifican con un número entre paréntesis, como en este párrafo.

1.3 Normas de referencia

(1)P Esta norma europea experimental 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. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

(2)P Las normas de referencia comprenden las siguientes normas CEN:

prEN 1363 – *Ensayos de resistencia al fuego. Parte 1 Requisitos generales. Parte 2: Procedimientos alternativos y adicionales.*

ENV 1991-1:1994 – *Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 1: Bases de proyecto.*

ENV 1991-2-2:1994 – *Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2.2: Acciones en estructuras expuestas al fuego.*

ENV 1999-1-1:1997 – *Eurocódigo 9: Proyecto de estructuras de aluminio. Parte 1.1: Reglas generales y reglas para edificios.*

ENV 1999-2:1997 – *Eurocódigo 9: Proyecto de estructuras de aluminio. Parte 2: Estructuras sometidas a fatiga.*

NOTA – Está en preparación una norma europea experimental prENV “Ensayo al fuego de elementos para construcción de edificios”. Las siguientes Partes son de importancia para esta norma europea experimental:

Parte 0: “Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de elementos estructurales; requisitos generales de las propiedades de los materiales de protección frente al fuego”.

Parte 1: “Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de elementos estructurales con membranas protectoras”.

(3)P Las normas de referencia comprenden las siguientes normas ISO:

ISO 1000:1981 – *Sistema Internacional de unidades.*

1.4 Definiciones

(1)P Para los fines de esta norma europea experimental se aplican las siguientes definiciones:

factor de configuración: Ángulo sólido dentro del cual el entorno radiante puede ser visto desde un punto particular de la superficie del elemento, dividido por 2π .

NOTA – Se da información sobre los factores de configuración en el anexo C.

coeficiente de transferencia de calor por convección: El flujo de calor por convección del elemento referido a la diferencia entre el pico de temperatura del gas que rodea la superficie correspondiente del elemento y la temperatura de dicha superficie.

temperatura crítica de la aleación de aluminio: Para un nivel dado de carga, la temperatura a la cual se espera que ocurra el fallo en un elemento de aleación de aluminio con una distribución uniforme de temperatura.

fuego de cálculo: Un desarrollo específico de fuego adoptado con fines de cálculo.

límite elástico convencional con 0,2% de deformación: Para una temperatura dada, el nivel de tensiones en el cual la relación entre tensiones y deformaciones unitarias de la aleación de aluminio se trunca originándose una meseta plástica (de cálculo).

elemento externo: Elemento localizado en el exterior del edificio, el cual puede estar expuesto al fuego a través de las aperturas en el cerramiento del edificio.

compartimento de fuego: Un espacio dentro del edificio, que se extiende por una o más plantas, el cual está rodeado de elementos de separación tales que la extensión del fuego más allá del compartimento está impedida durante la correspondiente exposición al fuego.

material de protección frente al fuego: Un material que ha demostrado, mediante ensayos de resistencia al fuego de acuerdo con las normas prENVs o ENVs,

NOTA – Véase apartado 1.3.

ser capaz de permanecer en posición y de suministrar un aislamiento térmico adecuado durante el periodo de resistencia al fuego en consideración.

resistencia al fuego: La capacidad de un elemento, una estructura, o una parte de una estructura, para cumplir las funciones requeridas (función de capacidad portante de carga, y/o función de separación) para una exposición al fuego específica.

análisis global de la estructura (frente al fuego): Análisis de la estructura completa, en el cual todas las partes de la estructura, o sólo ciertas partes de ella, están expuestas al fuego. Las acciones indirectas debidas al fuego se consideran a lo largo de toda la estructura.

acciones indirectas de fuego: Las expansiones térmicas o las deformaciones térmicas que provocan esfuerzos y momentos.

función de capacidad portante de carga: La capacidad de una estructura o elemento de soportar acciones durante el fuego correspondiente, de acuerdo con unos criterios definidos.

análisis del elemento (frente al fuego): Es el análisis térmico y mecánico de un elemento estructural expuesto al fuego, en el cual se considera que el elemento está aislado, con condiciones de sustentación y contorno adecuadas. No se consideran las acciones indirectas debidas al fuego, excepto las que resulten de gradientes térmicos.

proyecto a temperatura normal: El estado límite último de cálculo a temperatura ambiente de acuerdo con el Eurocódigo 9: Parte 1-1 para la combinación fundamental de cargas.

elementos protegidos: Elementos para los cuales se han adoptado medidas para reducir la temperatura alcanzada en el elemento debida al fuego.

factor de forma de la sección: Para un elemento de aleación de aluminio sin protección o con protección de contorno, la relación entre el área de la superficie expuesta y el volumen del aluminio; para un elemento encajonado, la relación entre el área de la superficie interna del encajonamiento expuesta y el volumen de aluminio.

exposición al fuego normalizado: Exposición a los gases de combustión con una temperatura que varía con el tiempo de acuerdo a la curva normalizada temperatura-tiempo.

resistencia al fuego normalizado: Resistencia al fuego para la exposición al fuego normalizado durante un periodo de tiempo determinado.

NOTA – Normalmente, los requisitos de resistencia al fuego normalizado están expresados en periodos de tiempo tales como 30, 60 o más minutos.

curva normalizada temperatura-tiempo: Una curva nominal temperatura-tiempo de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2:1995.

NOTA – En la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2:1995 se da una expresión de la curva normalizada temperatura-tiempo.

elementos estructurales: Los elementos con capacidad portante de una estructura, incluyendo las riostras.

análisis de subconjuntos (frente al fuego): Es el análisis estructural de partes de la estructura expuestas al fuego, en el que la parte respectiva de la estructura se considera como aislada, con condiciones de contorno y sustentación adecuadas. Se consideran las acciones indirectas de fuego en el interior del subconjunto, pero no las interacciones, dependientes del tiempo, con otras partes de la estructura.

análisis de temperatura: El procedimiento para determinar el desarrollo de la temperatura en los elementos basándose en las acciones térmicas y en las propiedades térmicas de los materiales de los elementos y de las superficies de protección, cuando corresponda.

curvas temperatura-tiempo: Las temperaturas de los gases en el entorno de las superficies del elemento como una función del tiempo.

Estas curvas pueden ser:

nominales: Curvas convencionales, adoptadas para clasificación o verificación de la resistencia al fuego, por ejemplo la curva normalizada tiempo-temperatura

paramétricas: Determinadas en base a modelos de fuego y los parámetros físicos específicos que definen las condiciones en el compartimento de fuego.

acciones térmicas: Acciones sobre la estructura descritas mediante el flujo neto de calor sobre los elementos

1.5 Símbolos

(1)P Se usan los siguientes símbolos, adicionales a los de la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1:

A_M	es el área superficial de un elemento por unidad de longitud (m^2/m);
A_p	es el área en la superficie interna del material de protección frente al fuego por unidad de longitud del elemento (m^2/m);
E_{al}	es el módulo de elasticidad longitudinal de la aleación de aluminio para el proyecto a temperatura normal (MPa);
$E_{al,\theta}$	es la pendiente de la parte lineal elástica de la relación entre tensiones y deformaciones unitarias para una aleación de aluminio a elevada temperatura θ_{al} (MPa);
$E_{fi,d}$	es el valor de cálculo del efecto de las acciones en la situación de fuego;
$R_{d,\theta}$	es el valor de la resistencia de cálculo del material a una temperatura uniforme elevada;
$R_{fi,d}$	es el valor de cálculo de la resistencia en la situación de fuego;
$R_{fi,d,t}$	es el valor de cálculo de una resistencia en la situación de fuego, en el instante t;
T	es la temperatura (K) [mientras que θ es la temperatura ($^{\circ}C$)];
V	es el volumen del elemento por unidad de longitud (m^3/m);
$X_{fi,d}$	es el valor de cálculo de una propiedad del material en la situación de fuego;
X_k	es el valor característico de una propiedad del material;
$X_{k,\theta}$	es el valor característico de una propiedad del material a elevada temperatura θ ;

c	es el calor específico (J/kg K);
d_p	es el espesor del material de protección frente al fuego (m);
$f_{0,2}$	es el límite de proporcionalidad para la aleación de aluminio (MPa);
$f_{p,\theta}$	es el límite de proporcionalidad para la aleación de aluminio a elevada temperatura θ_{al} (MPa);
$f_{y,\theta}$	es la tensión de fluencia eficaz para la aleación de aluminio a elevada temperatura θ_{al} (MPa);
$h_{net,al}$	es el valor de cálculo del flujo neto de calor por unidad de área (W/m ²);
k_θ	es el valor relativo de una propiedad de resistencia o de deformación del aluminio a elevada temperatura θ_{al} ;
$k_{0,2,\theta}$	es el valor relativo del límite elástico práctico del 0,2% a elevada temperatura θ_{al} ;
l	es la longitud a 20 °C (m);
Δl	es la expansión inducida por la temperatura (m);
t	es el tiempo de exposición al fuego (minutos);
Δt	es el intervalo de tiempo (segundos);
η_{fi}	es el coeficiente de reducción para el nivel de carga de cálculo en la situación de fuego;
θ	es la temperatura (°C) [mientras que t es la temperatura (K)];
κ	es el coeficiente de ajuste;
λ	es la conductividad térmica (W/m K);
μ_0	es el grado de utilización en el instante $t = 0$;
ρ_{al}	es la densidad del aluminio (kg/m ³);

(2)P Se usan los siguientes subíndices, adicionales a los del proyecto de Norma Europea Experimental prENV 1999-1-1:

al	aleación de aluminio;
c	uniones;
fi	valor correspondiente para la situación de fuego;
m	elemento;
p	material de protección frente al fuego;
t	dependiente del tiempo;
θ	dependiente de la temperatura;

(3) Se usan símbolos adicionales en los anexos A a C. Éstos se definen cuando aparecen por primera vez.

1.6 Unidades

(1)P Se debe utilizar el S.I. de unidades de acuerdo con la Norma Internacional ISO 1000:1981.

2 PRINCIPIOS Y REGLAS BÁSICAS

2.1 Requisitos de funcionamiento

- (1)P Cuando se requiera resistencia mecánica en caso de fuego, las estructuras de aleación de aluminio se deberán proyectar y construir de tal forma que puedan mantener su función de capacidad portante de carga durante la correspondiente exposición al fuego - criterio “R”.
- (2)P Cuando se requiere la existencia de compartimentación, los respectivos elementos se deberán proyectar y construir de tal forma que estos mantengan su función de separación durante la correspondiente exposición al fuego, esto es:
- no deben producirse fallos en la integridad debidos a grietas, agujeros u otras aperturas, que sean lo bastante amplias para permitir la penetración del fuego mediante gases calientes o llamas – criterio “E”;
 - no deben producirse fallos en el aislamiento de forma que las temperaturas en la superficie no expuesta excedan las temperaturas de ignición – criterio “I”.
- (3) Puede aceptarse que se cumple el criterio “I” cuando la temperatura media alcanzada, durante la exposición al fuego normalizado, en la superficie no expuesta no excede de 140 °C y el valor máximo alcanzado en cualquier punto de ella no exceda de 180 °C.
- (4)P Los elementos deben cumplir con los criterios *R*, *E*, *I* como sigue:
- sólo función de separación: *E* e *I*;
 - sólo función de capacidad portante de carga: *R*;
 - función de separación y de capacidad portante de carga: *R*, *E* e *I*.
- (5) Cuando se usen los métodos generales de cálculo (véase apartado 4.4), se necesitan calcular las deformaciones allí donde los elementos de separación o los medios de protección resulten afectados por la deformación de las estructuras portantes. Se tendrán en cuenta las correspondientes especificaciones del producto.

NOTA – Este código se refiere sólo al criterio *R*. Las propiedades de los materiales dadas en este código se pueden usar cuando se calculen temperaturas para el criterio *I*.

2.2 Acciones

- (1)P Se deben adoptar las acciones térmicas y mecánicas de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2:1995.
- (2) Donde las reglas dadas en esta norma europea experimental sólo sean válidas para la exposición al fuego normalizado, ello se indicará en las cláusulas correspondientes.

2.3 Valores de cálculo de las propiedades de los materiales

- (1)P Los valores de cálculo de las propiedades térmicas y mecánicas $X_{fi,d}$ se definen como sigue:
- Propiedades térmicas para análisis térmico:
 - si un incremento de la propiedad es favorable para la seguridad:

$$X_{fi,d} = X_{k,\theta} / \gamma_{M,fi} \quad (2.1a)$$

- si un incremento de la propiedad es desfavorable para la seguridad:

$$X_{fi,d} = \gamma_{M,fi} \cdot X_{k,\theta} \quad (2.1b)$$

- Propiedades resistentes y de deformación para análisis estructural:

$$X_{fi,d} = k_{\theta} \cdot X_k / \gamma_{M,fi} \quad (2.1c)$$

donde

$X_{k,\theta}$ es el valor característico de una propiedad del material en el cálculo frente al fuego, generalmente dependiente de la temperatura del material, véase capítulo 3;

X_k es el valor característico de una propiedad de resistencia o deformación (generalmente f_k o E_k) para cálculo a temperatura normal según el proyecto Norma Europea Experimental prENV 1999-1-1;

k_{θ} es el coeficiente de reducción de una propiedad de resistencia o deformación ($X_{k,\theta}/X_k$), dependiente de la temperatura del material, véase apartado 3.2.1;

$\gamma_{M,fi}$ es el coeficiente parcial de seguridad de la correspondiente propiedad del material, para la situación de fuego.

- (2)P Para las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio, el coeficiente parcial de seguridad para la situación de fuego se tomará como:

$$\gamma_{M,fi} = \boxed{1,0}$$

- (3)P Para las propiedades térmicas de las aleaciones de aluminio, el coeficiente parcial de seguridad para la situación de fuego se tomará como:

$$\gamma_{M,fi} = \boxed{1,0}$$

2.4 Métodos de verificación

2.4.1 Generalidades

- (1)P El modelo del sistema estructural adoptado para el cálculo con esta norma europea experimental deberá reflejar el funcionamiento esperado de la estructura durante la exposición al fuego.
- (2)P El análisis estructural se deberá llevar a cabo utilizando uno de los siguientes tipos:
- análisis estructural global, véase el apartado 2.4.2;
 - análisis de subconjuntos, véase el apartado 2.4.3, o
 - análisis de elementos, véase el apartado 2.4.4.

2.4.2 Análisis estructural global

- (1)P El análisis estructural global para la situación de fuego se deberá llevar a cabo teniendo en cuenta el correspondiente modo de fallo en la exposición al fuego, las propiedades del material dependientes de la temperatura y la rigidez de los elementos.

- (2)P Se debe verificar que, para la correspondiente duración t de exposición al fuego:

$$E_{f\bar{i},d,t} \leq R_{f\bar{i},d,t} \quad (2.2)$$

donde

$E_{f\bar{i},d,t}$ es el valor de cálculo del efecto de las acciones para la situación de fuego, determinado de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2:1995, incluyendo los efectos de las expansiones térmicas y de las deformaciones;

$R_{f\bar{i},d,t}$ es la correspondiente resistencia de cálculo a temperatura elevada.

