

Septiembre 2007

TÍTULO

Eurocódigo 1: Acciones en estructuras

Parte 1-4: Acciones generales

Acciones de viento

Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions. Wind actions.

Eurocode 1: Actions sur les structures. Partie 1-4: Actions générales. Actions du vent.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1991-1-4 de abril de 2005.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-ENV 1991-2-4:1998.

ANTECEDENTES

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

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 38786:2007

© AENOR 2007
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

C Génova, 6
28004 MADRID-España

**Asociación Española de
Normalización y Certificación**

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

150 Páginas

Grupo 85

Versión en español

Eurocódigo 1: Acciones en estructuras
Parte 1-4: Acciones generales
Acciones de viento

Eurocode 1: Actions on structures.
Part 1-4: General actions. Wind actions.

Eurocode 1: Actions sur les structures.
Partie 1-4: Actions générales. Actions du vent.

Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke.
Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen. Windlasten.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2004-06-04. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

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

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

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, 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
CENTRO DE GESTIÓN: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

ÍNDICE

| | Página |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------|
| PRÓLOGO | 7 |
| CAPÍTULO 1 GENERALIDADES | 11 |
| 1.1 Objeto y campo de aplicación | 11 |
| 1.2 Normas para consulta | 12 |
| 1.3 Consideraciones..... | 12 |
| 1.4 Distinción entre Principios y Reglas de Aplicación | 12 |
| 1.5 Proyecto asistido por ensayos y mediciones | 12 |
| 1.6 Definiciones..... | 12 |
| 1.7 Símbolos | 13 |
| CAPÍTULO 2 SITUACIONES DE PROYECTO..... | 18 |
| CAPÍTULO 3 MODELIZACIÓN DE LAS ACCIONES DE VIENTO | 18 |
| 3.1 Naturaleza..... | 18 |
| 3.2 Representación de la acción de viento | 18 |
| 3.3 Clasificación de las acciones de viento..... | 18 |
| 3.4 Valores característicos | 18 |
| 3.5 Modelos | 19 |
| CAPÍTULO 4 VELOCIDAD Y PRESIÓN DEL VIENTO | 19 |
| 4.1 Bases de cálculo | 19 |
| 4.2 Valores básicos | 19 |
| 4.3 Velocidad media del viento..... | 20 |
| 4.3.1 Variación con la altura | 20 |
| 4.3.2 Rugosidad del terreno..... | 20 |
| 4.3.3 Orografía del terreno..... | 22 |
| 4.3.4 Estructuras cercanas grandes y de altura considerablemente superior | 23 |
| 4.3.5 Edificaciones situadas a corta distancia entre ellas..... | 23 |
| 4.4 Turbulencias | 23 |
| 4.5 Presión correspondiente a la velocidad de pico | 23 |
| CAPÍTULO 5 ACCIONES DE VIENTO..... | 25 |
| 5.1 Generalidades | 25 |
| 5.2 Presión del viento en estructuras | 25 |
| 5.3 Fuerzas del viento..... | 26 |
| CAPÍTULO 6 EL FACTOR ESTRUCTURAL $c_s c_d$ | 28 |
| 6.1 Generalidades | 28 |
| 6.2 Determinación de $c_s c_d$ | 28 |
| 6.3 Procedimiento detallado | 29 |
| 6.3.1 Factor estructural $c_s c_d$ | 29 |
| 6.3.2 Evaluación en condiciones de servicio | 30 |
| 6.3.3 Bataneo de estela | 30 |
| CAPÍTULO 7 COEFICIENTES DE PRESIÓN Y FUERZA..... | 31 |
| 7.1 Generalidades | 31 |
| 7.1.1 Elección del coeficiente aerodinámico | 31 |
| 7.1.2 Presiones y fuerzas asimétricas y compensadas | 32 |

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.1.3 | Efectos del hielo y la nieve | 32 |
| 7.2 | Coefficientes de presión en edificaciones | 33 |
| 7.2.1 | Generalidades | 33 |
| 7.2.2 | Muros verticales de edificios de planta rectangular | 34 |
| 7.2.3 | Cubiertas planas | 37 |
| 7.2.4 | Cubiertas a un agua | 40 |
| 7.2.5 | Cubiertas a dos aguas | 43 |
| 7.2.6 | Cubiertas a cuatro aguas | 47 |
| 7.2.7 | Cubiertas de vanos múltiples (cubiertas en diente de sierra) | 48 |
| 7.2.8 | Cubiertas abovedadas y cúpulas | 50 |
| 7.2.9 | Presión interna | 51 |
| 7.2.10 | Presiones sobre muros y cubiertas con más de una capa | 53 |
| 7.3 | Marquesinas | 55 |
| 7.4 | Muros autoportantes, barandillas, defensas y carteles de señalización | 62 |
| 7.4.1 | Muros autoportantes y barandillas | 62 |
| 7.4.2 | Factores de abrigo para muros y vallas | 64 |
| 7.4.3 | Carteles de señalización | 64 |
| 7.5 | Coefficientes de fricción | 65 |
| 7.6 | Elementos estructurales con sección rectangular | 67 |
| 7.7 | Elementos estructurales con sección de bordes vivos | 68 |
| 7.8 | Elementos estructurales con sección poligonal regular | 69 |
| 7.9 | Cilindros circulares | 71 |
| 7.9.1 | Coefficientes de presión externa | 71 |
| 7.9.2 | Coefficientes de fuerza | 73 |
| 7.9.3 | Coefficientes de fuerza para cilindros verticales agrupados en filas | 75 |
| 7.10 | Esferas | 75 |
| 7.11 | Estructuras de celosía y andamiajes | 77 |
| 7.12 | Banderas | 80 |
| 7.13 | Esbeltez efectiva λ y factor de efecto cola ψ_λ | 82 |
| CAPÍTULO 8 ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE PUENTES | | 84 |
| 8.1 | Generalidades | 84 |
| 8.2 | Elección del procedimiento de cálculo de la respuesta | 87 |
| 8.3 | Coefficientes de fuerza | 87 |
| 8.3.1 | Coefficientes de fuerza en la dirección x (método general) | 87 |
| 8.3.2 | Fuerza en la dirección x. Método simplificado | 90 |
| 8.3.3 | Fuerzas debida a la acción del viento sobre tableros de puente en la dirección z | 91 |
| 8.3.4 | Fuerzas debidas a la acción del viento en la dirección y | 92 |
| 8.4 | Pilas de puente | 93 |
| 8.4.1 | Direcciones del viento y situaciones de proyecto | 93 |
| 8.4.2 | Efectos del viento en las pilas | 93 |
| ANEXO A (Informativo) EFECTOS DEL TERRENO | | 94 |
| A.1 | Ilustración de la rugosidad superficial de ciertas categorías de terreno | 94 |
| A.2 | Transición entre categorías de terrenos 0, I, II, III y IV | 95 |
| A.3 | Cálculo numérico de los coeficientes de orografía | 96 |
| A.4 | Estructuras cercanas | 102 |
| A.5 | Altura de desplazamiento | 103 |
| ANEXO B (Informativo) PROCEDIMIENTO 1 PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR ESTRUCTURAL c_{scd} | | 104 |
| B.1 | Turbulencia del viento | 104 |
| B.2 | Factor estructural | 105 |

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| B.3 | Número de cargas para la respuesta dinámica | 107 |
| B.4 | Desplazamiento y aceleraciones de servicio para la evaluación en condiciones de servicio de una estructura vertical | 108 |
| ANEXO C (Informativo) PROCEDIMIENTO 2 PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR ESTRUCTURAL $c_s c_d$ | | |
| C.1 | Turbulencia del viento | 110 |
| C.2 | Factor estructural..... | 110 |
| C.3 | Número de cargas para la respuesta dinámica | 111 |
| C.4 | Desplazamiento y aceleraciones de servicio para la evaluación en condiciones de servicio | 111 |
| ANEXO D (Informativo) VALORES DE $c_s c_d$ PARA DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS | | |
| | | 113 |
| ANEXO E (Informativo) DESPRENDIMIENTO DE VÓRTICES E INESTABILIDADES AEROELÁSTICAS..... | | |
| E.1 | Desprendimiento de vórtices | 118 |
| E.1.1 | Generalidades | 118 |
| E.1.2 | Criterio para el desprendimiento de vórtices | 118 |
| E.1.3 | Parámetros básicos para el desprendimiento de vórtices | 118 |
| E.1.4 | Acción debida al desprendimiento de vórtices..... | 122 |
| E.1.5 | Cálculo de la amplitud del viento transversal..... | 122 |
| E.1.6 | Medidas para reducir las vibraciones inducidas por desprendimiento de vórtices..... | 132 |
| E.2 | Galope | 133 |
| E.2.1 | Generalidades | 133 |
| E.2.2 | Velocidad de viento para la iniciación del galope..... | 133 |
| E.2.3 | Galope clásico de cilindros emparejados..... | 135 |
| E.3 | Efecto de galope de interferencia de dos o más cilindros autoestables | 137 |
| E.4 | Divergencia y flameo..... | 137 |
| E.4.1 | Generalidades | 137 |
| E.4.2 | Criterio para estructuras tipo placa | 138 |
| E.4.3 | Velocidad de divergencia | 138 |
| ANEXO F (Informativo) CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS..... | | |
| F.1 | Generalidades | 140 |
| F.2 | Frecuencia fundamental | 140 |
| F.3 | Forma modal fundamental..... | 145 |
| F.4 | Masa equivalente..... | 147 |
| F.5 | Decremento logarítmico del amortiguamiento | 147 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 150 |

PRÓLOGO

Esta Norma Europea EN 1991-1-4:2005 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 250 *Eurocódigos estructurales*, cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de octubre de 2005, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de marzo de 2010.

Este documento sustituye a la Norma ENV 1991-2-4:1995.

CEN/TC 250 es responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

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

Prólogo del programa de Eurocódigos

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

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

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

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

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

| | | |
|---------|---------------|--------------------------------------|
| EN 1990 | Eurocódigos: | Bases para el cálculo de estructuras |
| EN 1991 | Eurocódigo 1: | Acciones en estructuras |
| EN 1992 | Eurocódigo 2: | Proyecto de estructuras de hormigón |
| EN 1993 | Eurocódigo 3: | Proyecto de estructuras de acero |

1) Acuerdo entre la Comisión de la Comunidad Europea y el Comité Europeo de Normalización (CEN) referente al trabajo sobre los EUROCODIGOS para el proyecto de edificios y de obras de ingeniería civil.

| | | |
|---------|---------------|-------------------------------------------|
| EN 1994 | Eurocódigo 4: | Proyecto de estructuras mixtas |
| EN 1995 | Eurocódigo 5: | Proyecto de estructuras de madera |
| EN 1996 | Eurocódigo 6: | Proyecto de estructuras de fábrica |
| EN 1997 | Eurocódigo 7: | Proyecto geotécnico |
| EN 1998 | Eurocódigo 8: | Proyecto de estructuras sismorresistentes |
| EN 1999 | Eurocódigo 9: | Proyecto de estructuras de aluminio |

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

Estatus y campo de aplicación de los Eurocódigos

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

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

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

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

Las normas nacionales de aplicación de los Eurocódigos

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

2) De acuerdo con el artículo 3.3 de la DPC, los documentos interpretativos darán forma concreta a los requisitos esenciales (REs con el fin de establecer los vínculos necesarios entre los requisitos esenciales y los mandatos para la elaboración de normas armonizadas y DITEs/Guías de DITEs.