2.4.3 Análisis de subconjuntos

- (1)P Como alternativa al análisis estructural global de la estructura completa para diferentes situaciones de fuego, puede llevarse a cabo un análisis estructural de subconjuntos, que comprendan adecuadas porciones de la estructura, de acuerdo con el apartado 2.4.2.
- (2) Los esfuerzos internos y los momentos en los apoyos y las condiciones de borde de los subconjuntos aplicables en el instante $t = 0$ se puede suponer que permanecen sin cambios durante la exposición al fuego.
- (3) Como alternativa a efectuar un análisis estructural global para la situación de fuego en el instante $t = 0$, los esfuerzos internos y los momentos en los apoyos y las condiciones de borde de los subconjuntos se pueden obtener a partir de un análisis estructural global a la temperatura normal de cálculo mediante el uso de

$$E_{f\bar{i},d} = \eta_{f\bar{i}} \cdot E_d \quad (2.3)$$

donde

E_d es el valor de cálculo del correspondiente esfuerzo interno o momento para la temperatura normal de cálculo, resultante de la combinación fundamental dada en el apartado 2.2.2.5 en el proyecto de Norma Europea Experimental prENV 1999-1-1;

$\eta_{f\bar{i}}$ es el coeficiente de reducción del nivel de carga de cálculo para la situación de fuego.

- (4) El coeficiente de reducción del nivel de carga de cálculo para la situación de fuego $\eta_{f\bar{i}}$ viene dado por:

$$\eta_{f\bar{i}} = \frac{\gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (2.4)$$

donde

$Q_{k,1}$ es la variable principal de carga;

γ_{GA} es el coeficiente parcial de seguridad para las acciones permanentes en la situación accidental de cálculo;

$\psi_{1,1}$ es el coeficiente de combinación para los valores frecuentes, véase tabla 9.3 en la Norma Europea Experimental ENV 1991-1:1994.

NOTA – La figura 2.1 muestra la variación del coeficiente de reducción $\eta_{f\bar{i}}$ con la relación de carga $Q_{k,1}/G_k$ para diferentes valores del factor $\psi_{1,1}$ para $\gamma_{GA} = 1,0$ con $\gamma_G = 1,35$ y $\gamma_Q = 1,5$.

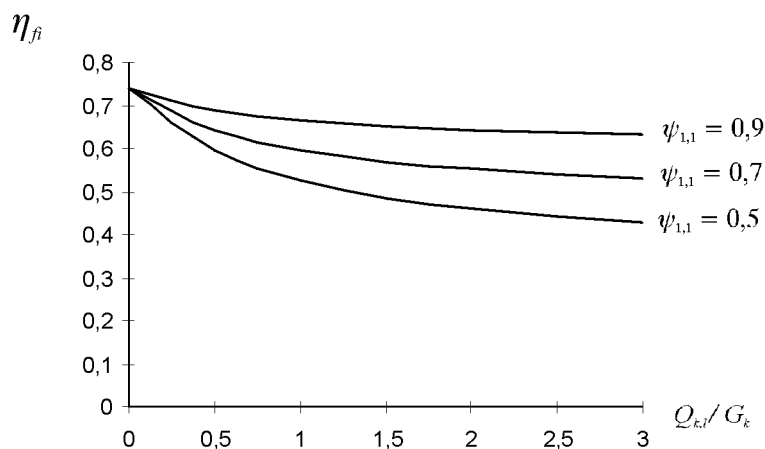


Fig. 2.1 – Variación del coeficiente de reducción η_{fi} con la relación de carga $Q_{k,i}/G_k$

2.4.4 Análisis de elementos

- (1)P Como alternativa al análisis estructural global, los elementos individuales pueden ser analizados para la situación de fuego. Las condiciones de coacción en los apoyos y extremos de los elementos aplicables en el instante $t = 0$ se puede suponer, generalmente, que permanecen sin cambio durante la exposición al fuego. Donde se apliquen diferentes condiciones, se identificará en las correspondientes estipulaciones.
- (2) Los esfuerzos internos y los momentos en los apoyos y en los extremos de los elementos aplicables en el instante $t = 0$ se puede suponer que permanecen sin cambio durante la exposición al fuego.
- (3) Como alternativa a efectuar un análisis estructural global para la situación de fuego en el instante $t = 0$, los esfuerzos internos y los momentos en los apoyos y en los extremos de los elementos se pueden obtener a partir de un análisis estructural global a la temperatura normal de cálculo mediante el uso de la expresión (2.3).
- (4) Sólo los efectos de las deformaciones térmicas resultantes de gradientes térmicos necesitan ser considerados. Los efectos de las expansiones térmicas de los elementos pueden ser despreciados.

2.4.5 Proyecto asistido mediante ensayos

- (1)P Como alternativa al uso de métodos de cálculo, el proyecto puede estar basado en los resultados de ensayos.

3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

3.1 Generalidades

- (1) Las propiedades térmicas y mecánicas de las aleaciones de aluminio deberán determinarse siguiendo lo siguiente o bien en conformidad con las normas europeas o internacionales de producto EN, prEN o ISO existentes.
- (2) Las propiedades térmicas de los materiales de protección frente al fuego deberán determinarse de acuerdo con las normas europeas o internacionales de producto EN, prEN o ISO existentes.
- (3) Los valores de las propiedades de los materiales dados en el proyecto de Norma Europea Experimental prENV 1999-1-1 en el capítulo 3 deben ser tratados como valores característicos.

3.2 Propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio

3.2.1 Propiedades de resistencia

- (1) El límite elástico práctico del 0,2% de algunas aleaciones de aluminio tras más de dos horas de exposición térmica a elevada temperatura $f_{y,\theta}$ se debe obtener a partir del valor relativo $k_{0,2,\theta}$ dado en la tabla 3.1 y del límite elástico práctico del material con el 0,2% de deformación unitaria $f_{0,2}$ a la temperatura ambiente de ensayo tomado de la parte 1-1 capítulo 3, donde:

Límite elástico práctico efectivo del 0,2% a la temperatura θ : $f_{y,\theta} = k_{0,2,\theta} f_{0,2}$

- (2) Para valores intermedios de la temperatura del aluminio, se puede usar una interpolación lineal.

Tabla 3.1
Valores relativos $k_{0,2,\theta}$ del límite elástico práctico del 0,2% para aleaciones de aluminio a temperatura elevada tras un periodo de exposición térmica mayor de dos horas

Aleación	Estado de entrega	Temperatura de la aleación de aluminio °C							
		20	100	150	200	250	300	350	550
EN AW-5052	O	1,00	1,00	0,96	0,82	0,68	0,48	0,23	0
EN AW-5052	H34	1,00	1,00	0,92	0,52	0,33	0,22	0,13	0
EN AW-5083	O	1,00	1,00	0,98	0,90	0,75	0,42	0,22	0
EN AW-5083	H113	1,00	1,00	0,89	0,78	0,63	0,47	0,29	0
EN AW-5454	O	1,00	1,00	0,96	0,88	0,50	0,32	0,21	0
EN AW-5454	H32	1,00	1,00	0,92	0,78	0,36	0,23	0,14	0
EN AW-6061	T6	1,00	1,00	0,92	0,79	0,62	0,32	0,10	0
EN AW-6063	T6	1,00	1,00	0,90	0,74	0,38	0,20	0,10	0
EN AW-6082	T6	1,00	1,00	0,79	0,65	0,38	0,20	0,11	0

- (3)P El límite elástico práctico de algunas aleaciones de aluminio, no cubierto en la tabla 3.1a del proyecto de Norma Europea Experimental prENV 1999-1-1 capítulo 3, tras más de dos horas de exposición térmica a elevada temperatura se debe obtener a partir del valor relativo $k_{0,2,\theta}$ dado en el anexo A y del límite elástico práctico del material con el 0,2% de deformación unitaria $f_{0,2}$ a la temperatura ambiente de ensayo tomado de las Normas de Referencia dadas en el proyecto de Norma Europea Experimental prENV 1999-1-1 capítulo 3, donde:

Límite elástico práctico efectivo del 0,2% a la temperatura θ : $f_{y,\theta} = k_{0,2,\theta} f_{0,2}$

3.2.2 Módulo de elasticidad

- (1) El módulo de elasticidad de todas las aleaciones de aluminio tras dos horas de exposición térmica a elevadas temperaturas $E_{al,\theta}$ debe ser obtenido de la tabla 3.2.

Tabla 3.2
Módulo de elasticidad de aleaciones de aluminio a elevada
temperatura para un periodo de exposición térmica de dos horas, $E_{al,\theta}$

Temperatura de la aleación de aluminio, θ (°C)	Módulo de elasticidad, $E_{al,\theta}$ (N/mm ²)
20	70 000
50	69 300
100	67 900
150	65 100
200	60 200
250	54 600
300	47 600
350	37 800
400	28 000
550	0

3.2.3 Densidad

- (1) La densidad de las aleaciones de aluminio ρ_{al} se debe considerar independiente de la temperatura del aluminio. Se debe tomar el siguiente valor:

$$\rho_{al} = 2\,700 \text{ kg/m}^3$$

3.3 Propiedades térmicas de las aleaciones de aluminio

3.3.1 Dilatación térmica

- (1)P La dilatación térmica de las aleaciones de aluminio, $\Delta l/l$, se determina como sigue:

para $0^\circ\text{C} < \theta_{al} < 500^\circ\text{C}$

$$\Delta l/l = 0,1 \cdot 10^{-7} \theta_{al}^2 + 22,5 \cdot 10^{-6} \theta_{al} - 4,5 \cdot 10^{-4}$$

donde

l : es la longitud a 20°C ;

Δl : es la expansión inducida por la temperatura;

θ_{al} : es la temperatura de la aleación de aluminio ($^\circ\text{C}$).

- (2) La variación en la dilatación térmica se ilustra en la figura 3.1.

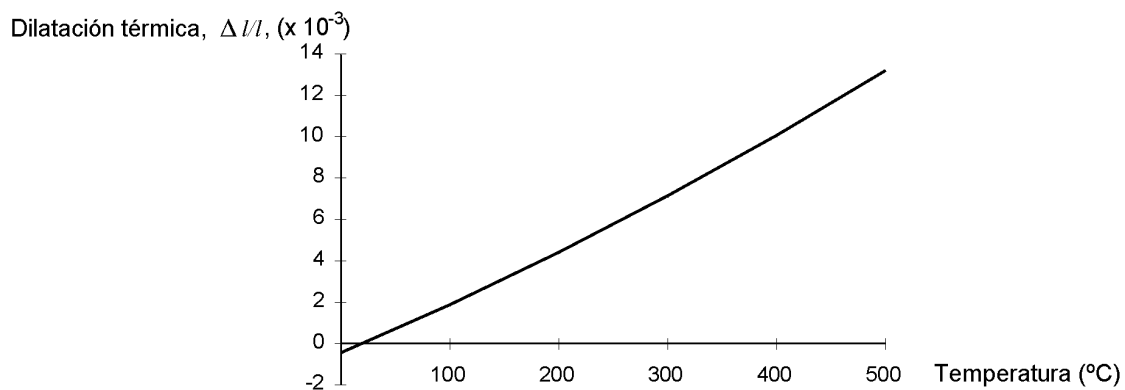


Fig. 3.1 – Dilatación térmica de aleaciones de aluminio como una función de la temperatura

- (3)P En métodos sencillos de cálculo la relación entre la dilatación térmica y la temperatura de la aleación de aluminio se puede considerar como lineal. En este caso la dilatación se puede determinar mediante:

$$\frac{\Delta l}{l} = 2,5 \cdot 10^{-5} (\theta_{al} - 20)$$

3.3.2 Calor específico

- (1)P El calor específico del aluminio, c_{al} , se determina como sigue:

para $0^{\circ}\text{C} < \theta_{al} < 500^{\circ}\text{C}$

$$c_{al} = 0,41 \cdot \theta_{al} + 903 (\text{J} / \text{kg } ^{\circ}\text{C})$$

donde

θ_{al} es la temperatura de la aleación de aluminio.

- (2) La variación en el calor específico se ilustra en la figura 3.2.

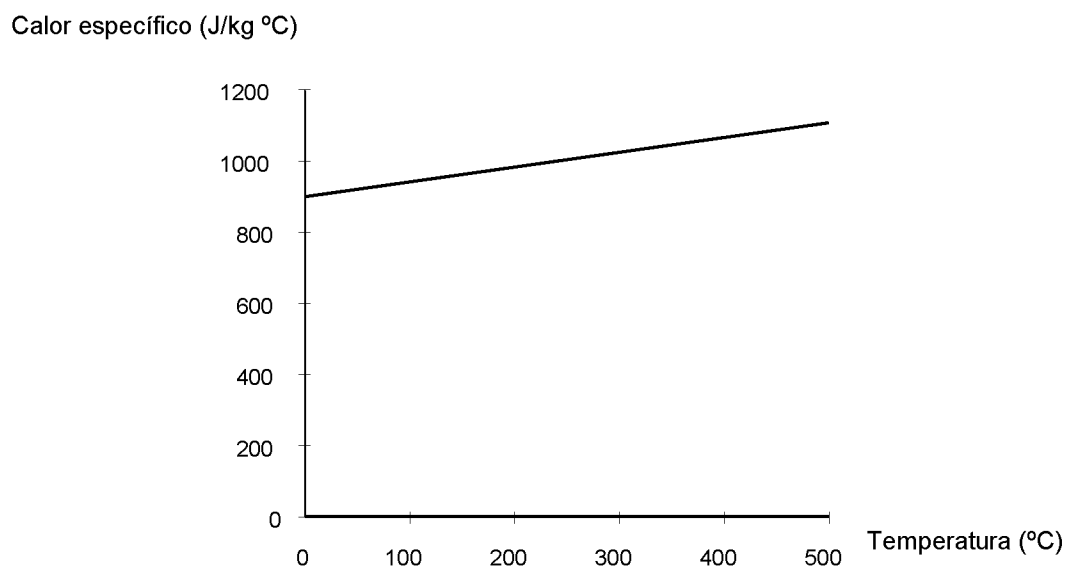


Fig. 3.2 – Calor específico de aleaciones de aluminio como una función de la temperatura

3.3.3 Conductividad térmica

- (1)P La conductividad térmica de una aleación de aluminio, λ_{al} , para $0\text{ °C} < \theta_{al} < 400\text{ °C}$ se debe determinar como sigue:

para aleaciones de las series 1 000, 3 000 y 6 000:

$$\lambda_{al} = 0,07 \cdot \theta_{al} + 190 \text{ (W / m °C)}$$

para aleaciones de las series 2 000, 4 000, 5 000 y 7 000:

$$\lambda_{al} = 0,1 \cdot \theta_{al} + 140 \text{ (W / m °C)}$$

donde

θ_{al} es la temperatura de la aleación de aluminio.

- (2) La variación de la conductividad térmica se ilustra en la figura 3.3.

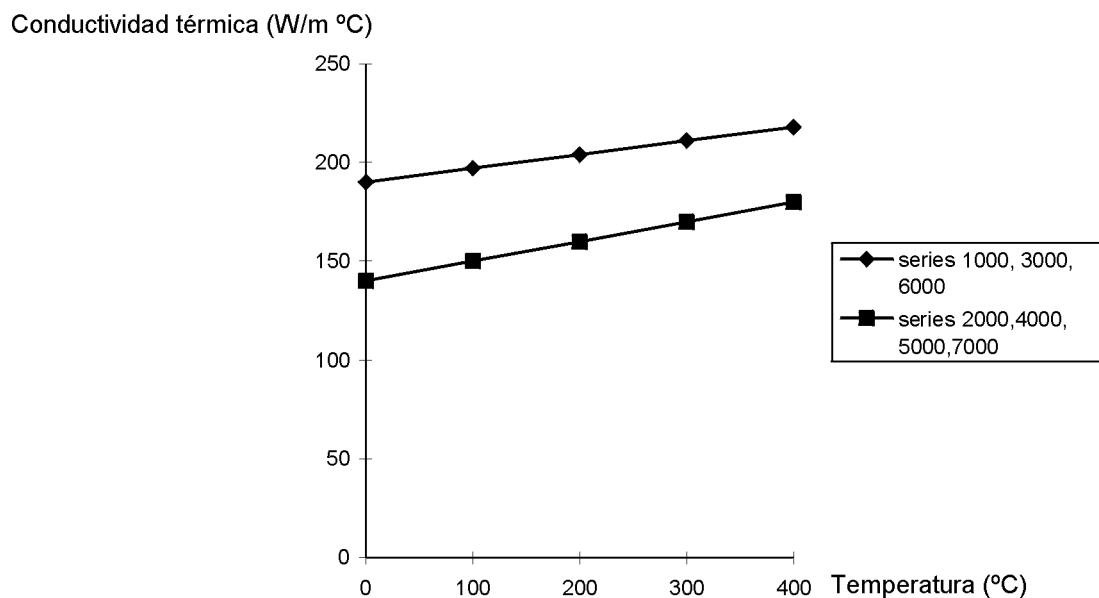


Fig. 3.3 – Conductividad térmica como una función de la temperatura

3.4 Materiales de protección frente al fuego

- (1) Las propiedades y cualidades de funcionamiento de los materiales de protección frente al fuego deberán ser verificadas usando los procedimientos de ensayo dados en las normas europeas prENs o ENs (cuando estén disponibles).

NOTA – Se supone que estas normas incluirán como requisito que los materiales de protección frente al fuego deben permanecer coherentes y cohesivos con sus soportes durante la correspondiente exposición frente al fuego. En otro caso estos aspectos se revisarán.

4 CÁLCULO ESTRUCTURAL FRENTE AL FUEGO

4.1 Generalidades

- (1)P Las estructuras de aleación de aluminio pueden estar aisladas mediante material de protección frente al fuego, protegidas mediante pantallas de calor u otros métodos que limiten el incremento de temperatura en el elemento de aleación de aluminio.
- (2)P La verificación del comportamiento estructural en una situación de cálculo frente a fuego se deberá basar en uno de los métodos siguientes, o en una combinación de ellos:
 - métodos sencillos de cálculo aplicados a elementos individuales;
 - métodos generales de cálculo.
- (3)P Los métodos sencillos de cálculo son métodos simplificados que dan resultados conservadores.
- (4)P Los métodos generales de cálculo son métodos en los que los principios de la ingeniería son aplicados de forma realista en las aplicaciones específicas.
- (5)P Donde no se den reglas simples de cálculo, es necesario utilizar cualquier método basado en resultados de ensayos o cualquier método general de cálculo.

4.2 Modelos sencillos de cálculo

4.2.1 Generalidades

- (1)P La función de capacidad portante de carga (resistente) de una estructura de aleación de aluminio o de un elemento estructural se puede suponer que se mantiene tras un tiempo t en un fuego dado si:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t} \quad (4.1)$$

donde

$E_{fi,d}$ es el valor de cálculo del efecto de las acciones para la situación de cálculo frente a fuego, determinado de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2 (los esfuerzos internos y los momentos $M_{fi,Ed}$, $N_{fi,Ed}$, $V_{fi,Ed}$ individualmente o en combinación);

$R_{fi,d,t}$ es el valor de la resistencia (capacidad portante) de cálculo de la estructura de aleación de aluminio o del elemento estructural, para la situación de cálculo frente a fuego, en el instante t ($M_{fi,t,Rd}$, $M_{b,fi,t,Rd}$, $N_{fi,t,Rd}$, $V_{fi,t,Rd}$ individualmente o en combinación).

- (2)P $R_{fi,d,t}$ se deberá determinar para la distribución de temperatura en los elementos estructurales en el instante t mediante la modificación de la resistencia de cálculo a la temperatura normal de cálculo, determinada a partir del proyecto de Norma Europea Experimental prENV1999-1-1, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio a elevadas temperaturas, véanse los apartados 3.2.1 y 3.2.2.

4.2.2 Resistencia

NOTA – En esta sección el símbolo para la resistencia de cálculo se pone M_{Rd} , N_{Rd} , V_{Rd} dependiendo de si el efecto de las acciones concernidas es momento flector, esfuerzo axial o esfuerzo cortante respectivamente.

4.2.2.1 Clasificación de las secciones transversales

- (1)P En una situación de cálculo frente a fuego, la clasificación de las secciones transversales se puede efectuar como para un cálculo a temperatura normal, de acuerdo al apartado 5.4 en el proyecto de Norma Europea Experimental prENV 1999-1-1, sin ningún cambio.

4.2.2.2 Elementos traccionados

- (1)P La resistencia de cálculo $N_{fi,t,Rd}$ de un elemento traccionado con una distribución no uniforme de temperatura sobre la sección transversal en el instante t se puede determinar mediante:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum A_i k_{0,2,\theta,i} f_{0,2} / \gamma_{M,fi} \quad (4.2)$$

donde

A_i es un área elemental de la sección transversal neta con una temperatura θ_i , incluyendo una deducción cuando se requiera tener en cuenta el efecto del reblandecimiento HAZ. La deducción está basada en el espesor reducido de $k_{HAZ} \cdot t$;

$k_{0,2,\theta,i}$ es el coeficiente de reducción para tener el límite elástico práctico del 0,2% efectivo a la temperatura θ_i . θ_i es la temperatura en el área elemental A_i .

- (2)P La resistencia de cálculo $N_{fi,\theta,Rd}$ de un elemento traccionado con una temperatura uniforme θ_{al} se determina mediante:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{0,2,\theta} N_{Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,fi}) \quad (4.3)$$

donde

$k_{0,2,\theta}$ es el valor relativo del límite elástico práctico del 0,2% para la resistencia de las aleaciones de aluminio a la temperatura θ_{al} , véase apartado 3.2.1.

y N_{Rd} es el valor de la resistencia de cálculo de la sección neta para la temperatura normal de cálculo de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1.

- (3) Se puede suponer que las cláusulas dadas en el apartado 4.2.2.1 se satisfacen para un elemento traccionado si, en el instante t , la temperatura de la aleación de aluminio θ_{al} , en todas las secciones transversales, no es mayor de 170 °C.

4.2.2.3 Vigas

- (1) El momento resistente de cálculo $M_{fi,t,Rd}$ de una sección transversal de las clases 1 ó 2 con una distribución no uniforme de temperatura en el instante t se puede determinar mediante:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum A_i z_i k_{0,2,\theta,i} f_{0,2} / \gamma_{M,fi} \quad (4.4)$$

donde

A_i es un área elemental de la sección transversal neta con una temperatura θ_i , incluyendo una deducción cuando se requiera tener en cuenta el efecto del reblandecimiento HAZ. La deducción está basada en el espesor reducido de $k_{HAZ} \cdot t$, de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1;

z_i es la distancia desde el eje neutro plástico al centro de gravedad del área elemental A_i ;

$k_{0,2,\theta,i} f_{0,2}$ es la resistencia del área elemental A_i a la temperatura θ_{al} .

- (2)P El eje neutro plástico de una sección transversal con una distribución de temperatura no uniforme es el eje perpendicular al plano de flexión que satisface el siguiente criterio:

$$\sum A_i k_{0,2,\theta,i} f_{0,2,i} = 0 \quad (4.5)$$

- (3)P El momento resistente de cálculo $M_{fi,t,Rd}$ de una sección transversal de la clase 3 con una distribución no uniforme de temperatura en el instante t se puede determinar mediante:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,\theta,Rd} \quad (4.6)$$

donde

$M_{fi,\theta,Rd}$ es el momento resistente de cálculo de la sección transversal para una temperatura uniforme θ_{al} igual a la máxima temperatura $\theta_{al,m\acute{a}x}$ alcanzada en el instante t .

- (4)P El momento resistente de cálculo $M_{fi,t,Rd}$ de una sección transversal de la clase 4 con una distribución no uniforme de temperatura en el instante t se puede determinar mediante:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta_{max}} M_{Rd} (\gamma_{M1}/\gamma_{Mfi}) \quad (4.7)$$

donde

$k_{0,2,\theta_{m\acute{a}x}}$ es el valor relativo del límite elástico práctico del 0,2% para la resistencia de las aleaciones de aluminio a la temperatura θ_{al} , igual a la máxima temperatura $\theta_{al,m\acute{a}x}$ alcanzada en la sección transversal en el instante t ;

y M_{Rd} es el momento resistente de cálculo, para la clase 4, de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1, de la sección transversal para la temperatura normal de cálculo.

- (5)P El momento resistente de cálculo $M_{fi,t,Rd}$ de una sección transversal de las clases 1, 2, 3 ó 4 con una distribución uniforme de temperatura en el instante t , se determina mediante:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta} M_{Rd} (\gamma_{M1}/\gamma_{Mfi}) \quad (4.8)$$

donde

$k_{0,2,\theta}$ es el valor relativo del límite elástico práctico del 0,2% para la resistencia de las aleaciones de aluminio a la temperatura θ_{al} , véase el apartado 3.2.1.

y M_{Rd} es el momento resistente de cálculo de la sección transversal para la temperatura normal de cálculo.

- (6) Para vigas sujetas a pandeo lateral con torsión, el momento resistente de cálculo a pandeo $M_{b,fi,t,Rd}$ de una viga no restringida lateralmente en el instante puede determinarse utilizando:

$$M_{b,fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta,max} M_{b,Rd} (\gamma_{M1}/\gamma_{Mfi}) \quad (4.9)$$

donde

$k_{0,2,\theta,m\acute{a}x}$ es el valor relativo del límite elástico práctico del 0,2% de la aleación de aluminio a la temperatura θ_{al} igual a la máxima temperatura $\theta_{al,m\acute{a}x}$ de la aleación de aluminio.

$M_{b,Rd}$ es el momento resistente de cálculo a pandeo para la temperatura normal de cálculo, de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1.

- (7) La resistencia a cortante de cálculo $V_{fi,t,Rd}$ de una viga en el instante t se puede determinar mediante:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta} V_{Rd} (\gamma_{M1}/\gamma_{M,fi}) \quad (4.10)$$

donde

$k_{0,2,\theta}$ es el valor relativo del límite elástico práctico del 0,2% para la resistencia de las aleaciones de aluminio a la temperatura θ_{al} , θ_{al} es la máxima temperatura de la parte de la sección transversal que soporta el esfuerzo cortante.

V_{Rd} es el esfuerzo cortante resistente de cálculo de la sección transversal neta a la temperatura normal de cálculo, de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1.

- (8) Se puede suponer que las cláusulas dadas en el apartado 4.2.2.3 se satisfacen para una viga si, en el instante t , la temperatura de la aleación de aluminio θ_{al} , en todas las secciones transversales, no es mayor de 170 °C.

4.2.2.4 Columnas

- (1)P La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,fi,t,Rd}$ de un elemento comprimido en el instante t se puede determinar mediante:

$$N_{b,fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta,max} N_{b,Rd} (\gamma_{M1}/1,2\gamma_{M,fi}) \quad (4.11)$$

donde

$N_{b,Rd}$ es la resistencia de cálculo a pandeo a la temperatura normal de cálculo de acuerdo con la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1.

$k_{0,2,\theta,max}$ es el valor relativo del límite elástico práctico del 0,2% de la aleación de aluminio a la temperatura θ_{al} , igual a la máxima temperatura $\theta_{al,max}$ de la aleación de aluminio.

NOTA – La constante 1,2 en ésta expresión es un coeficiente de reducción de la resistencia de cálculo debido al creep dependiente de la temperatura de las aleaciones de aluminio.

- (2) Para la determinación del coeficiente de esbeltez se deben aplicar las indicaciones de la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1.
- (3) Los tramos de las columnas en pórticos continuos intraslacionales o semicontinuos conectados a tramos de columnas en otros compartimentos, se pueden considerar completamente empotrados en tales uniones, siempre que la resistencia al fuego de los componentes del edificio que separan los compartimentos de fuego concernidos sea igual al menos a la resistencia al fuego de la columna.
- (4)P La resistencia de cálculo a pandeo $R_{fi,t,Rd}$ de un elemento sometido a combinación de flexión y compresión axial en el instante t se puede determinar mediante:

$$R_{fi,t,d} = k_{0,2,\theta,max} R_d \quad (4.12)$$

donde

R_d representa una combinación de la compresión axial y momentos flectores $N_{fi,Ed}$, $M_{y,fi,Ed}$ y $M_{z,fi,Ed}$ tal que se satisfacen, para todos los tipos de elementos, las indicaciones para la temperatura normal de cálculo dadas en la Norma Europea Experimental ENV 1999-1-1, donde:

$$N_{Sd} = 1,2 N_{fi,Ed}$$

$$M_{y,Sd} = M_{y,fi,Ed}$$

$$M_{z,Sd} = M_{z,fi,Ed}$$

- (5) Se puede suponer que las cláusulas dadas en el apartado 4.2.2.4 se satisfacen para una columna si, en el instante t , la temperatura de la aleación de aluminio θ_{al} , en todas las secciones transversales, no es mayor que 170 °C.

4.2.2.5 Uniones

- (1)P La resistencia de las uniones entre elementos no necesita ser comprobada siempre que la resistencia térmica $(d_p/\lambda_p)_c$ de la protección frente al fuego de la unión no sea menor que el mínimo valor de la resistencia térmica $(d_p/\lambda_p)_M$ de la protección frente al fuego de cualquier elemento de aleación de aluminio unido por esa conexión:

donde

d_p es el espesor del material de protección frente al fuego;

λ_p es la conductividad térmica efectiva del material de protección contra el fuego.

- (2) Para uniones soldadas debe ser tenida en cuenta la resistencia reducida de las zonas afectadas térmicamente.

4.2.3 Desarrollo de la temperatura en la aleación de aluminio

4.2.3.1 Elementos internos desprotegidos de aleación de aluminio

- (1) Para una distribución uniforme de temperatura equivalente en la sección transversal, el incremento de temperatura $\Delta\theta_{al(t)}$ en un elemento desprotegido durante un intervalo de tiempo Δt se debe determinar mediante:

$$\Delta\theta_{al(t)} = \frac{1}{c_{al} \cdot \rho_{al}} \cdot \frac{A_m}{V} \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t$$

donde

c_{al} es el calor específico de las aleaciones de aluminio, véase el apartado 3.3.2 (J/kg °C);

ρ_{al} es la densidad del aluminio (kg/m³);

A_m/V es el factor de forma de la sección para elementos desprotegidos de aleación de aluminio (m⁻¹);

A_m es el área de la superficie expuesta del elemento por unidad de longitud (m²/m);

V es el volumen del elemento por unidad de longitud (m³/m);

$\dot{h}_{net,d}$ es el valor de cálculo del flujo neto de calor por unidad de área, véase (2);

Δt es el intervalo de tiempo (segundos).

- (2) Los valores de $\dot{h}_{net,d}$ deben ser obtenidos de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2:1995 utilizando:

$\varepsilon_m = \boxed{0,3}$ para superficies limpias no recubiertas y

$\varepsilon_m = \boxed{0,7}$ para superficies pintadas y recubiertas (por ejemplo con hollín),

donde ε_m y ε_{res} están definidas en la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2:1995.

- (3) El valor de Δt no debe ser de más de 5 s.

- (4) El valor del factor de forma de la sección A_m/V no debe tomarse menor que 10 m^{-1} .
- (5) Cuando se calcule el área de la superficie expuesta del elemento, A_m , no se incluirán en el área de la superficie expuesta las ranuras con hueco en la superficie menor que 20 mm. Véase la figura 4.1.
- (6) Algunos valores de cálculo del factor de forma de la sección A_m/V para elementos no protegidos de aleación de aluminio se dan en la tabla 4.1.