3) De acuerdo con el artículo 12 de la DPC los documentos interpretativos deben:

- a) dar forma concreta a los requisitos esenciales mediante la armonización de la terminología y de las bases técnicas y la asignación, en su caso, de clases y niveles para cada requisito esencial;
- b) indicar los métodos para relacionar estas clases y niveles con las especificaciones técnicas, por ejemplo, métodos de cálculo y de prueba, reglas técnicas para el cálculo en proyectos, etc.;
- c) servir de referencia para el establecimiento de las normas armonizadas y de guías para los Documentos de Idoneidad Técnica Europeos.

Los Eurocódigos, de facto, juegan un papel similar en el campo del Requisito Esencial nº 1 y en parte del Requisito Esencial nº 2.

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

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

También puede contener:

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

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

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

Información Adicional específica para la Norma EN 1991-1-4

La Norma Europea EN 1991-1-4 proporciona indicaciones para el diseño estructural y las acciones debidas al viento en edificaciones y estructuras de obra civil.

La Norma Europea EN 1991-1-4 está prevista para ser utilizada por los clientes, los proyectistas, los contratistas y las autoridades competentes.

La Norma Europea EN 1991-1-4 está prevista para ser utilizada conjuntamente con la Norma Europea EN 1990, las otras partes de la Norma Europea EN 1991 y las Normas Europeas EN 1992-1999 para el proyecto de las estructuras.

El anexo nacional de la Norma Europea EN 1991-1-4

Esta norma proporciona métodos alternativos, valores y recomendaciones de clases con notas que indican en qué casos se puede utilizar el anexo nacional. Por lo tanto, la norma nacional que complementa la Norma Europea EN 1991-1-4 debería tener un anexo nacional que contenga los Parámetros de Determinación Nacional a utilizar en obras de edificación e ingeniería civil a construir en el país en cuestión.

La elección nacional se permite en la Norma Europea EN 1991-1-4 a través de los apartados siguientes:

1.1 (11) Nota 1

1.5 (2)

4.1 (1)

4.2 (1)P Nota 2

4.2 (2)P Notas 1, 2, 3 y 5

4) Véanse los artículos 3.3 y 12 de la DPC, así como los apartados 4.2, 4.3.1, 4.3.2 y 5.2 del Documento Interpretativo nº 1.

4.3.1 (1) Notas 1 y 2

4.3.2 (1)

4.3.2 (2)

4.3.3 (1)

4.3.4 (1)

4.3.5 (1)

4.4 (1) Nota 2

4.5 (1) Notas 1 y 2

5.3 (5)

6.1 (1)

6.3.1 (1) Nota 3

6.3.2 (1)

7.1.2 (2)

7.1.3 (1)

7.2.1 (1) Nota 2

7.2.2 (1)

7.2.2 (2) Nota 1

7.2.8 (1)

7.2.9 (2)

7.2.10 (3) Notas 1 y 2

7.4.1 (1)

7.4.3 (2)

7.6 (1) Nota 1

7.7 (1) Nota 1

7.8 (1)

7.10 (1) Nota 1

7.11 (1) Nota 2

7.13 (1)

7.13 (2)

8.1 (1) Notas 1 y 2

8.1 (4)

8.1 (5)

8.2 (1) Nota 1

8.3 (1)

8.3.1 (2)

8.3.2 (1)

8.3.3 (1) Nota 1

8.3.4 (1)

8.4.2 (1) Notas 1 y 2

A.2 (1)

E.1.3.3 (1)

E.1.5.1 (1) Notas 1 y 2

E.1.5.1 (3)

E.1.5.2.6 (1) Nota 1

E.1.5.3 (2) Nota 1

E.1.5.3 (4)

E.1.5.3 (6)

E.3 (2)

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1 Objeto y campo de aplicación

(1) La Norma Europea EN 1991-1-4 proporciona indicaciones para la determinación de las acciones naturales del viento para el diseño estructural en las obras de edificación e ingeniería civil en cada una de las áreas cargadas. Esto incluye tanto la estructura completa como partes de ella o elementos unidos a ella, como por ejemplo, componentes, revestimientos y sus anclajes, barreras de seguridad o pantallas antirruído.

(2) Esta parte se aplica a:

- Obras de edificación e ingeniería civil con alturas inferiores a los 200 m, véase también el punto (11).
- Puentes con luces no superiores a 200 m, siempre y cuando se satisfagan los criterios especificados de respuesta dinámica, véase el punto (11) y el apartado 8.2.

(3) El objeto de esta parte es predecir las acciones características debidas al viento en estructuras apoyadas sobre el suelo, así como en sus componentes y accesorios adicionales.

(4) Ciertos aspectos necesarios para determinar correctamente las acciones del viento sobre una estructura dependen de la localización y de la disponibilidad y calidad de la información meteorológica, del tipo de terreno, etc. Es necesario que esta información se proporcione en el anexo nacional, así como en el anexo A, mediante la elección nacional indicada en las notas del texto. Los valores y métodos por defecto se indican en el texto principal, cuando el anexo nacional no proporcione información suficiente.

(5) El anexo A muestra ilustraciones de las categorías de terreno y proporciona reglas para los efectos de la orografía, incluyendo el desplazamiento en altura, cambios de rugosidad, la influencia del paisaje o de estructuras cercanas.

(6) Los anexos B y C proporcionan procedimientos alternativos para el cálculo de los factores estructurales $c_s c_d$.

(7) El anexo D proporciona los factores $c_s c_d$ para diferentes tipos de estructuras.

(8) El anexo E proporciona las reglas para la respuesta inducida por los vórtices y algunas indicaciones acerca de otros efectos aeroelásticos.

(9) El anexo F proporciona las características dinámicas de estructuras con comportamiento lineal.

(10) Esta parte no proporciona indicaciones sobre los efectos térmicos locales en el viento característico, como por ejemplo, la fuerte inversión térmica ártica, el efecto embudo o los tornados.

(11) Esta parte tampoco proporciona indicaciones acerca de los siguientes aspectos:

- acciones del viento en torres en celosía con cordones no paralelos;
- acciones del viento en mástiles y chimeneas atirantadas;
- vibraciones torsionales, por ejemplo, edificios altos con núcleo central de rigidización;
- vibraciones de los tableros de los puentes debidas a turbulencias transversales;
- puentes atirantados;
- vibraciones para las que es necesario considerar otros modos de vibración además del modo fundamental.

NOTA 1 – El anexo nacional puede proporcionar información complementaria acerca de estos aspectos, siempre y cuando esta información no sea contradictoria con esta norma europea.

NOTA 2 – Para las acciones del viento sobre mástiles o chimeneas atirantadas o sobre torres en celosía con cordones no paralelos, véase el anexo A de la Norma Europea EN 1993-3-1.

NOTA 3 – Para las acciones del viento sobre los báculos de iluminación, véase la Norma Europea EN 40.

1.2 Normas para consulta

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

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

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

EN 1991-1-6 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras: Parte 1-6: Acciones generales. Acciones durante la ejecución.*

EN 1991-2 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras: Parte 2: Cargas de tráfico en puentes.*

EN 1993-3-1 – *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero: Parte 3-1: Mástiles y torres.*

1.3 Consideraciones

(1)P Se aplican las consideraciones admitidas en el apartado 1.3 de la Norma Europea EN 1990.

1.4 Distinción entre Principios y Reglas de Aplicación

(1)P Se aplican las reglas establecidas en el apartado 1.4 de la Norma Europea EN 1990.

1.5 Proyecto asistido por ensayos y mediciones

(1) Como complemento a los cálculos, pueden utilizarse ensayos en túnel de viento, así como métodos numéricos probados y/o validados de forma apropiada para obtener información sobre las cargas y la respuesta de la estructura, utilizando modelos apropiados de la estructura y del viento natural.

(2) Se puede obtener la información sobre la acción y la respuesta así como de los parámetros del terreno a partir de datos a escala real.

NOTA – El anexo nacional puede proporcionar indicaciones sobre el proyecto asistido por ensayos y mediciones.

1.6 Definiciones

Para los fines de esta norma europea, se aplican las definiciones dadas en las Normas Internacionales ISO 2394, ISO 3898 e ISO 8930, así como las siguientes. Adicionalmente, para los fines específicos de esta norma europea se proporciona una lista básica de definiciones en el apartado 1.5 de la Norma Europea EN 1990.

1.6.1 velocidad básica fundamental del viento: Es la velocidad media del viento durante 10 min con una probabilidad anual de ser excedida de 0,02, independientemente de su dirección, medida a una altura de 10 m sobre un terreno plano abierto y teniendo en cuenta los efectos de la altitud (en caso necesario).

1.6.2 velocidad básica del viento: Es la velocidad básica fundamental del viento modificada para tener en cuenta la dirección del viento considerado y la estación (en caso necesario).

1.6.3 velocidad media del viento: Es la velocidad básica del viento modificada para tener en cuenta el efecto de la rugosidad del terreno y su orografía.

1.6.4 coeficiente de presión: Los coeficientes de presión externa proporcionan el efecto del viento sobre las superficies externas de los edificios, los coeficientes de presión interna proporcionan el efecto del viento sobre las superficies internas de los edificios.

Los coeficientes de presión exterior se dividen en coeficientes globales y locales. Los coeficientes locales proporcionan los coeficientes de presión para áreas cargadas iguales o menores a 1 m^2 , por ejemplo, para el proyecto de pequeños elementos o anclajes. Los coeficientes globales proporcionan los coeficientes de presión para áreas cargadas de más de 10 m^2 .

Los coeficientes de presión neta proporcionan el efecto resultante del viento sobre una estructura, elemento estructural o componente por unidad de área.

1.6.5 coeficiente de fuerza: Los coeficientes de fuerza proporcionan el efecto general del viento sobre una estructura, elemento estructural o componente, considerado en su totalidad, incluyendo la fricción, siempre y cuando no se excluya específicamente.

1.6.6 factor de respuesta de fondo: El factor de respuesta de fondo tiene en cuenta la falta de correlación completa de la presión sobre la superficie de la estructura.

1.6.7 factor de respuesta de resonancia: El factor de respuesta de resonancia tiene en cuenta la turbulencia de la resonancia con el modo de vibración de la estructura.

1.7 Símbolos

(1) Para los fines de esta norma europea se aplican los siguientes símbolos

NOTA — La notación usada se basa en la Norma Internacional ISO 3898:1999. En esta parte el punto en las expresiones numéricas implica el signo de multiplicación. Esta notación se ha empleado con objeto de evitar confusiones con expresiones funcionales.

(2) El apartado 1.6 de la Norma Europea EN 1990 proporciona una lista básica de notaciones. Las siguientes notaciones son específicas de la Norma Europea EN 1991-1-4.