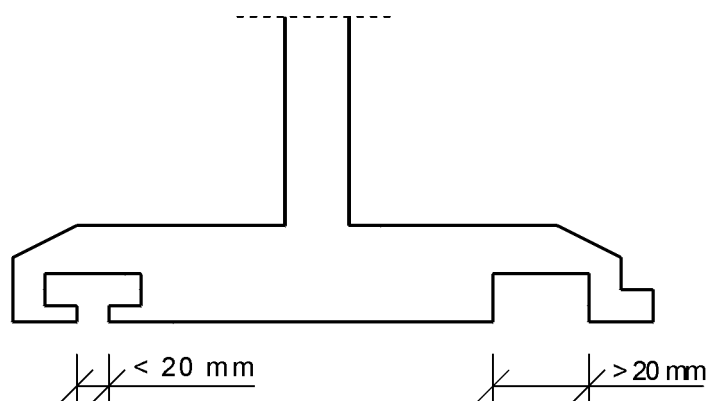
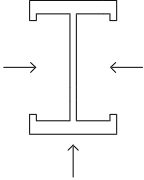
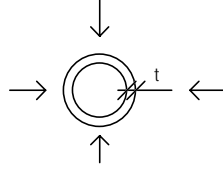
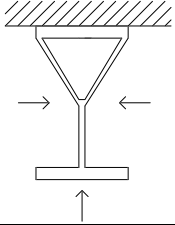
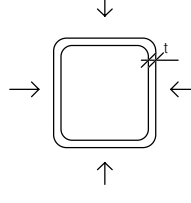
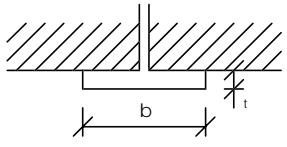
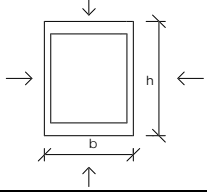
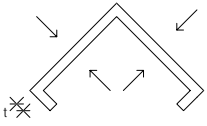
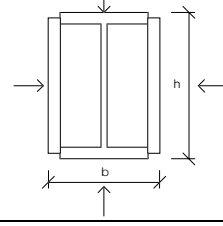
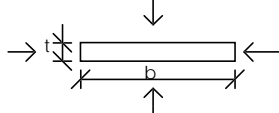
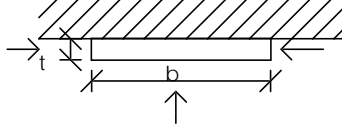


Fig. 4.1 – Ranuras con hueco en la superficie < 20 mm, el área de la ranura no se incluye en el área de la superficie expuesta. Ranuras con hueco en la superficie > 20 mm, el área de la ranura se incluye en el área de la superficie expuesta

Tabla 4.1
Factor de forma de la sección A_m/V para elementos estructurales no protegidos
de aleación de aluminio cuando se utilice el método de agrupación de masas

<p>Perfil abierto expuesto al fuego en todos sus lados:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{perímetro}}{\text{área de la sección transversal}}$ 	<p>Perfil tubular expuesto al fuego en todos sus lados:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$ 
<p>Perfil abierto expuesto al fuego en tres lados:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{superficie expuesta al fuego}}{\text{área de la sección transversal}}$ 	<p>Perfil tubular (o sección en cajón soldada de espesor uniforme) expuesto al fuego en todos sus lados:</p> <p>Si $t \ll b$: $A_m/V = 1/t$</p> 
<p>Ala de perfil en I expuesta al fuego en tres lados:</p> $A_m/V = (b + 2t_f)/(b t_f)$ <p>Si $t \ll b$: $A_m/V = 1/t_f$</p> 	<p>Sección en cajón expuesta al fuego en todos sus lados:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + h)}{\text{área de sección transversal}}$ 
<p>Angular (o cualquier perfil abierto de espesor uniforme) expuesto al fuego en todos sus lados:</p> $A_m/V = 2/t$ 	<p>Perfil en I con refuerzo en cajón, expuesto al fuego en todos sus lados:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + h)}{\text{área de la sección transversal}}$ 
<p>Pletina expuesta al fuego en todos sus lados:</p> $A_m/V = 2(b + t)/(b t)$ <p>Si $t \ll b$: $A_m/V = 2/t$</p> 	<p>Pletina expuesta al fuego en tres lados:</p> $A_m/V = (b + 2 t)/(b t)$ <p>Si $t \ll b$: $A_m/V = 1/t$</p> 

4.2.3.2 Estructuras internas de aleación de aluminio aisladas mediante material de protección frente al fuego

- (1) Para una distribución uniforme de temperatura en una sección transversal, el incremento de temperatura $\Delta\theta_{al(t)}$ en un elemento aislado durante un intervalo de tiempo Δt se obtiene mediante:

$$\Delta\theta_{al(t)} = \frac{\lambda_p/d_p}{c_{al} \cdot \rho_{al}} \cdot \frac{A_p}{V} \left[\frac{1}{1 + \phi/3} \right] (\theta_t - \theta_{al}) \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{(t)}$$

pero $\Delta\theta_{al(t)} \geq 0$

en el cual

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_{al} \rho_{al}} d_p \frac{A_p}{V}$$

donde

A_p/V es el factor de forma del perfil para elementos de aleación de aluminio aislados mediante material de protección frente al fuego (m^{-1});

A_p es el área de la superficie interna del material de protección frente al fuego, por unidad de longitud del elemento (m^2/m);

V es el volumen del elemento por unidad de longitud (m^3/m);

c_{al} es el calor específico de las aleaciones de aluminio, véase el apartado 3.3.2 ($J/kg \text{ } ^\circ C$);

c_p es el calor específico del material de protección frente al fuego, véase el apartado 3.4 ($J/kg \text{ } ^\circ C$);

d_p es el espesor del material de protección frente al fuego (m);

Δt es el intervalo de tiempo (segundos);

$\theta_{(t)}$ es la temperatura del ambiente gaseoso en el instante t ($^\circ C$);

$\theta_{al(t)}$ es la temperatura del aluminio en el instante t ($^\circ C$);

$\Delta\theta_{(t)}$ es el incremento de la temperatura del ambiente durante el intervalo de tiempo Δt ($^\circ C$);

λ_p es la conductividad térmica del material de protección frente al fuego, véase el apartado 3.4 ($W/m \text{ } ^\circ C$);

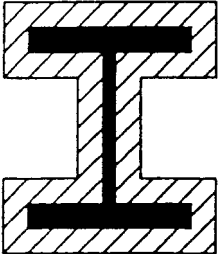
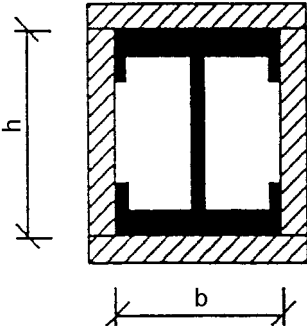
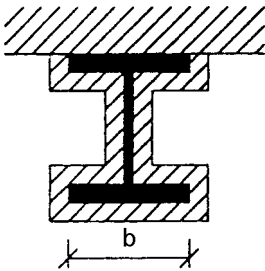
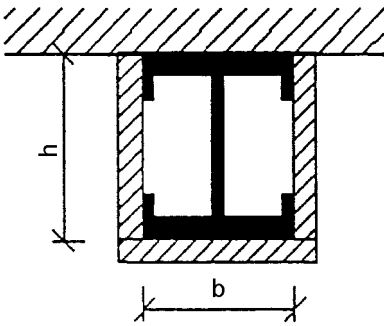
ρ_{al} es la densidad de las aleaciones de aluminio, (kg/m^3);

ρ_p es la densidad del material de protección frente al fuego, véase el apartado 3.4 (kg/m^3).

- (2) El valor de Δt no debe ser de más de 30 s.
- (3) Algunos valores de cálculo del factor de forma de la sección A_p/V para elementos aislados de aleación de aluminio se dan en la tabla 4.2.
- (4) Para materiales de protección frente al fuego húmedos, el cálculo del incremento de temperatura de la aleación de aluminio $\Delta\theta_{al(t)}$ puede ser modificado para tener en cuenta el retraso de tiempo en el aumento de la temperatura de la aleación de aluminio cuando se alcanzan los 100 $^\circ C$. Este retraso de tiempo se debe determinar mediante un método conforme con las normas europeas prENV o ENV (cuando estén disponibles).

NOTA – Véanse los apartados 1.3 y 3.4.

Tabla 4.2
Factor de forma del perfil A_p/V para elementos estructurales de aleación de aluminio aislados mediante materiales de protección frente al fuego cuando se utilice el método de agrupación de masas

Esquema	Descripción	Factor de forma del perfil (A_p/V)
	Contorno recubierto con espesor uniforme	$\frac{\text{Perímetro de aluminio}}{\text{Área de la sección transversal de aluminio}}$
	Recubrimiento hueco con espesor uniforme	$\frac{2(b+h)}{\text{Área de la sección transversal de aluminio}}$
	Contorno recubierto con espesor uniforme, expuesto al fuego por tres lados	$\frac{\text{Perímetro de aluminio} - b}{\text{Área de la sección transversal de aluminio}}$
	Recubrimiento hueco con espesor uniforme, expuesto al fuego por tres lados	$\frac{2h+b}{\text{Área de la sección transversal de aluminio}}$

4.2.3.3 Estructuras internas de aleación de aluminio en un hueco que es protegido mediante pantallas térmicas

(1)P Las indicaciones dadas a continuación se aplican a ambos de los siguientes casos:

- elementos de aleación de aluminio en un hueco que está limitado por un techo en la parte superior y por una pantalla térmica horizontal por debajo;
- elementos de aleación de aluminio en un hueco que está limitado por pantallas térmicas verticales en ambos lados.

(2)P Las propiedades y la capacidad de funcionamiento de las pantallas térmicas deben ser determinadas usando un procedimiento de ensayo conforme con una norma europea prENV, ENV, prEN o EN.

NOTA – Véase el apartado 1.3.

(3)P El desarrollo de la temperatura en el hueco en el que estén situados los elementos de aluminio debe ser determinado a partir de un ensayo de fuego normalizado conforme con una norma europea prENV, ENV, prEN o EN,

NOTA – Véase el apartado 1.3.

o calculado usando un método aprobado.

(4) Para estructuras internas de aleación de aluminio protegidas con pantallas térmicas, el cálculo del incremento de temperatura de la aleación de aluminio $\Delta\theta_{al}$ se debe basar en los métodos dados en los apartados 4.2.3.1 ó 4.2.3.2, según el que sea apropiado, tomando la temperatura del ambiente gaseoso θ_l como igual a la temperatura del gas en el hueco.

(5) Se pueden usar en el cálculo de $\Delta\theta_{al}$ valores de los coeficientes de transmisión de calor α_c y α_r , determinados mediante ensayos conformes con una norma europea prENV, ENV, prEN o EN,

NOTA – Véase el apartado 1.3.

como alternativa a los valores dados en el Eurocódigo 1: Parte 2-2.

4.2.3.4 Estructuras externas de aleación de aluminio

(1)P La temperatura en estructuras externas de aleación de aluminio se debe determinar teniendo en cuenta:

- el flujo de calor por radiación del compartimento de fuego;
- el flujo de calor por radiación y el flujo de calor por convección de las llamas que proceden de las aperturas;
- la pérdida de calor por radiación y convección de la estructura de aleación de aluminio en la atmósfera ambiente;
- los tamaños y las localizaciones de los elementos estructurales.

(2)P Las pantallas térmicas se pueden disponer en uno, dos o tres lados de un elemento externo de aleación de aluminio en orden a protegerle de la transferencia de calor por radiación.

(3) Las pantallas térmicas pueden estar tanto:

- sujetas directamente a los lados del elemento de aleación de aluminio que están intentando proteger, o
- bastante anchas para apantallar toda esta cara del flujo esperado de calor por radiación.

- (4) Las pantallas térmicas deben tener una integridad que corresponda a la resistencia al fuego requerida para el elemento estructural de aluminio.
- (5) La temperatura en estructuras externas de aluminio protegidas mediante pantallas térmicas debe ser determinada como se especifica en (1), suponiendo que no hay transferencia de calor por radiación a aquellas caras que están protegidas por las pantallas térmicas.
- (6) Los cálculos se pueden basar en estados de condiciones estables resultantes de un balance estacionario de calor usando los métodos dados en el anexo B.
- (7) El proyecto usando el anexo B se debe basar en el modelo dado en el Eurocódigo 1: Parte 2-2 describiendo las condiciones del compartimento de fuego y las llamas que proceden de las aperturas, en las que debe basarse el cálculo de los flujos de calor por radiación y convección.

4.3 Métodos generales de cálculo

4.3.1 Bases

- (1)P Los métodos generales de cálculo pueden usarse para elementos individuales, para subconjuntos o para estructuras completas.
- (2)P Los métodos generales de cálculo se pueden usar con cualquier tipo de sección transversal.
- (3)P Los métodos generales de cálculo deben proporcionar un análisis realista de las estructuras expuestas al fuego. Deben basarse en el comportamiento físico fundamental de tal forma que conduzcan a una aproximación válida del comportamiento esperable del componente estructural en estudio bajo las condiciones de fuego.
- (4)P Los métodos generales de cálculo pueden incluir modelos parciales de cálculo diferentes para la determinación de:
 - a) el desarrollo y la distribución de la temperatura en el interior de los elementos estructurales (modelo de respuesta térmica);
 - b) el comportamiento mecánico de la estructura o de cualquier parte de ella (modelo de respuesta mecánica)
- (5)P Cualquier modo de fallo potencial no cubierto por el método general de cálculo (incluyendo el pandeo local y el fallo por cortadura) debe eliminarse mediante los medios apropiados (detalles constructivos).
- (6)P El método general de cálculo puede usarse asociado a cualquier curva de calentamiento, siempre que las propiedades de los materiales sean conocidas en el rango de temperaturas correspondiente.
- (7)P La validez de cualquier método general de cálculo específico para una situación particular debe acordarse entre el cliente, el proyectista y la autoridad competente.

4.3.2 Respuesta térmica

- (1)P Los métodos generales de cálculo de la respuesta térmica deben estar basados en los principios reconocidos y en las hipótesis de la teoría de la transmisión de calor.
- (2)P Los modelos de respuesta térmica deben considerar:
 - las correspondientes acciones térmicas especificadas en la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2:1995
 - la variación de las propiedades térmicas del material con la temperatura, véase el apartado 3.3.

- (3) Pueden incluirse, cuando sea apropiado, los efectos de exposiciones térmicas no uniformes y de transferencias de calor a componentes adyacentes del edificio.
- (4) De forma conservadora, puede despreciarse la influencia de cualquier contenido de humedad y de cualquier migración de ésta en el interior del material de protección frente al fuego.

4.3.3 Respuesta mecánica

- (1)P Los métodos generales de cálculo de la respuesta mecánica deben estar basados en los principios reconocidos y en las hipótesis de la teoría de la mecánica de las estructuras, teniendo en cuenta los cambios de las propiedades mecánicas con la temperatura.
- (2)P Deben considerarse los efectos de las tensiones y deformaciones unitarias inducidos por la temperatura, tanto los debidos al calentamiento como a las diferencias térmicas.
- (3)P Cuando sea pertinente, la respuesta mecánica del modelo debe también tener en cuenta:
 - los efectos combinados de las acciones mecánicas, imperfecciones geométricas y acciones térmicas;
 - las propiedades mecánicas del material dependientes de la temperatura, véase apartado 3.2;
 - los efectos de la no linealidad geométrica;
 - los efectos de las propiedades no lineales de los materiales, incluyendo los efectos beneficiosos de las cargas y descargas en la rigidez estructural;
 - el lapso térmico transitorio dependiente del creep.
- (4)P Las deformaciones en el estado límite último resultantes por los métodos de cálculo deben ser limitadas, cuanto sea necesario, para asegurar que se mantiene la compatibilidad entre todas las partes de la estructura.
- (5) Si es necesario, el cálculo deberá basarse en el estado límite último más allá del cual las deformaciones calculadas de la estructura podrían causar el fallo debido a la pérdida del adecuado apoyo de uno de los elementos.