Letras mayúsculas latinas

| | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|
| A | área |
| A_{fr} | área afectada por el viento |
| A_{ref} | área de referencia |
| B^2 | factor de respuesta de fondo |
| C | factor de carga de viento en puentes |
| E | módulo de Young |
| F_{fr} | fuerza de fricción resultante |
| F_j | fuerza de excitación de vórtice sobre un punto j de la estructura |
| F_w | fuerza de viento resultante |
| H | altura de un elemento topográfico |
| I_v | intensidad de la turbulencia |
| K | factor de forma modal, parámetro de forma |

| | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| K_{iv} | factor de interferencia por desprendimiento de vórtices |
| K_{rd} | factor de reducción para barandillas |
| K_w | factor de longitud de correlación |
| K_x | coeficiente adimensional |
| L | longitud del vano del puente, escala integral de longitud de turbulencia |
| L_d | longitud real de la pendiente a sotavento |
| L_e | longitud efectiva de la pendiente a barlovento |
| L_j | longitud de correlación |
| L_u | longitud real de la pendiente a barlovento |
| N | número de ciclos causados por el desprendimiento de vórtices |
| N_g | número de cargas para la respuesta a la ráfaga |
| R^2 | parte resonante de la respuesta |
| Re | número de Reynolds |
| R_h, R_b | admitancia aerodinámica |
| S | acción de viento |
| Sc | número de Scruton |
| S_L | función de densidad espectral de potencia adimensional |
| St | número de Strouhal |
| W_s | peso de las partes estructurales que contribuyen a la rigidez de una chimenea |
| W_t | peso total de una chimenea |

Letras latinas minúsculas

| | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a_G | factor de inestabilidad de galope |
| a_{IG} | parámetro de estabilidad combinada para el galope de interferencia |
| b | anchura de la estructura (la longitud de la superficie perpendicular a la dirección del viento si no se especifica otra cosa) |
| c_{alt} | factor de altitud |
| c_d | coeficiente dinámico |
| c_{dir} | factor direccional |
| $c_e(z)$ | coeficiente de exposición |
| c_f | coeficiente de fuerza |
| $c_{f,0}$ | coeficiente de fuerza en estructuras o elementos estructurales sin flujo libre de cola (esbeltez infinita) |
| $c_{f,l}$ | coeficiente de fuerza de sustentación |
| c_{fr} | coeficiente de rozamiento |

| | |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| c_{lat} | coeficiente de excitación aerodinámica |
| c_M | coeficiente de momento |
| c_p | coeficiente de presión |
| c_{prob} | factor de probabilidad |
| c_r | factor de rugosidad |
| c_o | coeficiente topográfico |
| c_s | factor de escala |
| c_{season} | factor estacional |
| d | profundidad de la estructura (la longitud de la superficie paralela a la dirección del viento si no se especifica otra cosa) |
| e | excentricidad de una fuerza o distancia al borde |
| f_L | frecuencia adimensional |
| h | altura de la estructura |
| h_{ave} | altura de la obstrucción |
| h_{dis} | altura de desplazamiento |
| k | rugosidad equivalente |
| k_p | factor de pico |
| k_r | factor del terreno |
| k_Θ | rigidez torsional |
| l | longitud de una estructura horizontal |
| m | masa por unidad de longitud |
| m_1 | masa equivalente por unidad de longitud |
| n_i | frecuencia natural del modo i de la estructura |
| $n_{1,x}$ | frecuencia fundamental de vibración en la dirección del viento |
| $n_{1,y}$ | frecuencia fundamental de vibración en la dirección perpendicular al viento |
| n_0 | frecuencia de ovalización |
| p | probabilidad anual de excedencia |
| q_b | presión correspondiente a la velocidad media de referencia (básica) |
| q_p | presión correspondiente a la velocidad de pico |
| r | radio |
| s | factor; coordenada |
| t | tiempo medio de la velocidad de referencia del viento, espesor de placa |
| v_{CG} | velocidad del viento para la iniciación del galope |

| | |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| v_{CIG} | velocidad crítica de viento para el galope de interferencia |
| v_{crit} | velocidad crítica de viento para el desprendimiento de vórtices |
| v_{div} | velocidad del viento para la divergencia |
| v_m | velocidad media del viento |
| $v_{b,0}$ | valor fundamental de la velocidad básica del viento |
| v_b | velocidad básica de viento |
| w | presión debida al viento |
| x | distancia horizontal de un lugar desde la cima de una cresta |
| $x\text{-dirección}$ | dirección horizontal, perpendicular al tramo |
| $y\text{-dirección}$ | dirección horizontal, paralela al tramo |
| $y_{\text{máx.}}$ | amplitud máxima perpendicular al viento a la velocidad crítica del viento |
| z | altura sobre el suelo |
| z_{ave} | altura media |
| $z\text{-dirección}$ | dirección vertical |
| z_0 | longitud de rugosidad |
| z_e, z_i | altura de referencia para la acción externa del viento, presión interna |
| z_g | distancia desde el suelo al elemento considerado |
| $z_{\text{máx.}}$ | altura máxima |
| $z_{\text{mín.}}$ | altura mínima |
| z_s | altura de referencia para la determinación del factor estructural |

Letras mayúsculas griegas

| | |
|--------------|----------------------------------------------------|
| Φ | Pendiente a barlovento |
| $\Phi_{1,x}$ | Forma modal fundamental en la dirección del viento |

Letras minúsculas griegas

| | |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| α_G | parámetro de inestabilidad de galope |
| α_{IG} | parámetro de estabilidad combinado para el galope de interferencia |
| δ | decremento logarítmico del amortiguamiento |
| δ_a | decremento logarítmico del amortiguamiento aerodinámico |
| δ_d | decremento logarítmico del amortiguamiento debido a dispositivos especiales |
| δ_s | decremento logarítmico del amortiguamiento estructural |
| ε | coeficiente |

| | |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ε_0 | factor de ancho de banda |
| ε_1 | factor de frecuencia |
| η | variable |
| φ | relación de solidez, obstrucción (bloqueo) de una marquesina |
| λ | relación de esbeltez |
| μ | relación de abertura, permeabilidad de una capa |
| ν | frecuencia media de oscilación; coeficiente de Poisson; viscosidad cinemática |
| θ | ángulo de torsión; dirección del viento |
| ρ | densidad del aire |
| σ_v | desviación típica de la turbulencia |
| $\sigma_{a,x}$ | desviación típica de la aceleración en la dirección del viento |
| ψ_{mc} | factor de reducción para marquesinas en dientes de sierra |
| ψ_r | factor de reducción del coeficiente de fuerza para secciones cuadradas con las esquinas redondeadas |
| ψ_λ | factor de reducción del coeficiente de fuerza para elementos estructurales con efecto cola |
| $\psi_{\lambda\alpha}$ | factor de efecto cola para cilindros |
| ψ_s | factor de abrigo para muros y vallas |
| ζ | exponente de forma modal |

Índices

| | |
|------|----------------------------------------------------------------------|
| crit | crítico |
| e | externo, exposición |
| fr | rozamiento |
| i | interno; número del modo |
| j | número actual del incremento de superficie o punto de una estructura |
| m | media |
| p | pico; parapeto |
| ref | referencia |
| v | velocidad del viento |
| x | dirección paralela al viento |
| y | dirección perpendicular al viento |
| z | dirección vertical |

CAPÍTULO 2 SITUACIONES DE PROYECTO

(1)P Las acciones de viento se deben determinar para cada situación de proyecto identificada de acuerdo con el apartado 3.2 de la Norma Europea EN 1990.

(2) De acuerdo con el punto (3)P del apartado 3.2 de la Norma Europea EN 1990, se deberían tener en cuenta otras acciones (tales como la nieve, el tráfico o el hielo) que modifiquen la acción del viento.

NOTA — Véanse las Normas Europeas EN 1991-1-3, EN 1991-2 y el proyecto de Norma Internacional ISO FDIS12494.

(3) De acuerdo con el punto (3)P del apartado 3.2 de la Norma Europea EN 1990, se deberían tener en cuenta los cambios de configuración de la estructura debidos a las fases de ejecución (tales como las diferentes formas de la estructura en las diferentes etapas, las características dinámicas, etc.) que puedan modificar la acción de viento.

NOTA — Véase la Norma Europea EN 1991-1-6.

(4) Cuando en el proyecto se suponga que las puertas y ventanas estarán cerradas en situación de tormenta, el efecto de considerar estos elementos abiertos se debería considerar como una situación accidental de proyecto.

NOTA — Véase el punto (2)P del apartado 3.2 de la Norma Europea EN 1990.

(5) Se debería considerar el efecto de la fatiga debida a las acciones de viento en las estructuras susceptibles de sufrir esos efectos.

NOTA — El número de ciclos de carga se puede obtener en los anexos B, C y E.

CAPÍTULO 3 MODELIZACIÓN DE LAS ACCIONES DE VIENTO

3.1 Naturaleza

(1) Las acciones de viento fluctúan con el tiempo y actúan directamente como presiones sobre las superficies exteriores de las estructuras cerradas y, debido a la porosidad de la superficie exterior, también actúan indirectamente en las superficies internas. También pueden actuar directamente en las superficies internas de las estructuras abiertas. Las presiones actúan sobre áreas de la superficie produciendo fuerzas normales a la superficie de la estructura o de los elementos del revestimiento individuales. Cuando el viento barre grandes áreas de la estructura, las fuerzas de rozamiento tangenciales pueden ser importantes.

3.2 Representación de la acción de viento

(1) La acción del viento se representa por un conjunto simplificado de presiones o fuerzas cuyos efectos son equivalentes a los efectos extremos del viento turbulento.

3.3 Clasificación de las acciones de viento

(1) Salvo especificación en contra, las acciones de viento se deberían considerar como acciones fijas variables, véase el apartado 4.1.1 de la Norma Europea EN 1990.

3.4 Valores característicos

(1) Los valores de las acciones de viento calculadas utilizando la Norma Europea EN 1991-1-4 son valores característicos (véase el apartado 4.1.2 de la Norma Europea EN 1990). Estos se determinan a partir de los valores básicos de la velocidad de viento o de la presión del viento. De acuerdo con el punto (7)P del apartado 4.1.2 de la Norma Europea EN 1990, los valores básicos son valores característicos que tienen probabilidades anuales de ser excedidos de 0,02, lo que es equivalente a un período de retorno medio de 50 años.

NOTA — Todos los coeficientes o modelos, empleados para obtener las acciones del viento de los valores básicos, se escojen para que la probabilidad de las acciones calculadas del viento no excedan la probabilidad de estos valores básicos.

3.5 Modelos

(1) El efecto del viento sobre la estructura (es decir, la respuesta de la estructura), depende del tamaño, forma y propiedades dinámicas de la estructura. Esta norma cubre la respuesta dinámica a las turbulencias en la dirección del viento en resonancia con las vibraciones en la dirección del viento de un modo fundamental de flexión de signo constante.

La respuesta de la estructura se debería calcular de acuerdo con lo especificado en el capítulo 5 a partir de la presión correspondiente a la velocidad de pico, q_p , a la altura de referencia y en campo abierto, de los coeficientes de fuerza y de presión y del factor estructural $c_s c_d$ (véase el capítulo 6). q_p depende del clima del lugar, la rugosidad del terreno, la orografía y la altura de referencia. q_p es igual a la presión correspondiente a la velocidad media más la contribución de las fluctuaciones rápidas de presión.

(2) Se debería considerar la respuesta aeroelástica de la estructura en el caso de estructuras flexibles, tales como cables, mástiles, chimeneas y puentes.

NOTA — El anexo E proporciona indicaciones simplificadas para la respuesta aeroelástica.

CAPÍTULO 4 VELOCIDAD Y PRESIÓN DEL VIENTO

4.1 Bases de cálculo

(1) La velocidad y presión del viento se componen de una componente media y una componente variable.

La velocidad media del viento v_m debería determinarse a partir de la velocidad básica del viento v_b , que depende del clima del lugar tal como se describe en el apartado 4.2, y de la variación de la altura del viento determinada a partir de la rugosidad del terreno y la orografía, tal como indica el apartado 4.3. La presión correspondiente a la velocidad de pico se determina en el apartado 4.5.

La componente variable del viento se representa por la intensidad de la turbulencia definida en el apartado 4.4.

NOTA — El anexo nacional puede proporcionar información climática nacional a partir de la cual pueden obtenerse directamente la velocidad media del viento v_m , la presión correspondiente a la velocidad de pico q_p y otros valores adicionales para las categorías de terreno consideradas.

4.2 Valores básicos

(1)P El valor fundamental de la velocidad básica del viento, $v_{b,0}$, es la velocidad característica media del viento medida durante 10 min, independientemente de la dirección del viento y la época del año, a 10 m sobre el nivel del suelo, en campo abierto, con vegetación baja como la hierba, y con obstáculos aislados con una separación de al menos 20 veces la altura de los obstáculos.

NOTA 1 — Este tipo de terreno corresponde a la categoría II de la tabla 4.1.

NOTA 2 — El valor fundamental de la velocidad básica del viento, $v_{b,0}$, se puede proporcionar en el anexo nacional.

(2)P La velocidad básica del viento debe determinarse mediante la expresión (4.1).

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.1)$$

donde

v_b es la velocidad básica del viento, definida en función de la dirección del viento y la época del año a 10 m de altura de un terreno de categoría II;

$v_{b,0}$ es el valor fundamental de la velocidad básica del viento, véase el punto (1)P;

c_{dir} es el factor direccional, véase la nota 2;

c_{season} es el factor estacional, véase la nota 3.

NOTA 1 – Cuando la influencia de la altitud sobre la velocidad básica del viento, v_b , no se incluya en el valor fundamental especificado, $v_{b,0}$, en el anexo nacional se puede aportar un procedimiento para tomarla en consideración.

NOTA 2 – El valor del factor direccional, c_{dir} , para diferentes direcciones de viento, se podrá obtener en el anexo nacional. El valor recomendado es 1,0.

NOTA 3 – El valor del factor estacional, c_{season} , se puede proporcionar en el anexo nacional. El valor recomendado es 1,0.

NOTA 4 – La velocidad media del viento durante 10 min y que tiene una probabilidad p anual de ser superada, se determina multiplicando la velocidad básica del viento v_b dada en el punto (2)P del apartado 4.2 por el factor de probabilidad, c_{prob} , dado por la expresión (4.2). Véase la Norma Europea EN 1991-1-6.

$$c_{\text{prob}} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n \quad (4.2)$$

donde

K es el parámetro de forma que depende del coeficiente de variación de la distribución de los valores extremos considerada;

n es el exponente.

NOTA 5 – Los valores de K y n se pueden proporcionar en el anexo nacional. Los valores recomendados son 0,2 para K y 0,5 para n .

(3) Para las estructuras temporales y en todas las estructuras en fase de ejecución, se puede utilizar el factor estacional c_{season} . Para estructuras transportables, que pueden utilizarse en cualquier época del año, el factor c_{season} debería tomarse igual a 1,0.

NOTA – Véase también la Norma Europea EN 1991-1-6.

4.3 Velocidad media del viento

4.3.1 Variación con la altura

(1) La velocidad media del viento $v_m(z)$ a una altura z por encima del terreno, depende de la rugosidad y la orografía del terreno, y de la velocidad básica del viento, v_b , y se debería determinar mediante la expresión (4.3)

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (4.3)$$

donde

$c_r(z)$ es el factor de rugosidad, indicado en el apartado 4.3.2.

$c_o(z)$ es el coeficiente topográfico, que se toma como 1,0 a no ser que se especifique lo contrario en el apartado 4.3.3.

NOTA 1 – La información sobre el factor c_o se puede proporcionar en el anexo nacional. Si se tiene en cuenta la orografía en la velocidad básica del viento, el valor recomendado es 1,0.

NOTA 2 – El anexo nacional puede proporcionar mapas o tablas para la determinación de $v_m(z)$.

Se debería considerar la influencia de estructuras próximas sobre la velocidad del viento (véase el apartado 4.3.4).

4.3.2 Rugosidad del terreno

(1) El factor de rugosidad del terreno, $c_r(z)$, tiene en cuenta la variabilidad de la velocidad media del viento en la localización concreta de la estructura debida a:

La altura sobre el nivel del suelo.

La rugosidad del terreno situado a barlovento de la estructura en la dirección del viento considerada.

NOTA – El procedimiento para determinar $c_r(z)$ se puede proporcionar en el anexo nacional. El procedimiento recomendado para la determinación del factor de rugosidad a una altura z viene dado por la expresión (4.4), y se basa en un perfil logarítmico de velocidades.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{para} \quad z_{\min.} \leq z \leq z_{\max.}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{para} \quad z \leq z_{\min}$$
(4.4)

donde

z_0 es la longitud de la rugosidad;

k_r factor del terreno, que depende de la longitud de la rugosidad z_0 y calculado utilizando:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$
(4.5)

donde

$z_{0,II} = 0,05$ m (categoría de terreno II, tabla 4.1);

z_{\min} es la altura mínima, definida en la tabla 4.1;

z_{\max} se toma igual a 200 m.

z_0 , z_{\min} dependen de la categoría del terreno. Los valores recomendados se muestran en la tabla 4.1 dependiendo de cinco categorías de terreno representativas.

La expresión (4.4) es válida cuando la distancia de terreno con rugosidad uniforme a barlovento es suficiente como para estabilizar el perfil de velocidades, véase el punto (2).

Tabla 4.1
Categorías de terrenos y parámetros del terreno

| Categoría de terreno | | z_0 m | z_{\min} m |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------|
| 0 | Mar abierto o zona costera expuesta al mar abierto | 0,003 | 1 |
| I | Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos | 0,01 | 1 |
| II | Áreas con vegetación baja, como hierba, y obstáculos aislados (árboles, edificaciones) con separaciones de al menos 20 veces la altura de los obstáculos | 0,05 | 2 |
| III | Áreas con una cobertura de vegetación uniforme o edificaciones o con obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos (villas, terreno suburbano, bosques permanentes) | 0,3 | 5 |
| IV | Áreas en las que al menos un 15% de la superficie está cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 m | 1,0 | 10 |
| NOTA – Las categorías de terrenos se ilustran en el capítulo A.1. | | | |

(2) La rugosidad del terreno a emplear para una dirección de viento dada depende de la rugosidad del terreno y de la distancia con rugosidad del terreno uniforme en un sector angular alrededor de la dirección del viento. Se pueden ignorar las áreas con rugosidad diferente siempre y cuando su tamaño sea pequeño (menos del 10% del área total en consideración). Véase la figura 4.1.

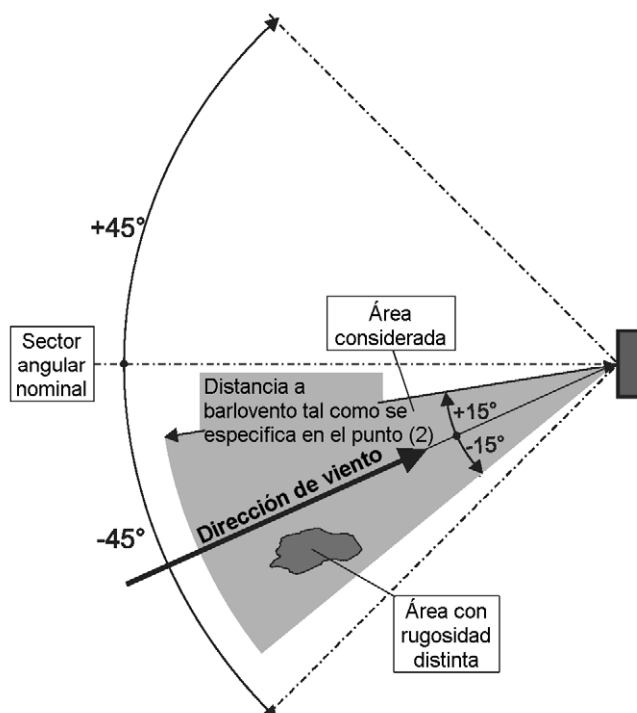


Fig. 4.1 – Evaluación de la rugosidad del terreno

NOTA – El anexo nacional puede proporcionar definiciones de los sectores angulares a barlovento y de la distancia a considerar. El valor recomendado del sector angular se puede tomar como el sector angular de 30° a $\pm 15^\circ$ de la dirección del viento. El valor recomendado para la distancia a barlovento se puede obtener del capítulo A.2.

(3) Cuando se define un coeficiente de fuerza o de presión para un sector angular determinado, se debería utilizar la longitud de rugosidad más corta dentro de cualquier sector angular de 30° .

(4) Cuando se pueda escoger entre dos o más categorías de terreno para definir un área determinada, se debería utilizar el área con la menor longitud de rugosidad.

4.3.3 Orografía del terreno

(1) Cuando la orografía (por ejemplo, colinas, precipicios, etc.) aumente la velocidad del viento en más de un 5%, los efectos deberían tenerse en cuenta mediante el coeficiente topográfico c_o .

NOTA – El procedimiento para la determinación del factor c_o puede proporcionarse en el anexo nacional. El procedimiento recomendado se proporciona en el capítulo A.3.

(2) Se pueden despreciar los efectos de la orografía cuando la pendiente media del terreno situado a barlovento sea inferior a 3° . Se puede considerar una longitud del terreno a barlovento de 10 veces la altura del accidente orográfico aislado.

4.3.4 Estructuras cercanas grandes y de altura considerablemente superior

(1) Si la estructura en cuestión se va a situar cerca de otra estructura con una altura de por lo menos el doble de la altura media de las estructuras circundantes, podría estar expuesta (dependiendo de las propiedades de la estructura) a velocidades de viento más elevadas para ciertas direcciones del viento. Estos casos deberían tenerse en cuenta.

NOTA – El anexo nacional puede proporcionar un procedimiento para tener en cuenta este efecto. Se proporciona una primera aproximación conservadora recomendada en el capítulo A.4.

4.3.5 Edificaciones situadas a corta distancia entre ellas

(1) Se puede tener en cuenta el efecto de las edificaciones situadas a corta distancia entre ellas y otros obstáculos.