ANEXO A (Informativo)

**PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO
NO REFLEJADAS EN LA NORMA ENV 1999-1-1**

Tabla A.1
Valores relativos $k_{0,2,\theta}$ del límite elástico práctico del 0,2% para aleaciones de aluminio a elevada temperatura tras un periodo de dos horas de exposición

Aleación	Estado de entrega	Temperatura °C						
		20	100	150	200	250	300	350
EN AW-3003	O	1,00	1,00	0,90	0,79	0,64	0,46	0,38
EN AW-3003	H14	1,00	1,00	0,76	0,51	0,26	0,16	0,10
EN AW-5086	O	1,00	1,00	0,89	0,78	0,63	0,47	0,29
EN AW-5086	H112	1,00	1,00	0,99	0,91	0,73	0,46	0,30
EN AW-7075	T6	1,00	1,00	0,79	0,43	0,24	0,16	0,10

Como un primer orden de aproximación los valores de $k_{0,2,\theta}$ para la aleación EN AW-3003 pueden ser utilizados para la aleación EN AW-3103.

ANEXO B (Informativo)**TRANSFERENCIA DE CALOR EN LAS ESTRUCTURAS EXTERNAS DE ALUMINIO****B.1 Generalidades****B.1.1 Bases**

- (1) En este anexo B, el compartimento de fuego se supone que está confinado a una sola planta. Todas las ventanas u otras aperturas similares en el compartimento de fuego se supone que son rectangulares.
- (2) Se debe utilizar el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2:1995 para determinar la temperatura del compartimento de fuego, las dimensiones y temperaturas de las llamas sobresalientes de las aperturas, y los parámetros de convección y radiación.
- (3) Se debe distinguir entre elementos no inmersos en la llama y elementos inmersos en la llama, dependiendo de su localización relativa respecto a las aperturas en las paredes del compartimento de fuego.
- (4) Un elemento que no esté inmerso en la llama se supondrá que recibe el calor transferido por radiación desde todas las aperturas en esa cara del compartimento de fuego y desde las llamas sobresalientes de todas estas aperturas.
- (5) Un elemento que esté inmerso en la llama se supondrá que recibe el calor transferido por convección desde el interior de la llama que lo envuelve, más el calor transferido por radiación desde el interior de la llama que lo envuelve y desde las aperturas del compartimento de fuego desde las cuales sobresale. El calor transferido por radiación desde otras llamas y desde otras aperturas puede ser despreciado.

B.1.2 Dimensiones del elemento y caras

- (1) La convención usada para las dimensiones d_1 y d_2 de un elemento y la notación usada para identificar sus cuatro caras se indica en la figura B.1.

B.1.3 Balance de calor

- (1) Para un elemento no inmerso en la llama, la temperatura media del elemento T_M (K) se debe determinar a partir de la solución del siguiente balance térmico:

$$\sigma T_M^4 + \alpha T_M = \Sigma I_z + \Sigma I_f + 293\alpha \quad (\text{B.1})$$

donde

σ es la constante de Stefan Boltzmann ($56,7 \times 10^{-12} \text{ kW/m}^2\text{K}^4$);

α es el coeficiente de transferencia de calor por convección ($\text{kW/m}^2\text{K}$);

I_z es el flujo de calor por radiación desde una llama (kW/m^2);

I_f es el flujo de calor por radiación desde una apertura (kW/m^2).

- (2) El coeficiente de transferencia de calor por convección α se debe obtener del anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2:1995, para la condición que sea apropiada de “corriente de aire no forzada” o de “corriente forzada de aire”, usando una dimensión eficaz de la sección transversal $d = (d_1 + d_2)/2$.

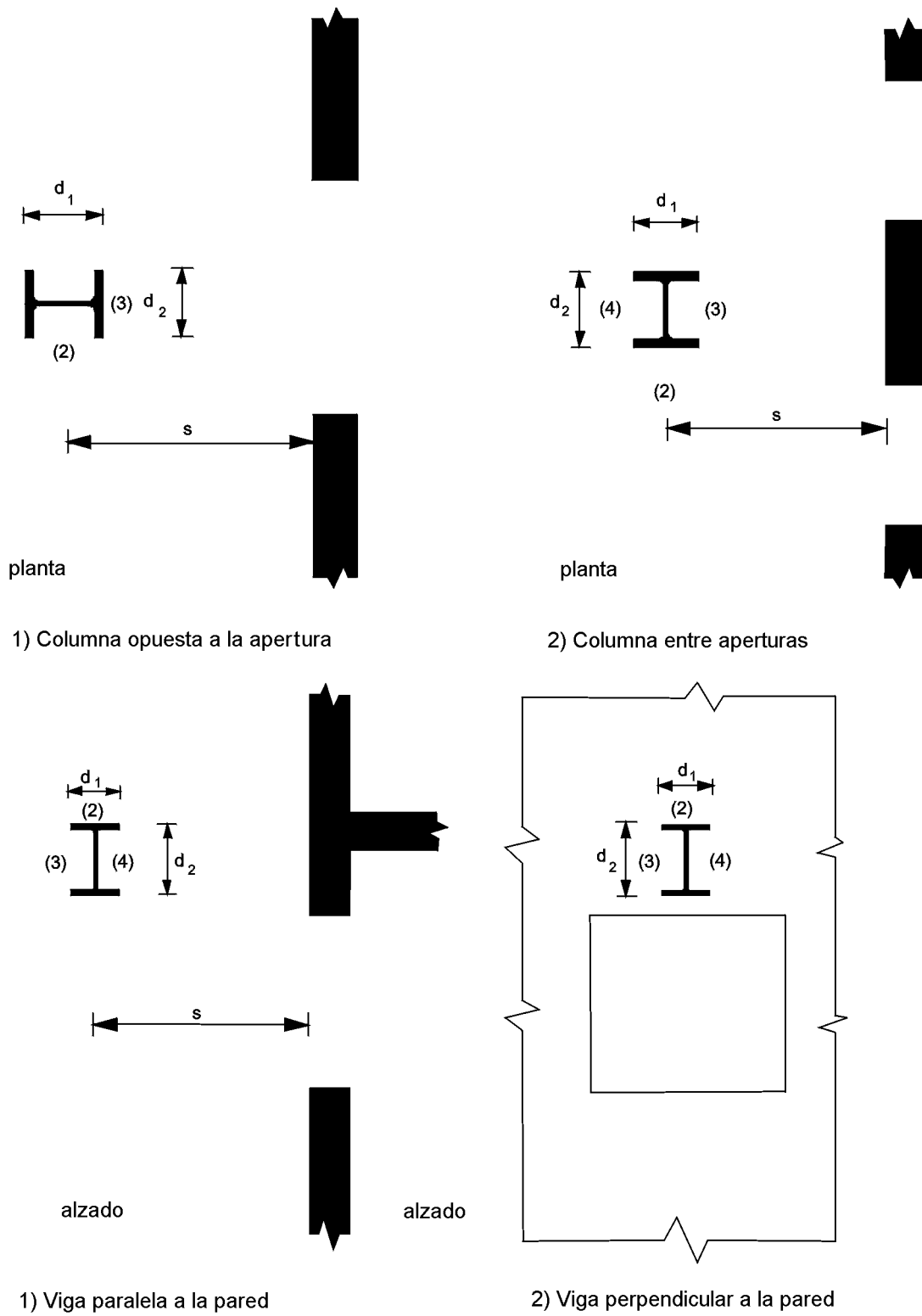


Fig. B.1 – Dimensiones del elemento y caras

- (3) Para un elemento inmerso en la llama, la temperatura media del elemento T_M (K) se debe determinar a partir de la solución del siguiente balance térmico:

$$\sigma T_M^4 + \alpha T_M = I_z + I_f + a T_z \quad (\text{B.2})$$

donde

T_z es la temperatura de la llama (K);

I_z es el flujo de calor por radiación desde la llama (kW/m²);

I_f es el flujo de calor por radiación desde la correspondiente apertura (kW/m²).

- (4) El flujo de calor por radiación I_z desde las llamas debe ser determinado de acuerdo a la situación y tipo de elemento como sigue:
- Columnas no inmersas en la llama: véase el capítulo B.2;
 - Vigas no inmersas en la llama: véase el capítulo B.3;
 - Columnas inmersas en la llama: véase el capítulo B.4;
 - Vigas total o parcialmente inmersas en la llama: véase el capítulo B.5.

Otros casos pueden ser tratados análogamente, utilizando las adaptaciones adecuadas de los tratamientos dados en los apartados B.2 a B.5.

- (5) El flujo de calor por radiación I_f desde una apertura debe ser determinado mediante:

$$I_f = \phi_f \epsilon_f (1 - a_z) \sigma T_f^4 \quad (\text{B.3})$$

donde

ϕ_f es el factor de configuración global del elemento para la transferencia de calor por radiación desde la apertura;

ϵ_f es la emisividad de la apertura;

a_z es la absorcividad de las llamas;

T_f es la temperatura del fuego (K) del anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2.

- (6) La emisividad ϵ_f de una apertura se debe tomar como la unidad, véase anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2.
- (7) La absorcividad a_z de las llamas se debe determinar a partir del capítulo apropiado de B.2 a B.5.

B.1.4 Factores de configuración globales

- (1) El factor de configuración global ϕ_f de un elemento para la transferencia de calor por radiación desde una apertura debe determinarse mediante:

$$\phi_f = \frac{(C_1\phi_{f,1} + C_2\phi_{f,2})d_1 + (C_3\phi_{f,3} + C_4\phi_{f,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2} A \quad (B.4)$$

donde

$\phi_{f,i}$ es el factor de configuración de la cara i del elemento para esa apertura, véase el anexo C;

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 como sigue:

- para una cara protegida: $C_i = 0$
- para una cara desprotegida: $C_i = 1$

- (2) El factor de configuración $\phi_{f,i}$ de una cara del elemento para la cual la apertura no es visible se debe de tomar como nulo.

- (3) El factor de configuración global ϕ_z de un elemento para la transferencia de calor por radiación desde una llama debe determinarse mediante:

$$\phi_z = \frac{(C_1\phi_{z,1} + C_2\phi_{z,2})d_1 + (C_3\phi_{z,3} + C_4\phi_{z,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2} B \quad (B.5)$$

donde

$\phi_{z,i}$ es el factor de configuración de la cara i del elemento para esa llama, véase el anexo C.

- (4) Los factores de configuración $\phi_{z,i}$ de las caras de un elemento individual para la transferencia de calor por radiación desde las llamas pueden estar basados en dimensiones de llamas rectangulares equivalentes. Las dimensiones y localizaciones de los rectángulos equivalentes representando el frente y caras de una llama para este propósito se deben determinar como se da en los capítulos B.2 para columnas y B.3 para vigas. Para todos los demás propósitos, se deben usar las dimensiones de la llama del anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2.
- (5) El factor de configuración $\phi_{z,i}$ para la cara de un elemento desde la cual la llama no es visible se debe tomar como nulo.
- (6) Una cara de un elemento puede estar protegida mediante una pantalla térmica, véase el apartado 4.2.3.3. Una cara de un elemento que esté inmediatamente adyacente a la pared del compartimento también puede ser tratada como protegida, siempre que no haya aperturas en esa parte de la pared. Todas las otras caras del elemento deben ser tratadas como desprotegidas.

B.2 Columna no inmersa en la llama

B.2.1 Transferencia de calor por radiación

- (1) Se debe distinguir entre una columna localizada frente a una apertura y una columna localizada entre aperturas, véase la figura B.2.

- (2) Si la columna está frente a una apertura, véase la figura B.3, el flujo de calor por radiación I_z desde la llama se debe determinar mediante:

$$I_z = \phi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 \quad (\text{B.6})$$

donde

ϕ_z es el factor de configuración global de la columna para el calor de la llama, véase apartado B.1.4;

ε_z es la emisividad de la llama, véase apartado B.2.2;

T_z es la temperatura de la llama (K) del apartado B.2.3.

- (3) Si la columna está entre aperturas, véase la figura B.4, el flujo total de calor por radiación I_z desde las llamas en cada lado se debe determinar mediante:

$$I_z = (\phi_{z,m} \varepsilon_{z,m} + \phi_{z,n} \varepsilon_{z,n}) \sigma T_z^4 \quad (\text{B.7})$$

donde

$\phi_{z,m}$ es el factor de configuración global de la columna para calor desde las llamas en el lado m , véase el apartado B.1.4;

$\phi_{z,n}$ es el factor de configuración global de la columna para calor desde las llamas en el lado n , véase el apartado B.1.4;

$\varepsilon_{z,m}$ es la emisividad total de las llamas en el lado m , véase el apartado B.2.2;

$\varepsilon_{z,n}$ es la emisividad total de las llamas en el lado n , véase el apartado B.2.2.

B.2.2 Emisividad de la llama

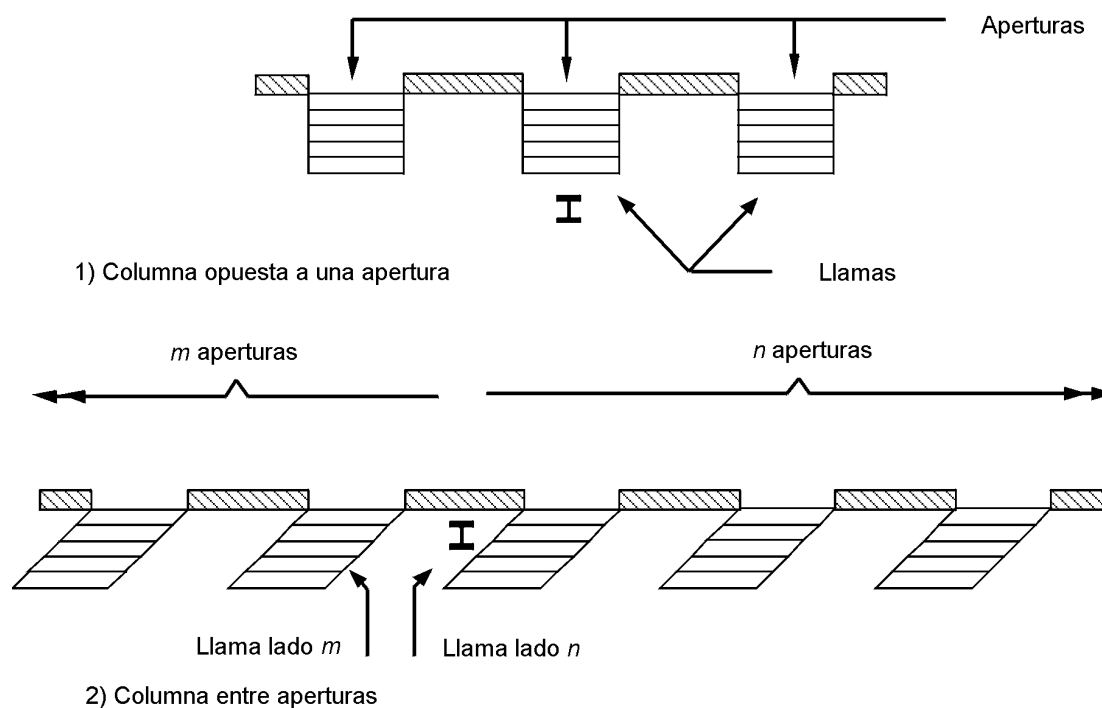
- (1) Si la columna está frente a una apertura, la emisividad de la llama ε_z se debe determinar a partir de la expresión para ε dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2, utilizando el espesor de llama λ en el nivel de la parte superior de las aperturas. Siempre que no haya marquesina o balcón por encima de la apertura λ se puede tomar como sigue:

– para la condición de “corriente de aire no forzada”: $\lambda = 2h/3$ (B.8a)

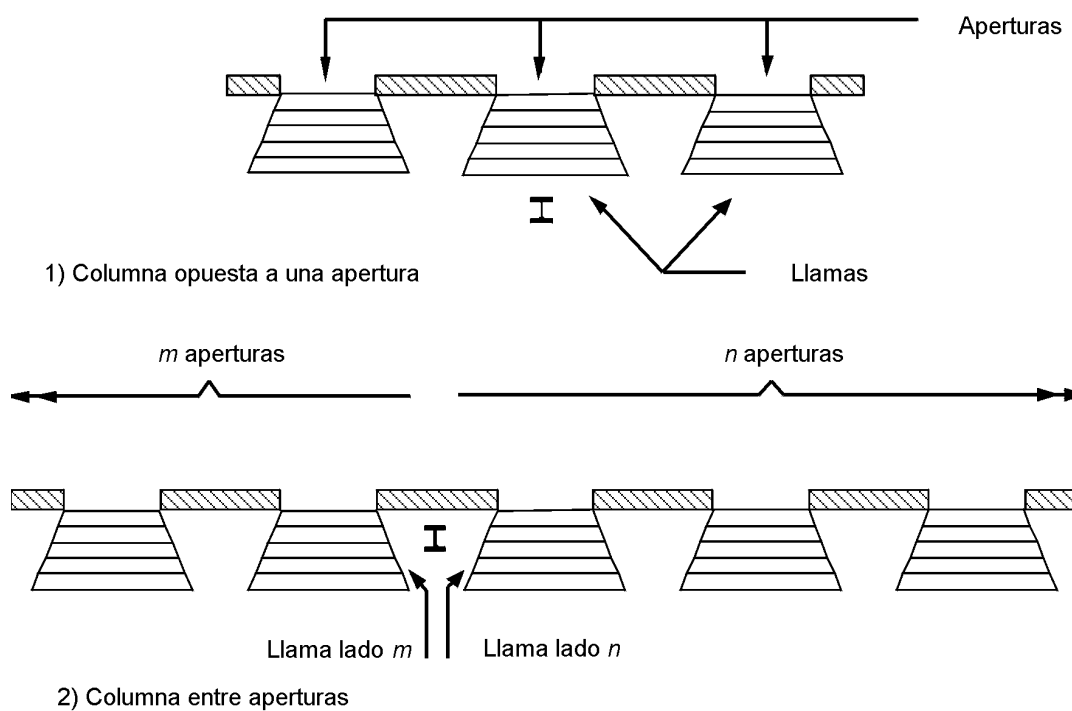
– para la condición de “corriente forzada de aire”: $\lambda = x$ pero $\lambda \leq hx/z$ (B.8b)

donde

h , x y z son como las dadas en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2.

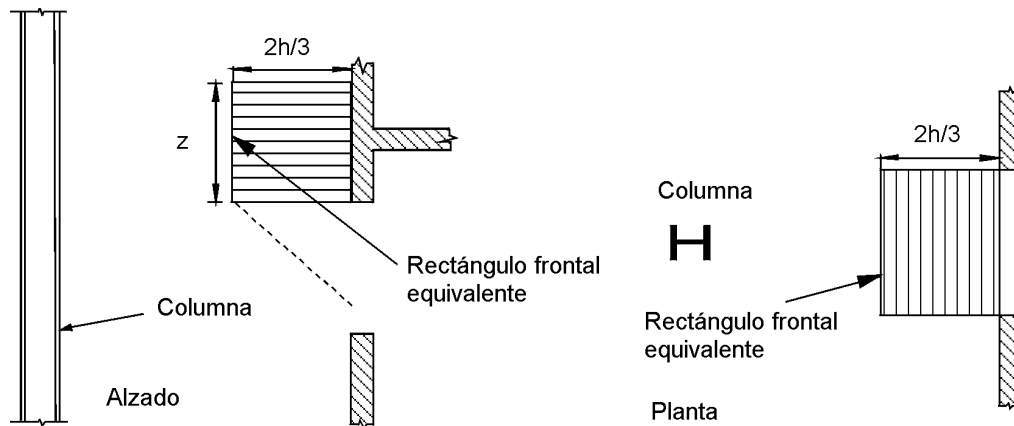


a) Condición de "corriente de aire no forzada"

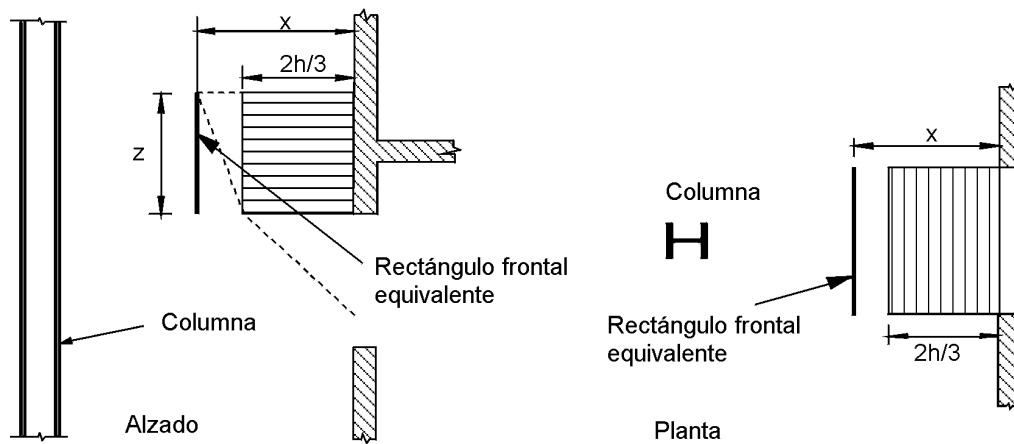


b) Condición de "corriente forzada de aire"

Fig. B.2 – Posiciones de la columna

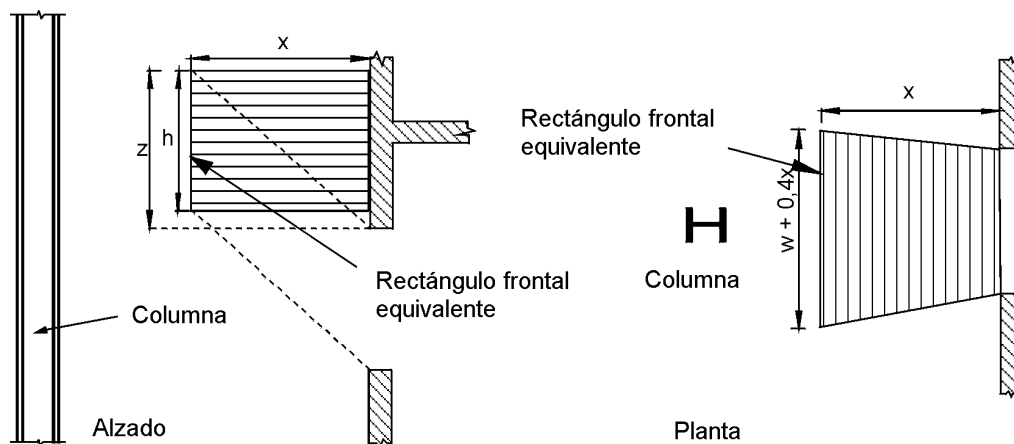


1) Pared por encima y $h < 1,25w$



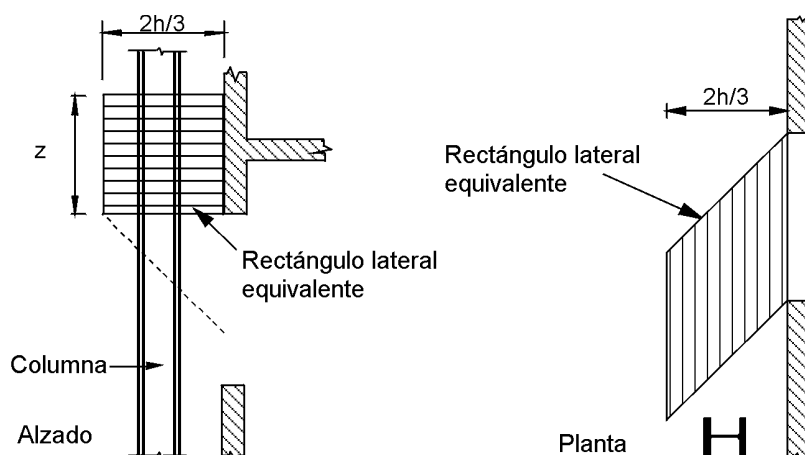
2) Pared por encima y $h > 1,25w$ o sin pared por encima

a) "Corriente de aire no forzada"

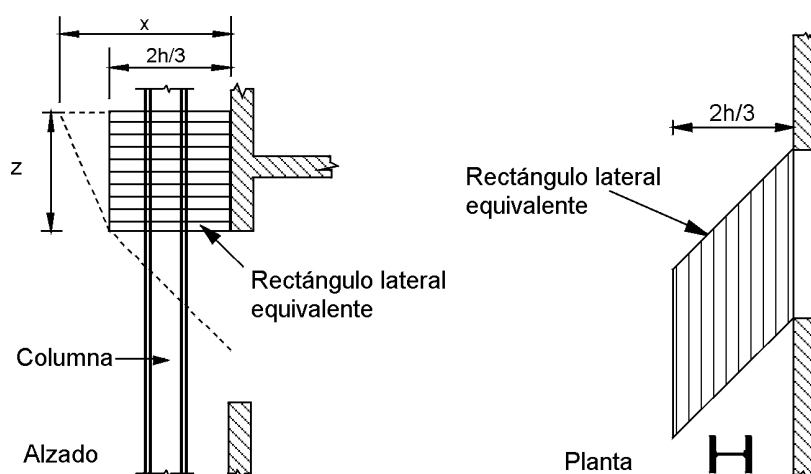


b) "Corriente forzada de aire"

Fig. B.3 – Columna opuesta a una apertura

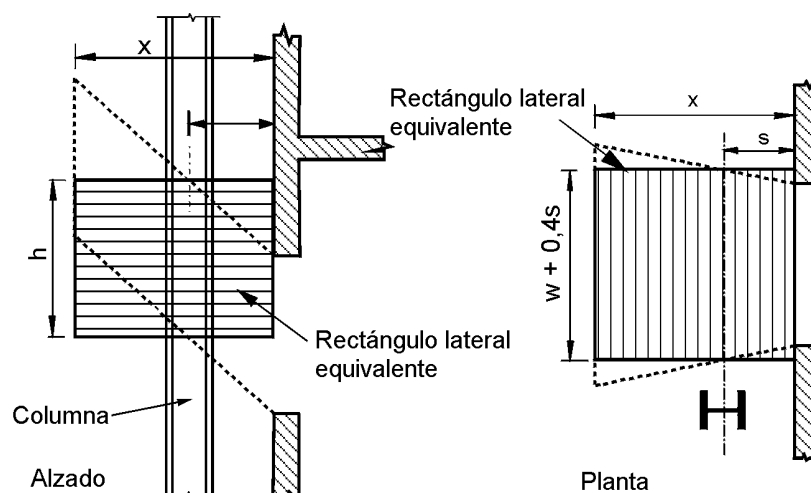


1) Pared por encima y $h < 1,25w$



2) Pared por encima y $h > 1,25w$ o sin pared por encima

a) "Corriente de aire no forzada"



b) "Corriente forzada de aire"

Fig. B.4 – Columna entre aperturas

- (2) Si la columna está entre dos aperturas, las emisividades totales $\varepsilon_{z,m}$ y $\varepsilon_{z,n}$ de las llamas en los lados m y n deben ser determinadas a partir de la expresión para ε dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2 utilizando un valor para el espesor total de la llama, λ , como sigue:

– para el lado m : $\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i C$ (B.9a)

– para el lado n : $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i D$ (B.9b)

donde

m es el número de aperturas en el lado m ;

n es el número de aperturas en el lado n ;

λ_i es el espesor de la llama para la apertura i .

- (3) El espesor de la llama λ_i se debe tomar como sigue:

- para la condición de “corriente de aire no forzada”:

$$\lambda_i = w_i \quad (\text{B.10a})$$

- para la condición de “corriente forzada de aire”:

$$\lambda_i = w_i + 0,4 s \quad (\text{B.10b})$$

donde

w_i es el ancho de la apertura;

s es la distancia horizontal desde el eje de la columna a la pared en el compartimento de fuego, véase figura B.1.

B.2.3 Temperatura de la llama

- (1) La temperatura de la llama T_z debe ser tomada como la temperatura en el eje de la llama obtenida a partir de la expresión para T_z dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2, para la condición que sea apropiada de “corriente de aire no forzada” o la de “corriente forzada de aire”, a una distancia ℓ desde la apertura, medida a lo largo del eje de la llama, como sigue:

- para la condición de “corriente de aire no forzada”: $\ell = h/2$ (B.11a)

- para la condición de “corriente forzada de aire”:

- para una columna frente a una apertura: $\ell = 0$ (B.11b)

- para una columna entre aperturas ℓ es la distancia a lo largo del eje de la llama hasta un punto a una distancia horizontal s de la pared del compartimento de fuego. Siempre que no haya marquesina o balcón por encima de la apertura:

$$\ell = sX/x \quad (\text{B.11c})$$

donde X y x son como las dadas en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2.

B.2.4 Absorcividad de la llama

- (1) Para la condición de “corriente de aire no forzada”, la absorcividad de la llama a_z se debe tomar como nula.
- (2) Para la condición de “corriente forzada de aire”, la absorcividad de la llama a_z se debe tomar como igual a la emisividad ε_z de la llama correspondiente, véase apartado B.2.2.

B.3 Viga no inmersa en la llama

B.3.1 Transferencia de calor por radiación

- (1) En todo el capítulo B.3 se supone que el nivel de la parte inferior de la viga no está por debajo del nivel de la parte superior de las aperturas en el compartimento de fuego.
- (2) Se debe distinguir entre una viga que es paralela a la pared exterior del compartimento de fuego y una viga que es perpendicular a la pared exterior del compartimento de fuego, véase figura B.5.
- (3) Si la viga es paralela a la pared exterior del compartimento de fuego, la temperatura media del elemento T_M se debe determinar para un punto en la longitud de la viga directamente encima del centro de la apertura. Para este caso el flujo de calor por radiación I_z desde la llama se debe determinar mediante:

$$I_z = \phi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 \quad (\text{B.12})$$

donde

ϕ_z es el factor de configuración global para la llama directamente frente a la viga, véase el apartado B.1.4;

ε_z es la emisividad de la llama, véase el apartado B.3.2;

T_z es la temperatura de la llama [K] del apartado B.3.3.