NOTA – El anexo nacional puede proporcionar un procedimiento. El capítulo A.5 proporciona una primera aproximación recomendada. En un terreno rugoso, las edificaciones situadas a corta distancia entre ellas modifican el flujo medio de viento cerca del suelo, como si el nivel del suelo hubiera ascendido una altura denominada altura de desplazamiento h_{dis} .

4.4 Turbulencias

(1) La intensidad de la turbulencia $I_v(z)$ a una altura z se define como la desviación típica de la turbulencia dividida por la velocidad media del viento.

NOTA 1 – La componente turbulenta de la velocidad del viento tiene un valor medio de 0 y una desviación típica de σ_v la desviación típica de la turbulencia σ_v puede determinarse mediante la expresión (4.6).

$$\sigma_v = k_t \cdot v_b \cdot k_1 \quad (4.6)$$

Para el factor del terreno, k_t , véase la expresión (4.5), para la velocidad básica del viento, v_b , véase la expresión (4.1), y para el factor de turbulencia, k_1 , véase la nota 2.

NOTA 2 – Las reglas recomendadas para la determinación de $I_v(z)$ se proporcionan en la expresión (4.7)

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{para} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (4.7)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{para} \quad z < z_{\min}$$

donde

k_1 es el factor de turbulencia. El valor de k_1 se puede establecer en el anexo nacional. El valor recomendado para k_1 es 1,0;

c_o es el coeficiente topográfico, descrito en el apartado 4.3.3;

z_0 es la longitud de la rugosidad, dada en la tabla 4.1.

4.5 Presión correspondiente a la velocidad de pico

(1) Debería determinarse la presión correspondiente a la velocidad de pico, $q_p(z)$, a una altura z , que incluye la velocidad media del viento y las fluctuaciones de velocidad a corto plazo.

NOTA 1 – El anexo nacional puede proporcionar reglas para la determinación de $q_p(z)$. El procedimiento recomendado se proporciona en la expresión (4.8).

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (4.8)$$

donde

ρ es la densidad del aire, que depende de la altitud, de la temperatura y de la presión barométrica esperada en la región durante las tormentas de viento;

$c_e(z)$ es el factor de exposición dado en la expresión (4.9);

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (4.9)$$

q_b es la presión correspondiente a la velocidad media de referencia del viento, dada por la expresión (4.10);

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (4.10)$$

NOTA 2 – Los valores de ρ pueden definirse en el anexo nacional. El valor recomendado es $1,25 \text{ kg/m}^3$.

NOTA 3 – El valor 7 en la expresión (4.8) está basado en un factor de pico igual a 3,5 y es consistente con los valores de los coeficientes de fuerza y de presión definidos en el capítulo 7.

Para terreno llano donde $c_o(z) = 1,0$ (véase el apartado 4.3.3), el factor de exposición $c_e(z)$ se muestra en la figura 4.2 en función de la altura sobre el terreno y de la categoría del terreno, definida en la tabla 4.1.

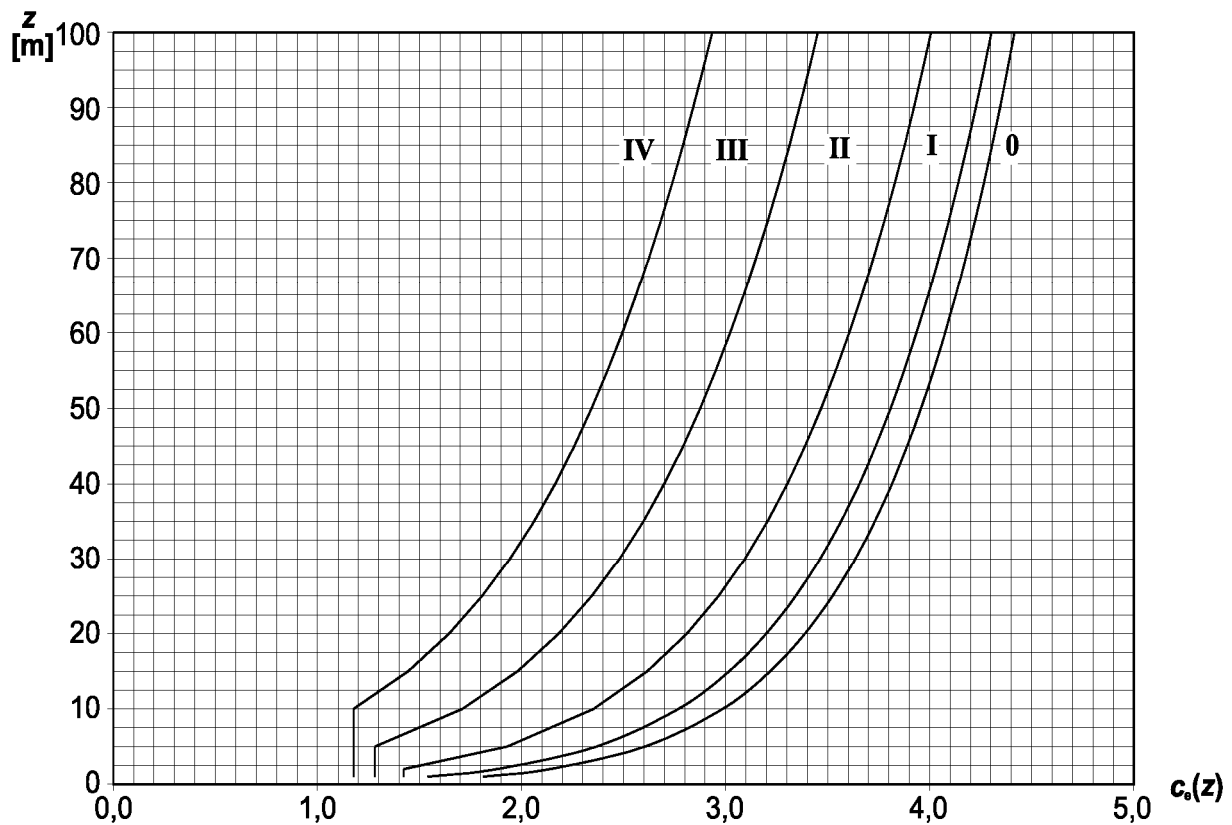


Fig. 4.2 – Coeficiente de exposición $c_e(z)$ para $c_o = 1,0$, $k_1 = 1,0$

CAPÍTULO 5 ACCIONES DE VIENTO

5.1 Generalidades

(1)P La acción del viento en estructuras y elementos estructurales, se debe determinar teniendo en cuenta tanto las presiones del viento externas como internas.

NOTA – La tabla 5.1 muestra un resumen de los procedimientos de cálculo para la determinación de las acciones de viento.

Tabla 5.1
Procedimientos de cálculo para la determinación de las acciones de viento

| Parámetro | Referencia |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Presión correspondiente a la velocidad de pico q_p | |
| velocidad básica del viento v_b | 4.2 (2)P |
| altura de referencia z_e | capítulo 7 |
| categoría del terreno | tabla 4.1 |
| presión correspondiente a la velocidad de pico característica q_p | 4.5 (1) |
| intensidad de la turbulencia I_v | 4.4 |
| velocidad media del viento v_m | 4.3.1 |
| coeficiente de orografía $c_o(z)$ | 4.3.3 |
| coeficiente de rugosidad $c_r(z)$ | 4.3.2 |
| Presiones del viento, por ejemplo, para cerramientos, fijaciones y elementos estructurales | |
| Coeficiente de presión exterior c_{pe} | capítulo 7 |
| Coeficiente de presión interior c_{pi} | capítulo 7 |
| Coeficiente de presión neta $c_{p,net}$ | capítulo 7 |
| Presión externa del viento: $w_e = q_p c_{pe}$ | 5.2 (1) |
| Presión interna del viento: $w_i = q_p c_{pi}$ | 5.2 (2) |
| Fuerzas debidas al viento en estructuras, por ejemplo para los efectos globales del viento | |
| Factor estructural: $c_s c_d$ | 6 |
| Fuerza del viento F_w calculada a partir de coeficientes de fuerza | 5.3 (2) |
| Fuerza del viento F_w calculada a partir de coeficientes de presión | 5.3 (3) |

5.2 Presión del viento en estructuras

(1) La presión del viento sobre las superficies exteriores, w_e , se debería obtener a partir de la expresión (5.1).

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (5.1)$$

donde

$q_p(z_e)$ es la presión correspondiente a la velocidad de pico;

z_e es la altura de referencia para la presión externa, dada en el capítulo 7;

c_{pe} es el coeficiente de presión para la presión exterior, véase el capítulo 7.

NOTA – $q_p(z)$ se define en el apartado 4.5.

(2) La presión del viento que actúa sobre las superficies interiores, w_i , se debería determinar mediante la expresión (5.2).

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (5.2)$$

donde

$q_p(z_i)$ es la presión correspondiente a la velocidad de pico;

z_i es la altura de referencia para la presión interna, dada en el capítulo 7;

c_{pi} es el coeficiente de presión para la presión interna, dada en el capítulo 7.

NOTA – $q_p(z)$ se define en el apartado 4.5.

(3) La presión neta sobre una pared, tejado o elemento es la diferencia entre las presiones existentes en cada una de sus caras opuestas, teniendo en cuenta su signo. La presión, dirigida hacia la superficie se toma como positiva, mientras que la succión, dirigida hacia el exterior de la superficie se toma como negativa. Véase la figura 5.1.

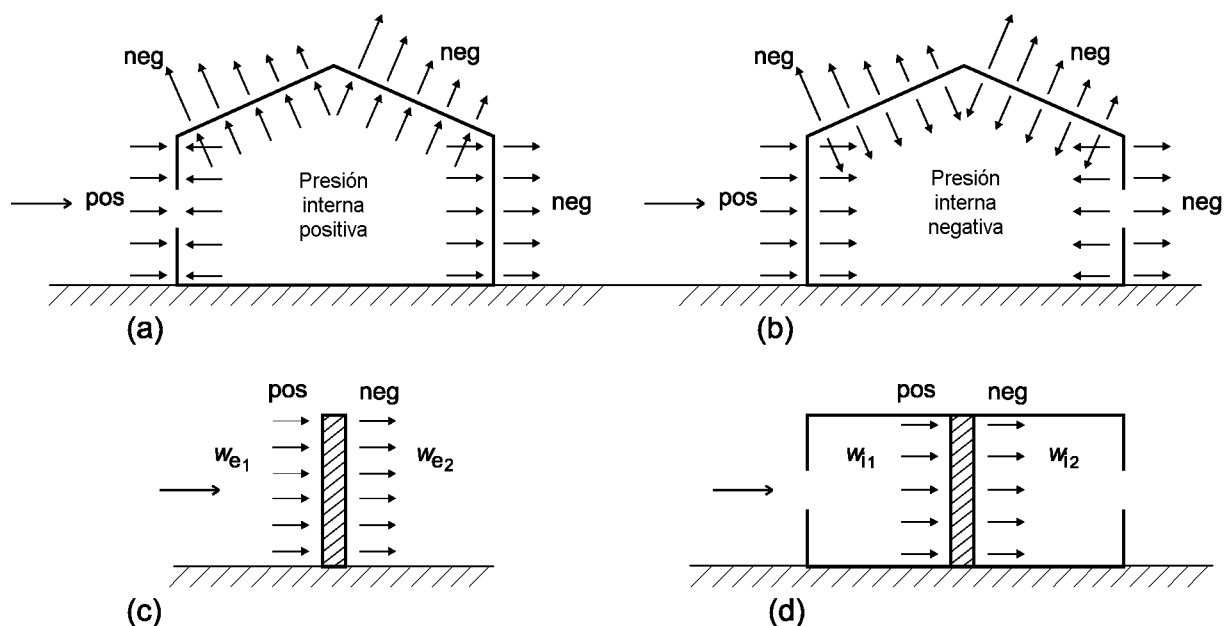


Fig. 5.1 – Presión sobre superficies

5.3 Fuerzas del viento

(1) Las fuerzas del viento para una estructura completa o un componente estructural se debería determinar:

- calculando las fuerzas por medio de los coeficientes de fuerza (véase el punto (2)) o;
- calculando las fuerzas a partir de las presiones sobre las superficies (véase el punto (3)).

(2) La fuerza del viento F_w que actúa sobre una estructura o un elemento estructural, se puede determinar directamente mediante la expresión (5.3)

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (5.3)$$

o por suma vectorial sobre los elementos estructurales individuales (tal como se muestra en el apartado 7.2.2) empleando la expresión (5.4)

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elementos}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (5.4)$$

donde

$c_s c_d$ es el factor estructural, definido en el capítulo 6;

c_f es el coeficiente de fuerza para el elemento estructural o la estructura, definido en el capítulo 7 u 8;

$q_p(z_e)$ es la presión correspondiente a la velocidad de pico (definida en el apartado 4.5) a la altura de referencia z_e (definida a su vez en el capítulo 7 u 8);

A_{ref} es el área de referencia para el elemento estructural o la estructura, definido en el capítulo 7 u 8.

NOTA – El capítulo 7 proporciona los valores de c_f para elementos estructurales o estructuras tales como prismas, cilindros, cubiertas, carteles de señalización, placas y estructuras en celosía. Estos valores incluyen los efectos de la fricción. El capítulo 8 proporciona los valores de c_f para puentes.

(3) La fuerza debida al viento, F_w que actúa sobre una estructura o un elemento estructural se puede determinar mediante la suma vectorial de las fuerzas $F_{w,e}$, $F_{w,i}$ y F_{fr} calculadas a partir de las presiones interiores y exteriores empleando las expresiones (5.5) y (5.6), y las fuerzas de fricción resultantes de la fricción del viento paralela a las superficies exteriores, calculada mediante la expresión (5.7).

Fuerzas exteriores:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{superficies}} w_e \cdot A_{ref} \quad (5.5)$$

Fuerzas interiores:

$$F_{w,i} = \sum_{\text{superficies}} w_i \cdot A_{ref} \quad (5.6)$$

Fuerzas de fricción:

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} \quad (5.7)$$

donde

$c_s c_d$ es el factor estructural, definido en el capítulo 6;

w_e es la presión externa sobre la superficie individual a una altura z_e , determinada con la expresión (5.1);

w_i es la presión interna sobre la superficie individual a una altura z_i , determinada con la expresión (5.2);

A_{ref} es el área de referencia de la superficie individual;

c_{fr} es el coeficiente de fricción, obtenido a partir del apartado 7.5;

A_{fr} es el área de la superficie exterior paralela al viento, definida en el apartado 7.5.

NOTA 1 – Para los elementos (por ejemplo, muros, cubiertas), la fuerza debida al viento es simplemente la diferencia entre las fuerzas resultantes interiores y exteriores.

NOTA 2 – Las fuerzas de fricción F_{fr} actúan en la dirección de las componentes del viento paralelas a la superficie exterior.

(4) Se pueden despreciar los efectos de la fricción del viento sobre la superficie cuando el área total de todas las superficies paralelas (u orientadas con un ángulo lo suficientemente pequeño) a la dirección del viento es menor o igual a cuatro veces el área total de las superficies exteriores perpendiculares al viento (a sotavento y a barlovento).

(5) Para la suma de las fuerzas del viento que actúan sobre las estructuras de edificación, se pueden tener en cuenta la falta de correlación entre las presiones del viento a barlovento y a sotavento.

NOTA – El anexo nacional puede determinar si esta falta de correlación se puede aplicar de manera general o restringida a muros, tal como se describe en el punto (3) del apartado 7.2.2. Se recomienda considerar la falta de correlación únicamente para muros (véase el punto (3) del apartado 7.2.2).

CAPÍTULO 6 EL FACTOR ESTRUCTURAL $c_s c_d$

6.1 Generalidades

(1) El factor estructural $c_s c_d$ debería tener en cuenta el efecto en las acciones del viento de la ocurrencia no simultánea de picos de presiones de viento sobre la superficie (c_s) junto con el efecto de las vibraciones de la estructura debidas a las turbulencias (c_d).

NOTA – El factor estructural $c_s c_d$ se puede separar en un factor de escala c_s y un factor dinámico c_d , basado en el apartado 6.3. La información sobre si el factor $c_s c_d$ debería separarse o no puede proporcionarse en el anexo nacional.

6.2 Determinación de $c_s c_d$

(1) El valor de $c_s c_d$ se puede determinar como sigue:

- Para edificaciones con altura inferior a 15 m, el valor de $c_s c_d$ se puede tomar como 1.
- Para fachadas y elementos de cubierta cuya frecuencia natural sea superior a 5 Hz, el valor de $c_s c_d$ se puede tomar como 1.
- Para edificios aporricados, con muros con misión estructural y con altura inferior a 100 m y a 4 veces su dimensión en la dirección del viento, el valor de $c_s c_d$ se puede tomar como 1.
- Para chimeneas de sección transversal circular, cuya altura sea inferior a 60 m y a 6,5 veces el diámetro, el valor de $c_s c_d$ se puede tomar como 1.
- Alternativamente, en los casos a), b), c) y d) expuestos anteriormente, los valores de $c_s c_d$ se pueden obtener del apartado 6.3.1.
- Para obras de ingeniería civil (distintas de puentes, cuyo tratamiento específico se recoge en el capítulo 8), chimeneas y edificaciones que no cumplan las limitaciones expuestas en los puntos c) y d) anteriores, el valor de $c_s c_d$ se puede determinar mediante el apartado 6.3 o tomarse del anexo D.

NOTA 1 – Las frecuencias naturales de fachadas y elementos de cubiertas se pueden determinar mediante el anexo F (para luces de elementos de vidrio menores de 3 m, las frecuencias naturales suelen ser mayores de 5 Hz).

NOTA 2 – Las figuras recogidas en el anexo D proporcionan valores de $c_s c_d$ para diversos tipos de estructuras. Estas figuras proporcionan envolventes de valores seguros calculados mediante modelos que cumplen los requisitos del apartado 6.3.1.

6.3 Procedimiento detallado

6.3.1 Factor estructural $c_s c_d$

(1) El procedimiento detallado de cálculo del factor estructural $c_s c_d$ se recoge en la expresión (6.1). Este procedimiento se puede usar únicamente cuando se cumplen las condiciones establecidas en el punto (2) del apartado 6.3.1.

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (6.1)$$

donde

z_s es la altura de referencia para la determinación del factor estructural, véase la figura 6.1. En estructuras en las que no aplique la figura 6.1, el término z_s se puede sustituir por h , la altura de la estructura;

k_p es el factor de pico, definido como la relación entre el valor máximo de la fracción fluctuante de la respuesta con respecto a su desviación típica;

I_v es la intensidad de la turbulencia, definida en el apartado 4.4;

B^2 es el factor de respuesta de fondo, que tiene en cuenta la falta de correlación total de la presión en la superficie de la estructura;

R^2 es el factor de respuesta debido a la resonancia, que tiene en cuenta la resonancia del modo de vibración con la turbulencia.

NOTA 1 – El factor de tamaño c_s tiene en cuenta el efecto de reducción en la acción de viento debido a la ocurrencia no simultánea de diferentes picos de presión de viento sobre la superficie de la estructura. Este factor se puede obtener mediante la expresión (6.2):

$$c_s = \frac{1 + 7 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (6.2)$$

NOTA 2 – El factor dinámico c_d tiene en cuenta el efecto de incremento de las vibraciones debido a la turbulencia en resonancia con la estructura y se puede obtener mediante la expresión (6.3):

$$c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}} \quad (6.3)$$

NOTA 3 – El procedimiento a emplear para determinar k_p , B y R puede describirse en el anexo nacional. En el anexo B se recoge un procedimiento recomendado. El anexo C describe un procedimiento alternativo para su cálculo. Como indicación para los usuarios, las diferencias obtenidas mediante el empleo de los anexos C y B para el cálculo de $c_s c_d$ no excede aproximadamente del 5%.

(2)P La expresión (6.1) solamente se debe emplear si se cumplen los siguientes requisitos:

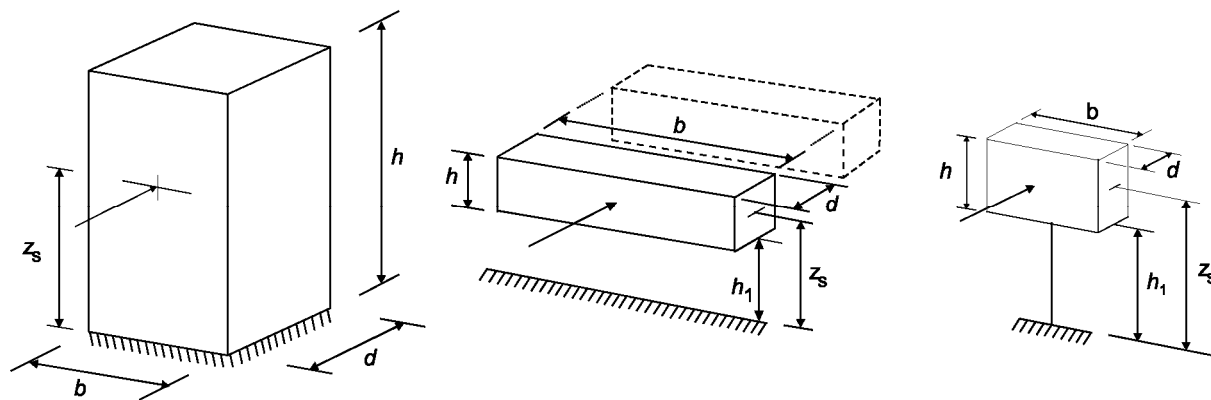
- la estructura corresponde a una de las formas generales indicadas en la figura 6.1;
- sólo la vibración paralela a la dirección del viento en el modo fundamental es importante, y esta forma modal tiene signo constante.

NOTA – La contribución a la respuesta del segundo modo de vibración paralelo a la dirección del viento o superior es despreciable.

a) Estructuras verticales tales como edificios, etc.

b) Oscilador paralelo, es decir estructuras horizontales como vigas, etc.

c) Estructuras puntuales tales como carteles o señales etc.