- (4) Si la viga es perpendicular a la pared exterior del compartimento de fuego, la temperatura media en la viga se debe determinar en una serie de puntos cada 100 mm a lo largo de la longitud de la viga. La temperatura media del elemento T_M se debe tomar como el máximo de estos valores. Para este caso el flujo de calor por radiación I_z desde las llamas se debe determinar mediante:

$$I_z = (\phi_{z,m} \varepsilon_{z,m} + \phi_{z,n} \varepsilon_{z,n}) \sigma T_z^4 \quad (\text{B.13})$$

donde

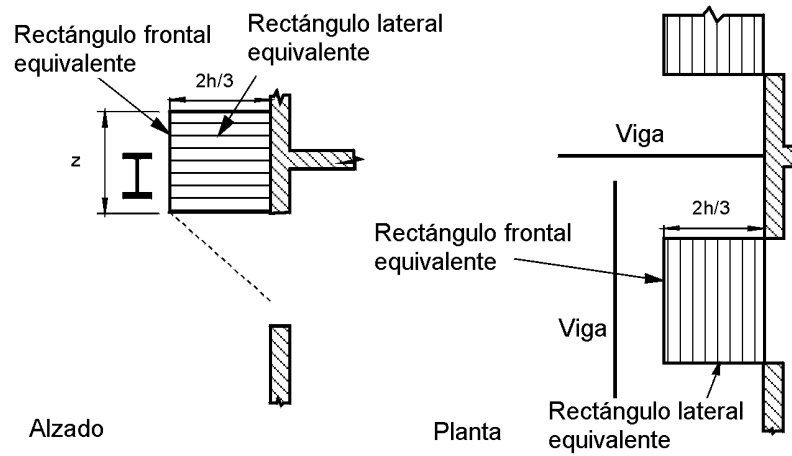
$\phi_{z,m}$ es el factor de configuración global de la viga para calor desde las llamas en el lado m , véase el apartado B.3.2;

$\phi_{z,n}$ es el factor de configuración global de la viga para calor desde las llamas en el lado n , véase el apartado B.3.2;

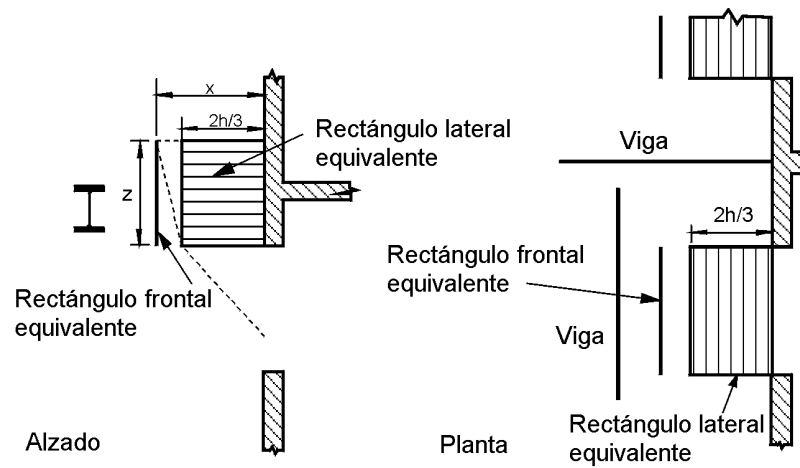
$\varepsilon_{z,m}$ es la emisividad total de las llamas en el lado m , véase el apartado B.3.3;

$\varepsilon_{z,n}$ es la emisividad total de las llamas en el lado n , véase el apartado B.3.3;

T_z es la temperatura de la llama [K], véase el apartado B.3.4.

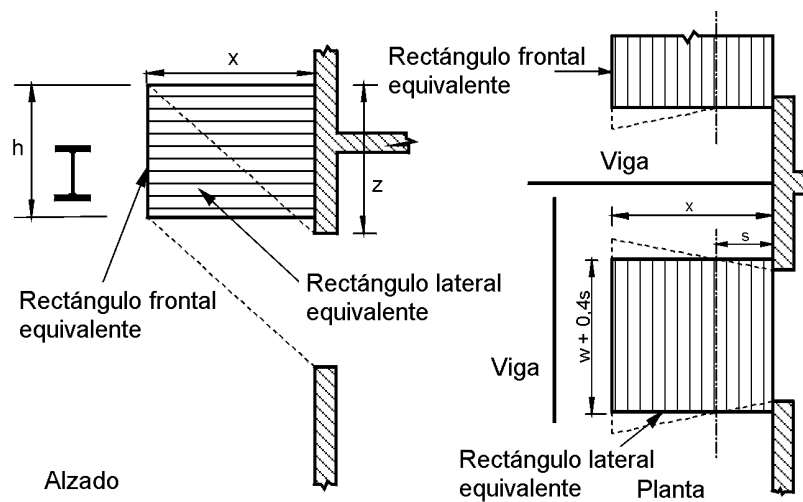


1) Pared por encima y $h < 1,25w$



2) Pared por encima y $h > 1,25w$ o sin pared por encima

a) "Corriente de aire no forzada"



b) "Corriente forzada de aire"

Fig. B.5 – Viga no inmersa en la llama

B.3.2 Emisividad de la llama

- (1) Si la viga es paralela a la pared exterior del compartimento de fuego, por encima de una apertura, la emisividad de la llama ε_z se debe determinar a partir de la expresión para ε dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2, utilizando un valor para el espesor de llama λ en el nivel de la parte superior de las aperturas. Siempre que no haya marquesina o balcón por encima de la apertura λ se puede tomar como sigue:

– para la condición de “corriente de aire no forzada”: $\lambda = 2h/3$ (B.14a)

– para la condición de “corriente forzada de aire”: $\lambda = x$ pero $\lambda \leq hx/z$ (B.14b)

donde

h , x y z son como las dadas en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2.

- (2) Si la viga es perpendicular a la pared exterior del compartimento de fuego, entre dos aperturas, las emisividades totales $\varepsilon_{z,m}$ y $\varepsilon_{z,n}$ de las llamas en los lados m y n deben ser determinadas a partir de la expresión para e dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2 utilizando un valor para el espesor de la llama λ como sigue:

– para el lado m : $\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i E$ (B.15a)

– para el lado n : $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i F$ (B.15b)

donde

m es el número de aperturas en el lado m ;

n es el número de aperturas en el lado n ;

λ_i es la anchura de la apertura i .

- (3) El espesor de la llama λ_i se tomará como sigue:

– Para la condición de “corriente de aire no forzada”: $\lambda_i = w_i$ (B.16a)

– Para la condición de “corriente forzada de aire”: $\lambda_i = w_i + 0,4 s$ (B.16b)

donde

w_i es el ancho de la apertura;

s es la distancia horizontal desde la pared del compartimento de fuego hasta el punto en consideración en la viga, véase la figura B.5.

B.3.3 Temperatura de la llama

- (1) La temperatura de la llama T_z debe ser tomada como la temperatura en el eje de la llama obtenida a partir de la expresión para T_z dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2, para la condición que sea apropiada de “corriente de aire no forzada” o la de “corriente forzada de aire”, a una distancia ℓ desde la apertura, medida a lo largo del eje de la llama, como sigue:

– para la condición de “corriente de aire no forzada”: $\ell = h/2$ (B.17a)

– para la condición de “corriente forzada de aire”:

– para una viga paralela a la pared exterior del compartimento de fuego, por encima de una apertura: $\ell = 0$ (B.17b)

– para una viga perpendicular a la pared exterior del compartimento de fuego entre aperturas, l es la distancia a lo largo del eje de la llama hasta un punto a una distancia horizontal s de la pared del compartimento de fuego. Siempre que no haya marquesina o balcón por encima de la apertura:

$$\ell = sX/x \quad (B.17c)$$

donde X y x son como las dadas en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2.

B.3.4 Absorcividad de la llama

- (1) Para la condición de “corriente de aire no forzada”, la absorcividad de la llama a_z se debe tomar como nula.
- (2) Para la condición de “corriente forzada de aire”, la absorcividad de la llama a_z se debe tomar como igual a la emisividad ε_z de la llama correspondiente, véase el apartado B.3.2.

B.4 Columna inmersa en la llama

- (1) El flujo de calor por radiación I_z desde las llamas se debe determinar mediante:

$$I_z = \frac{(I_{z,1} + I_{z,2})d_1 + (I_{z,3} + I_{z,4})d_2}{2(d_1 + d_2)} G \quad (B.18)$$

con

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_z^4$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_z^4$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma T_o^4$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma T_z^4$$

donde

$I_{z,i}$ es el flujo de calor por radiación desde la llama a la cara i de la columna;

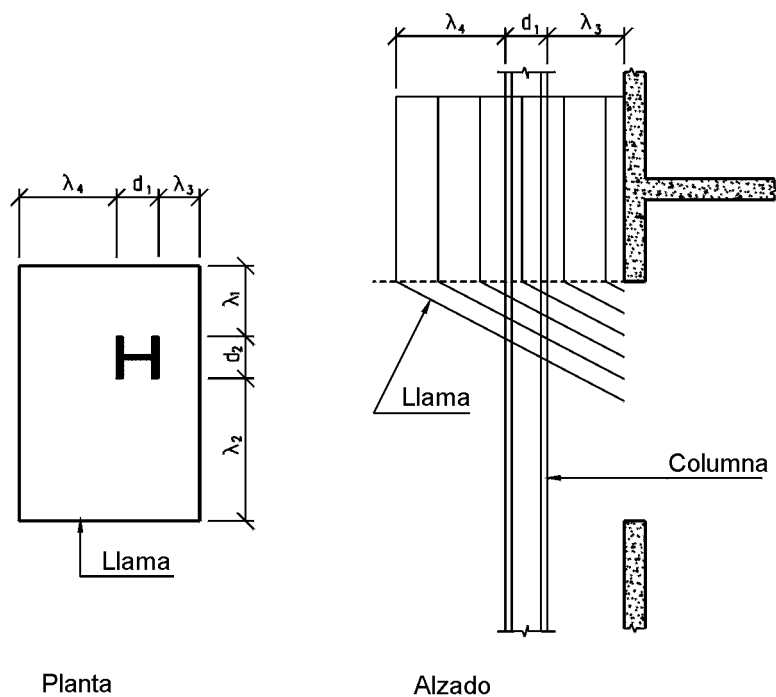
$\varepsilon_{z,i}$ es la emisividad de las llamas con respecto a la cara i de la columna;

i es el indicador de la cara de la columna (1), (2), (3) ó (4);

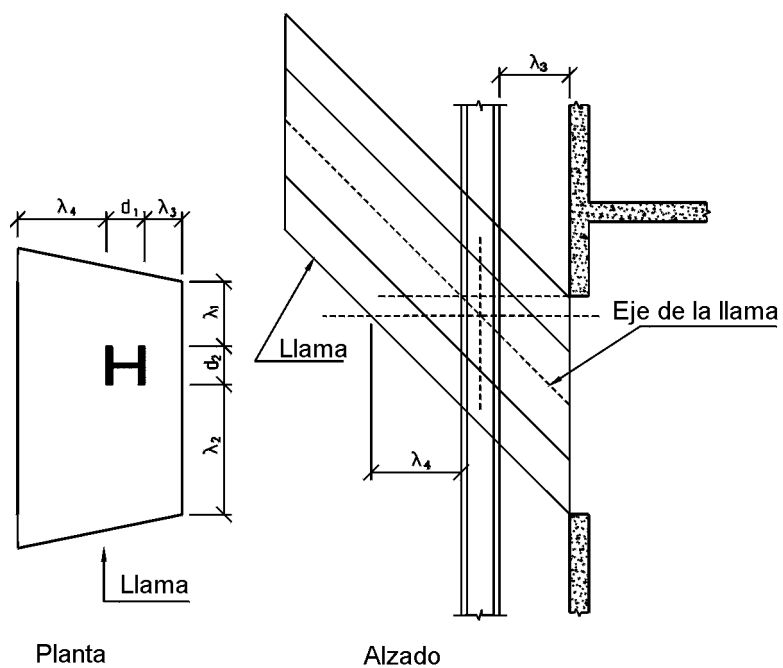
C_i es el coeficiente de protección de la cara i del elemento, véase el apartado B.1.4;

T_z es la temperatura de la llama [K];

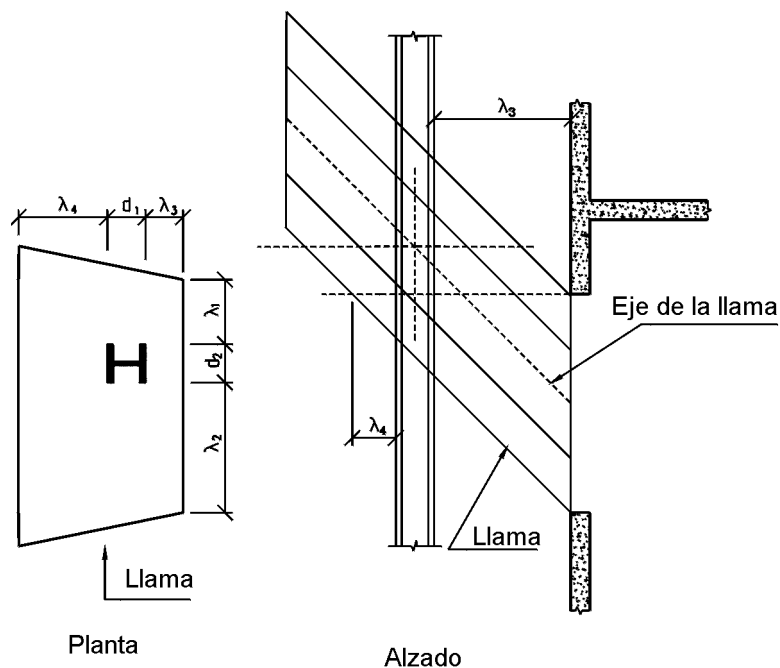
T_o es la temperatura de la llama en la apertura [K] dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2.



a) Condición de “corriente de aire no forzada”



1) El eje de la llama intersecta el eje de la columna por debajo de la parte superior de la apertura



2) El eje de la llama intersecta el eje de la columna por encima de la parte superior de la apertura

b) Condición de “corriente de aire forzada”

Fig. B.6 – Columna inmersa en la llama

- (2) La emisividad de las llamas $\varepsilon_{z,i}$ para cada una de las caras 1, 2, 3 y 4 de la columna se debe determinar a partir de la expresión para ε dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2, utilizando un espesor de la llama λ igual a la dimensión λ_i indicada en la figura B.6 correspondiente a la cara i de la columna.
- (3) Para la condición de “corriente de aire no forzada” se deben usar los valores de λ_i en el nivel de la parte superior de la apertura, véase la figura B.6(a).
- (4) Para la condición de “corriente forzada de aire”, si el nivel de la intersección del eje de la llama y el eje de la columna está por debajo del nivel de la parte superior de la apertura, se deben usar los valores de $\lambda_{\square i}$ en el nivel de la intersección, véase la figura B.6(b)(1). En otros casos se deben usar los valores de $\lambda_{\square i}$ en el nivel de la parte superior de la apertura, véase figura B.6(b)(2), excepto que si $\lambda_4 < 0$ en este nivel, se deben usar los valores en el nivel donde $\lambda_{\square 4} = 0$.
- (5) La temperatura de la llama T_z debe ser tomada como la temperatura en el eje de la llama obtenida a partir de la expresión para T_z dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2, para la condición que sea apropiada de “corriente de aire no forzada” o la de “corriente forzada de aire”, en una distancia ℓ desde la apertura, medida a lo largo del eje de la llama, como sigue:

– para la condición de “corriente de aire no forzada”:

– $\ell = h/2$

(B.19a)

- para la condición de “corriente forzada de aire”, ℓ es la distancia a lo largo del eje de la llama hasta el nivel donde se mide λ_i .

Siempre que no haya balcón o marquesina por encima de la apertura:

$$\ell = (\lambda_3 + 0,5 d_1) X/x \quad \text{pero } \ell \leq 0,5 h X/z \quad (\text{B.19b})$$

donde h , X , x y z son como las dadas en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2.

- (6) La absorcividad a_z de las llamas se debe determinar mediante:

$$a_z = \frac{\varepsilon_{z,1} + \varepsilon_{z,2} + \varepsilon_{z,3}}{3} H \quad (\text{B.20})$$

donde $\varepsilon_{z,1}$, $\varepsilon_{z,2}$ y $\varepsilon_{z,3}$ son las emisividades de la llama para las caras 1, 2 y 3 de la columna.