NOTA – Las limitaciones se recogen también en el punto (2) del apartado 1.1.

$$z_s = 0,6 \cdot h \geq z_{\min}$$

$$z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{\min}$$

$$z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{\min}$$

Fig. 6.1 – Formas generales de estructuras cubiertas por el procedimiento de cálculo. Se indican también las dimensiones estructurales y la altura de referencia empleadas

6.3.2 Evaluación en condiciones de servicio

(1) Para la evaluación en condiciones de servicio, se debería utilizar el desplazamiento máximo y la desviación típica de la aceleración característica de la estructura en la dirección paralela al viento a una altura z . Para la determinación del desplazamiento máximo en dirección paralela al viento se debería emplear una fuerza estática equivalente definida en el apartado 5.2.

NOTA – El anexo nacional puede proporcionar un método para el cálculo del desplazamiento y la desviación típica de la aceleración en la dirección paralela al viento. El método de cálculo recomendado se recoge en el anexo B. El anexo C describe un método de cálculo alternativo.

6.3.3 Bataneo de estela

(1) En edificios esbeltos ($h/d > 4$) y chimeneas ($h/d > 6,5$) situados por parejas o agrupados, se debería tener en cuenta el efecto del aumento de la turbulencia por la estela de los edificios cercanos (bataqueo de estela).

(2) El efecto del bataqueo de estela se puede despreciar si se cumple, al menos, una de las condiciones siguientes:

- La distancia entre dos edificios o chimeneas es mayor de 25 veces la dimension transversal al viento del edificio o chimenea situado a sotavento.
- La frecuencia natural del edificio o chimenea situado a sotavento es mayor de 1 Hz.

NOTA – Si no se cumple ninguna de las condiciones recogidas en el punto (2) del apartado 6.3.3, se recomienda la realización de ensayos en túnel de viento o el asesoramiento de especialistas.

CAPÍTULO 7 COEFICIENTES DE PRESIÓN Y FUERZA

7.1 Generalidades

(1) Este capítulo debería utilizarse para determinar los coeficientes aerodinámicos para las estructuras. En función del tipo de estructura los correspondientes coeficientes aerodinámicos serán:

- Coeficientes de presión interior y exterior, véase el punto (1) del apartado 7.1.1.
- Coeficientes de presión neta, véase el punto (2) del apartado 7.1.1.
- Coeficientes de fricción, véase el punto (3) del apartado 7.1.1.
- Coeficientes de fuerza, véase el punto (4) del apartado 7.1.1.

7.1.1 Elección del coeficiente aerodinámico

(1) Los coeficientes de presión se deberían determinar para:

- edificios, utilizando el apartado 7.2 para la determinación de las presiones interiores y exteriores, y para
- cilindros circulares, utilizando el apartado 7.2.9 para la determinación de las presiones interiores y el apartado 7.9.1 para las presiones exteriores.

NOTA 1 – Los coeficientes de presión externa proporcionan el efecto del viento sobre las superficies exteriores de los edificios; los coeficientes de presión interna proporcionan el efecto del viento sobre las superficies interiores de los edificios.

NOTA 2 – Los coeficientes de presión externa se dividen en coeficientes globales y coeficientes locales. Los coeficientes locales proporcionan los coeficientes de presión para áreas cargadas de 1 m^2 . Éstos pueden utilizarse para el cálculo de pequeños elementos o fijaciones. Los coeficientes globales proporcionan los coeficientes de presión para áreas cargadas de 10 m^2 . Éstos se pueden utilizar en áreas cargadas de más de 10 m^2 .

(2) Los coeficientes de presión neta se deberían determinar para:

- Cubiertas y doseles (marquesinas), utilizando el apartado 7.3.
- Muros autoportantes, barandillas y defensas, utilizando el apartado 7.4.

NOTA – Los coeficientes de presión neta, proporcionan el efecto resultante del viento sobre una estructura, elemento estructural o componente por unidad de área.

(3) Los coeficientes de fricción se deberían determinar para paredes, muros y superficies definidas en los puntos (3) y (4) del apartado 5.3, utilizando el apartado 7.5.

(4) Los coeficientes de fuerza se deberían determinar para:

- Carteles de señalización, utilizando el apartado 7.4.3.
- Elementos estructurales con sección transversal rectangular, utilizando el apartado 7.6.
- Elementos estructurales con sección con bordes afilados, utilizando el apartado 7.7.
- Elementos estructurales con sección formada por un polígono regular, utilizando el apartado 7.8.
- Cilindros circulares, utilizando los apartados 7.9.2 y 7.9.3.
- Esferas, utilizando el apartado 7.10.

- Estructuras en celosía y andamiajes, utilizando el apartado 7.11.
- Banderas, utilizando el apartado 7.12.

Se puede aplicar un factor de reducción dependiendo de la esbeltez efectiva de la estructura, utilizando el apartado 7.13.

NOTA – Los coeficientes de fuerza proporcionan el efecto general de la acción del viento sobre la estructura, elemento estructural o componente como un conjunto, incluyendo la fricción, si no está específicamente excluida.

7.1.2 Presiones y fuerzas asimétricas y compensadas

(1) Se deberían tener en cuenta los efectos de fluctuaciones instantáneas del viento que produzcan cargas asimétricas y no compensadas en aquellas estructuras sensibles a este tipo de acciones (por ejemplo torsión en edificaciones con núcleo único simétrico).

(2) Para cubiertas o marquesinas autoportantes y carteles de señalización se deberían aplicar los apartados 7.3 y 7.4.

NOTA – El anexo nacional puede incluir los procedimientos para el cálculo de otras estructuras. Los procedimientos recomendados son:

- Para estructuras rectangulares que sean susceptibles a efectos torsionales, la distribución de presiones mostrada en la figura 7.1 debería aplicarse para la representación de los efectos torsionales debido a un viento de dirección inclinada con respecto a la superficie o a la falta de correlación entre las fuerzas debidas al viento actuando en diferentes partes de la estructura.

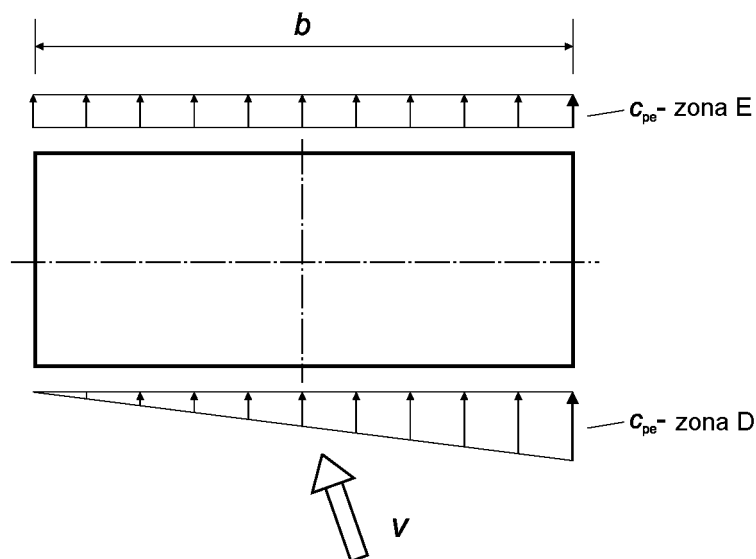


Fig 7.1 — Distribución de presiones a emplear para tener en cuenta los posibles efectos torsionales.
Las zonas y los valores de c_{pe} se proporcionan en la tabla 7.1 y en la figura 7.5

- En otros casos, se debería permitir la asimetría de carga anulando completamente las componentes de viento sobre aquellas partes de la estructura sobre las que su acción produzca un efecto favorable.

7.1.3 Efectos del hielo y la nieve

(1) Si el hielo o la nieve altera la geometría de la estructura de tal modo que pueda cambiar el área de referencia o su forma, se debería tener en cuenta.

NOTA – El anexo nacional puede recoger información complementaria.

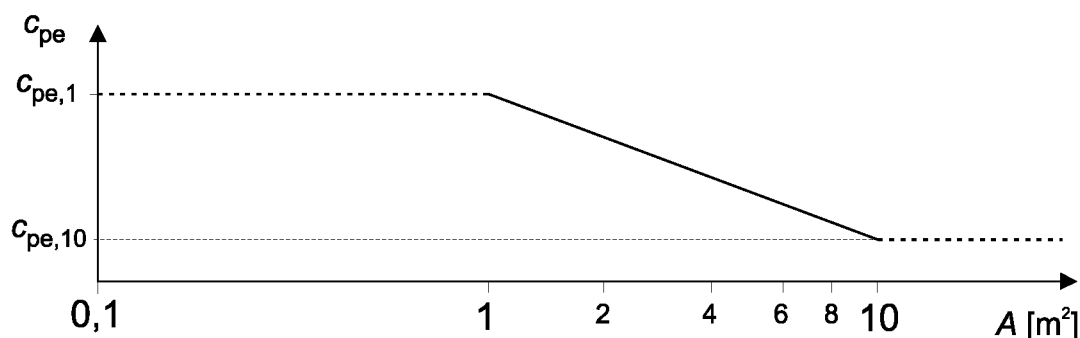
7.2 Coeficientes de presión en edificaciones

7.2.1 Generalidades

(1) Los coeficientes de presión externa c_{pe} en edificaciones y partes de éstas, dependen del tamaño del área cargada, A , que es el área de la estructura que produce la acción de viento en la sección a calcular. Los coeficientes de presión externa se proporcionan en tablas en función de la geometría de la estructura para áreas A de 1 m^2 y 10 m^2 como $c_{pe,1}$, para coeficientes locales, y $c_{pe,10}$, para coeficientes globales respectivamente.

NOTA 1 – Los valores de $c_{pe,1}$ están previstos para el cálculo de pequeños elementos y fijaciones con un área por elemento de 1 m^2 o inferior, como por ejemplo elementos de revestimiento y cubiertas. Los valores de $c_{pe,10}$ se pueden utilizar para el cálculo de la estructura en su conjunto.

NOTA 2 – El anexo nacional puede proporcionar un procedimiento para el cálculo de los coeficientes de presión externa en áreas cargadas de más de 1 m^2 basado en los coeficientes de presión externa $c_{pe,1}$ y $c_{pe,10}$. El procedimiento recomendado para áreas cargadas de hasta 10 m^2 se muestra en la figura 7.2.



La figura se basa en lo siguiente:

para $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$
$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$$

Fig. 7.2 – Procedimiento recomendado para la determinación del coeficiente de presión externa c_{pe} en edificaciones con un área cargada A entre 1 m^2 y 10 m^2

(2) Los valores de $c_{pe,10}$ y $c_{pe,1}$ mostrados en las tablas 7.1 a 7.5 deberían aplicarse para las tres direcciones ortogonales 0° , 90° , 180° . Estos valores representan los valores más desfavorables obtenidos en un rango de direcciones del viento de $\theta = \pm 45^\circ$ a ambos lados de la dirección ortogonal.

(2) En esquinas voladas de tejados y cubiertas, la presión de la zona inferior de la cubierta que sobresale es igual a la presión de la pared vertical más próxima al vuelo; la presión en la zona superior de la cubierta que sobresale es igual a la presión de la zona, definida para el tejado.