B.5 Viga total o parcialmente inmersa en la llama

B.5.1 Calor transmitido por radiación

B.5.1.1 Generalidades

- (1) En todo el capítulo B.5 se supone que el nivel de la parte inferior de la viga no está por debajo del nivel de la parte superior de las aperturas adyacentes en el compartimento de fuego.
- (2) Se debe distinguir entre una viga que es paralela a la pared exterior del compartimento de fuego y una viga que es perpendicular a la pared exterior del compartimento de fuego, véase la figura B.7.
- (3) Si la viga es paralela a la pared exterior del compartimento de fuego, su temperatura media T_M se debe determinar para un punto en la longitud de la viga directamente encima del centro de la apertura.
- (4) Si la viga es perpendicular a la pared exterior del compartimento de fuego, el valor de la temperatura media se debe determinar en una serie de puntos cada 100 mm a lo largo de la longitud de la viga. El máximo de estos valores se debe tomar como la temperatura media del elemento metálico T_M .
- (5) El flujo de calor por radiación I_z desde la llama se debe determinar mediante:

$$I_z = \frac{(I_{z1} + I_{z2}) d_1 + (I_{z3} + I_{z4}) d_2}{2 (d_1 + d_2)} I \quad (\text{B.21})$$

donde

$I_{z,i}$ es el flujo de calor por radiación desde la llama a la cara i de la viga;

i es el indicador de cara de viga (1), (2), (3) o (4).

B.5.1.2 Condición de “corriente de aire no forzada”

- (1) Para la condición de “corriente de aire no forzada”, se debe distinguir entre aquellos casos en los que la parte superior de la llama está por encima del nivel de la parte superior de la viga y aquellos en los que está por debajo de este nivel.
- (2) Si la parte superior de la llama está por encima del nivel de la parte superior de la viga:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.22a})$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4 \quad (\text{B.22b})$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.22c})$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.22d})$$

donde

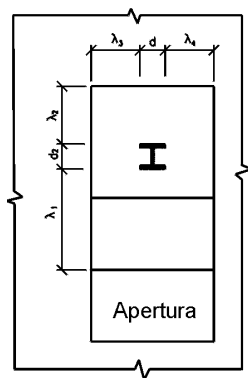
$\varepsilon_{z,i}$ es la emisividad de la llama con respecto a la cara i de la viga, véase el apartado B.5.2;

T_o es la temperatura en la apertura [K] dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2;

$T_{z,1}$ es la temperatura de la llama [K] dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2 en el nivel inferior de la viga;

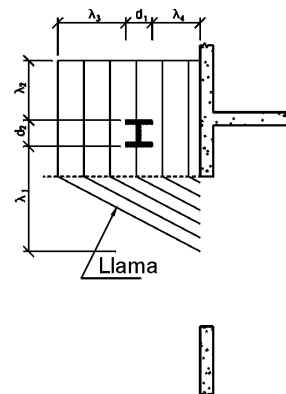
$T_{z,2}$ es la temperatura de la llama [K] dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2 en el nivel superior de la viga.

- (3) En el caso de viga paralela a la pared exterior del compartimento de fuego C_4 se puede tomar como nulo si la viga está inmediatamente adyacente a la pared, véase la figura B.7.



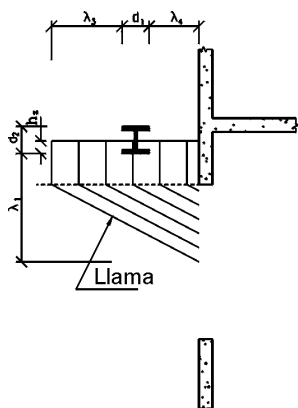
Alzado

1) Viga perpendicular a la pared



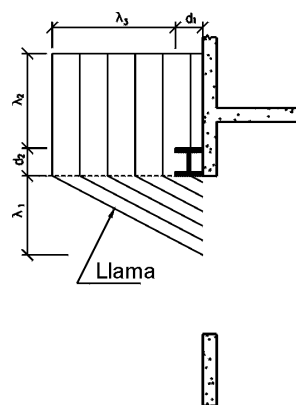
Alzado

2) Viga paralela a la pared



Alzado

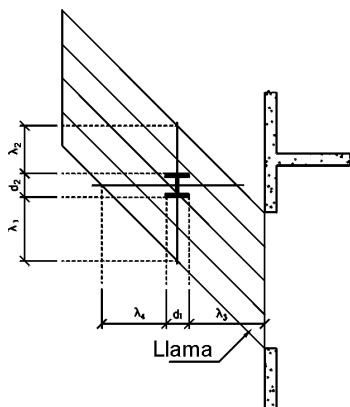
3) Parte superior de la llama por debajo de la parte superior de la viga



Alzado

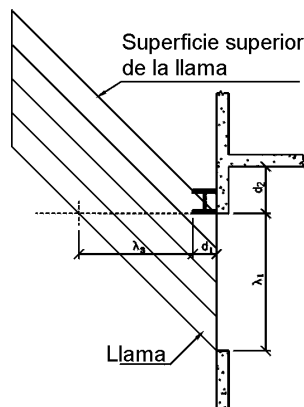
4) Viga inmediatamente adyacente a la pared

a) Condición de "corriente de aire no forzada"



Alzado

1) Viga no adyacente a la pared



Alzado

2) Viga inmediatamente adyacente a la pared

b) Condición de "corriente forzada de aire"

Fig. B.7 – Viga inmersa en la llama

- (4) Si la parte superior de la llama está por debajo del nivel de la parte superior de la viga:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.23a})$$

$$I_{z,2} = 0 \quad (\text{B.23b})$$

$$I_{z,3} = (h_z/d_2) C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_x^4)/2 \quad (\text{B.23c})$$

$$I_{z,4} = (h_z/d_2) C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_x^4)/2 \quad (\text{B.23d})$$

donde

T_x es la temperatura de la llama en la punta de la llama [813 K];

h_z es la altura de la parte superior de la llama por encima de la parte inferior de la viga.

B.5.1.3 Condición de “corriente forzada de aire”

- (1) Para la condición de “corriente forzada de aire”, en el caso de vigas paralelas a la pared exterior del compartimento de fuego se debe distinguir entre aquellas inmediatamente adyacentes a la pared y aquellas no inmediatamente adyacentes a ella, véase la figura B.7.
- (2) Para una viga paralela a la pared, pero no inmediatamente adyacente a ella, o para una viga perpendicular a la pared:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.24a})$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4 \quad (\text{B.24b})$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.24c})$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.24d})$$

- (3) Si la viga es paralela a la pared e inmediatamente adyacente a ella, sólo la cara inferior debe ser considerada como inmersa en la llama pero un lado y la parte superior deben ser tomados como expuestos a la transferencia de calor por radiación desde la superficie superior de la llama, véase la figura B.7(b)(2). Entonces:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.25a})$$

$$I_{z,2} = \phi_{z,2} C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4 \quad (\text{B.25b})$$

$$I_{z,3} = \phi_{z,3} C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.25c})$$

$$I_{z,4} = 0 \quad (\text{B.25d})$$

donde

$\phi_{z,i}$ es el factor de configuración relativo a la superficie superior de la llama, para la cara i de la viga, del anexo C.

B.5.2 Emisividad de la llama

- (1) La emisividad de la llama $\varepsilon_{s,i}$ para cada una de las caras 1, 2, 3 y 4 de la viga se debe determinar a partir de la expresión para ε dada en el anexo C de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-2, utilizando un espesor de la llama λ igual a la dimensión λ_i indicada en la figura B.7 correspondiente a la cara i de la viga.

B.5.3 Absorcividad de la llama

- (1) La absorcividad de la llama a_z se debe determinar mediante:

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

ANEXO C (Informativo)

FACTOR DE CONFIGURACIÓN

- (1) El factor de configuración ϕ se define en el apartado 1.3(1)P. Mide la fracción del calor total por radiación que saliendo de una superficie radiante dada alcanza a una superficie receptora dada. Sus valores dependen del tamaño de la superficie radiante, de la distancia desde la superficie radiante a la superficie receptora y de su orientación relativa.
- (2) En este anexo todas las superficies radiantes se supone que son de forma rectangular. Esto comprende las ventanas y otras aperturas en las paredes del compartimento de fuego y las superficies rectangulares equivalentes de las llamas, véase el apartado B.1.4.
- (3) En el cálculo del factor de configuración para una situación dada, se debe dibujar primero una envolvente rectangular alrededor de la sección transversal del elemento que recibe el calor transferido por radiación, tal como se indica en la figura C.1. El valor de ϕ se debe entonces determinar para el punto medio P de cada cara de este rectángulo.
- (4) El factor de configuración para cada superficie receptora se debe determinar como la suma de las contribuciones de cada una de las zonas en la superficie radiante (normalmente cuatro) que sean visibles desde el punto P en la superficie receptora, como se indica en las figuras C.2 y C.3. Estas zonas se deben definir relativas al punto X donde una línea horizontal perpendicular a la superficie receptora corta al plano que contiene la superficie radiante. No se deben tener en cuenta las contribuciones de aquellas zonas tales como las zonas en sombra en la figura C.3 que no son visibles desde el punto P.
- (5) Si el punto X cae en el exterior de la superficie radiante, el factor de configuración efectivo se debe determinar mediante la adición de las contribuciones de los dos rectángulos que se extienden desde X al lado más lejano de la superficie radiante, restando las contribuciones de los dos rectángulos que se extienden desde X hasta el lado más cercano de la superficie radiante.
- (6) La contribución de cada zona se debe determinar como sigue:
 - superficie receptora paralela a la superficie radiante:

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{(1+a^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{(1+a^2)^{0.5}} \right) + \frac{b}{(1+b^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2)^{0.5}} \right) \right] \quad (C.1)$$

con

$$a = h/s$$

$$b = w/s$$

donde

s es la distancia desde P hasta X;

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

w es el ancho de esa zona.

- superficie receptora perpendicular a la superficie radiante:

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

- superficie receptora en un plano que forma un ángulo θ con la superficie radiante:

$$\begin{aligned} \phi = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1}(a) - \frac{(1-b \cdot \cos \theta)}{(1+b^2-2b \cdot \cos \theta)^{0,5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2-2b \cdot \cos \theta)^{0,5}} \right) \right. \\ \left. + \frac{a \cdot \cos \theta}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0,5}} \left[\tan^{-1} \left(\frac{(b - \cos \theta)}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0,5}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\cos \theta}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0,5}} \right) \right] \right] \quad (C.3) \end{aligned}$$

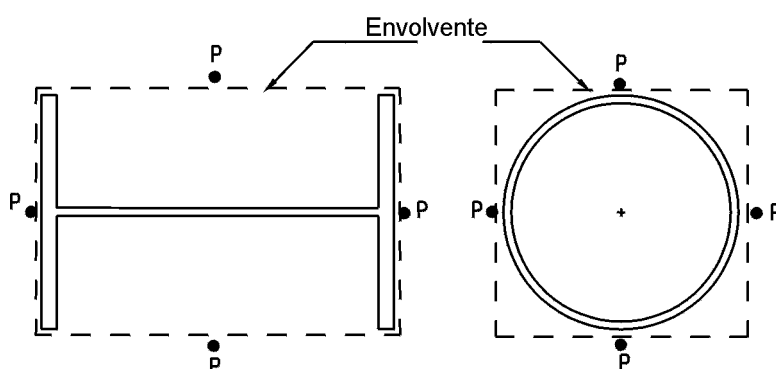


Fig. C.1 – Envolverte de las superficies receptoras

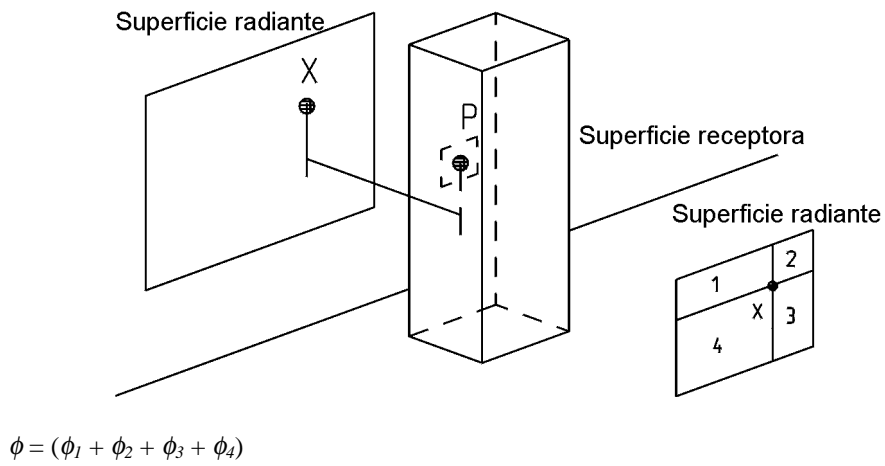


Fig. C.2 Superficie receptora en un plano paralelo al plano de la superficie radiante

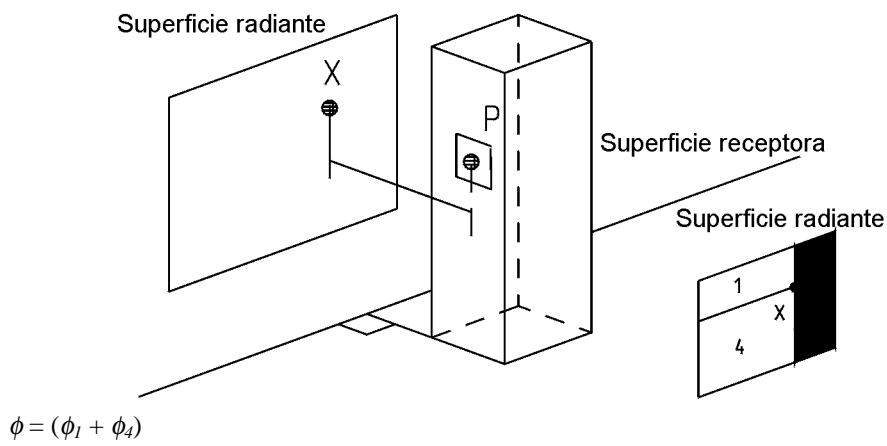


Fig. C.3 – Superficie receptora en un plano perpendicular al plano de la superficie radiante

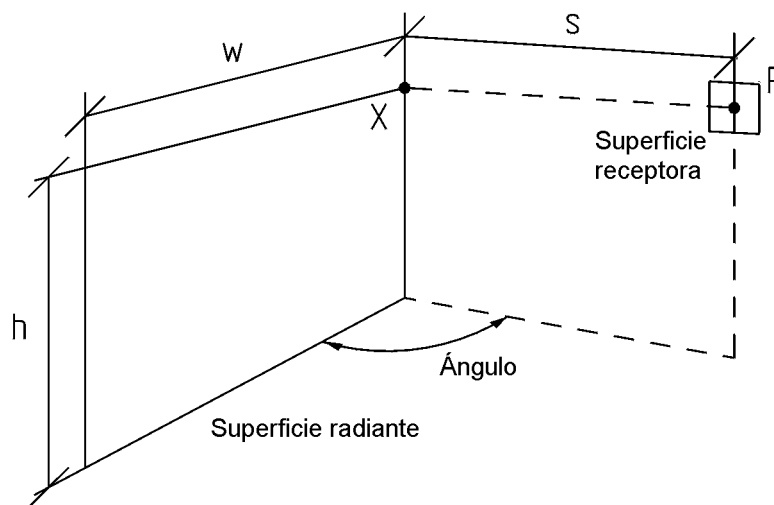


Fig. C.4 – Superficie receptora en un plano que forma un ángulo respecto al plano de la superficie radiante

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32