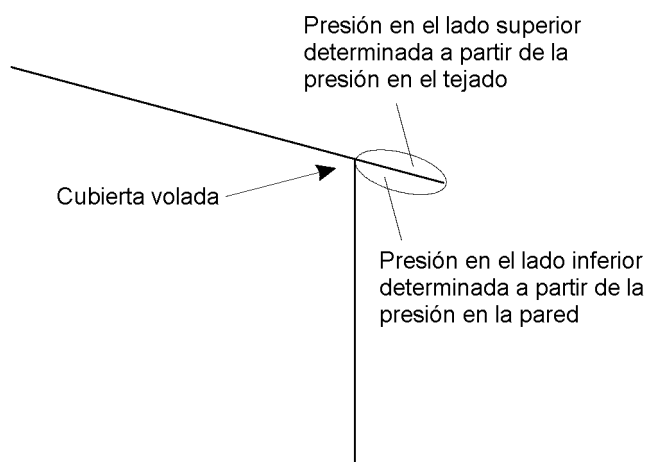


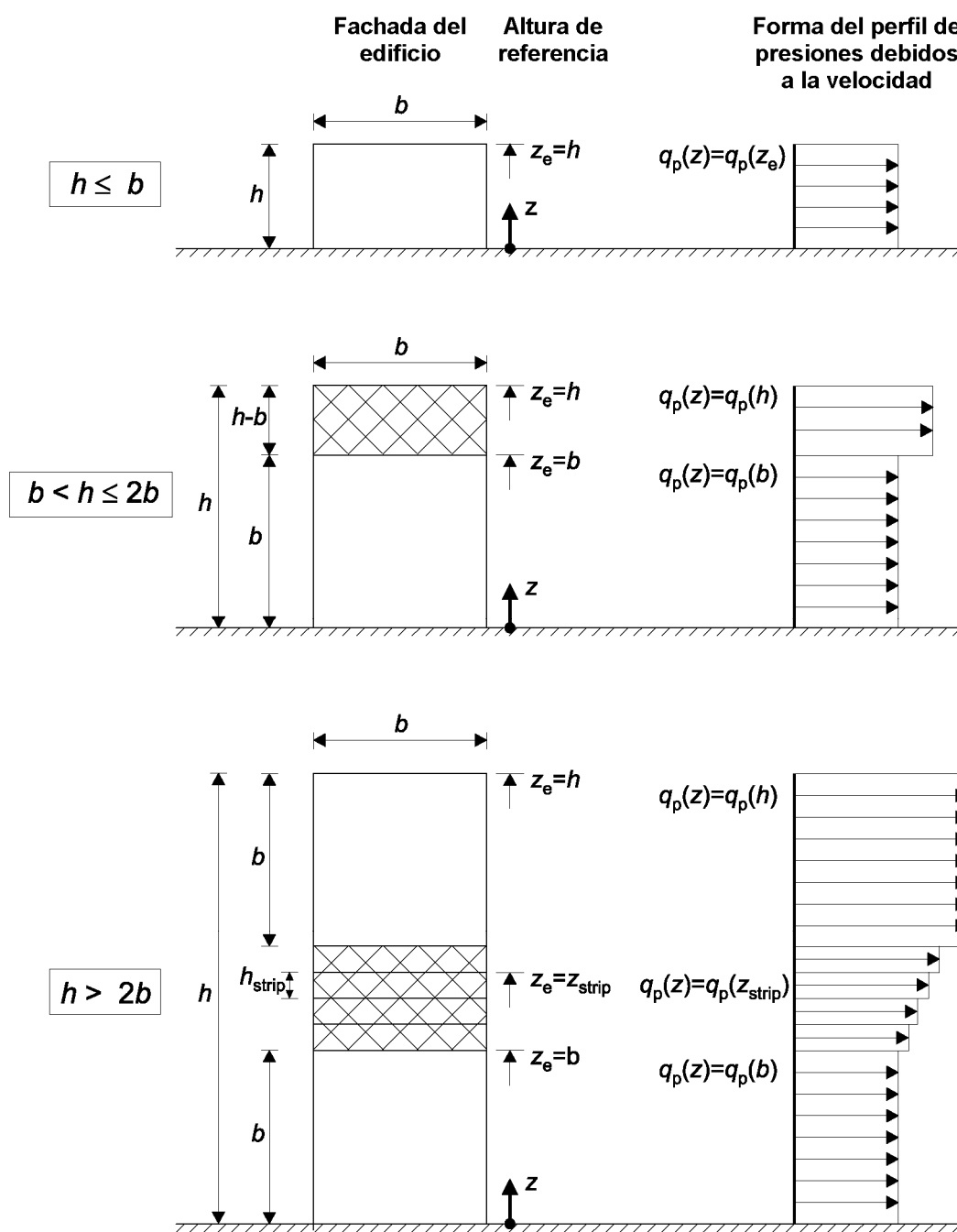
Fig. 7.3 – Ilustración de las presiones aplicables para las cubiertas voladas

7.2.2 Muros verticales de edificios de planta rectangular

(1) Las alturas de referencia, z_e , para muros verticales de edificios de planta rectangular (zona D, véase la figura 7.5) dependen de la relación h/b y serán siempre la altura superior de las diferentes partes de los muros. Éstas se dan en la figura 7.4 para los siguientes tres casos:

- Edificios, cuya altura h sea inferior a b , que deberían considerarse como de una sola altura.
- Edificios, cuya altura h sea mayor que b , pero inferior a $2b$, que se pueden considerar como dos alturas, que estarán formadas por: una parte inferior que se extiende una altura igual a b desde el suelo y una parte superior formada por el resto.
- Edificios, cuya altura h sea superior a $2b$, que se pueden considerar de múltiples alturas, formadas por: una inferior que se eleve desde su base igual a b ; una superior que se extenderá desde la zona superior hacia abajo con una altura también igual a b , y una región media entre la zona superior y la inferior, que se puede dividir en diferentes bandas con altura h_{strip} como se muestra en la figura 7.4.

NOTA – Las reglas para la distribución de presiones dinámicas para las paredes a sotavento, y las paredes laterales (zonas A, B, C y E, véase la figura 7.5) se pueden definir en el anexo nacional o en el proyecto individual. El procedimiento recomendado de cálculo es tomar como altura de referencia la altura de la edificación.



NOTA — La presión dinámica debería suponerse como uniforme sobre cada banda horizontal considerada.

Fig. 7.4 – Altura de referencia, z_e , en función de h y b , y perfil de velocidades y presión correspondiente

(2) Los coeficientes de presión externa $c_{pe,10}$ y $c_{pe,1}$ para las zonas A, B, C, D y E se definen en la figura 7.5.

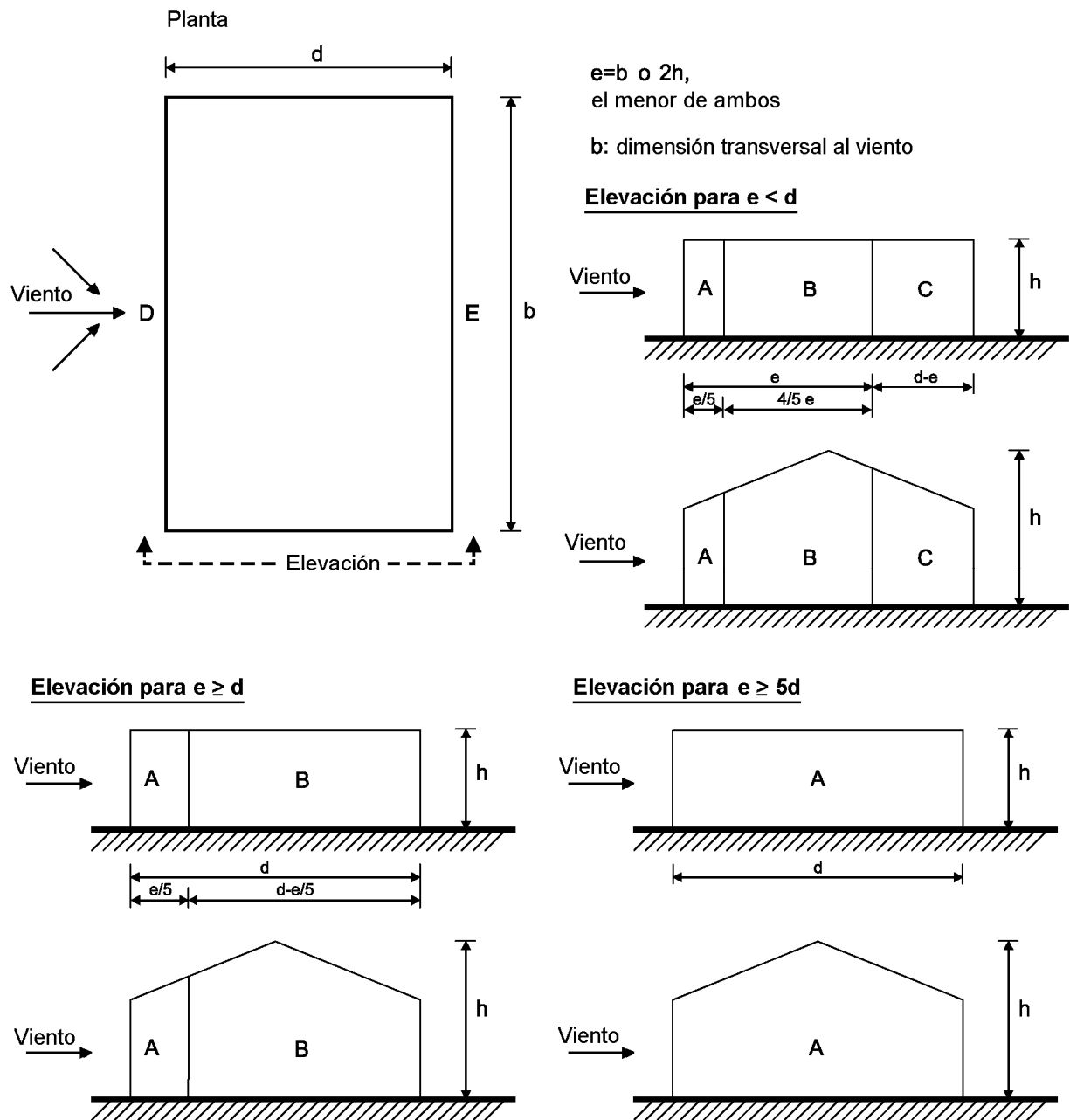


Fig. 7.5 – Leyenda para muros verticales

NOTA 1 – Los valores de $c_{pe,10}$ y $c_{pe,1}$ pueden definirse en el anexo nacional. Los valores recomendados se recogen en la tabla 7.1, en función de la relación h/d . Para valores intermedios de h/d se puede emplear la interpolación lineal. Los valores de la tabla 7.1 se aplican también a muros de edificios con cubiertas inclinadas, a una o dos aguas.

Tabla 7.1
Valores recomendados para los coeficientes de presión externa en muros verticales
de edificios de planta rectangular

| Zona | A | | B | | C | | D | | E | |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| h/d | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5 | - 1,2 | - 1,4 | - 0,8 | - 1,1 | - 0,5 | | + 0,8 | + 1,0 | - 0,7 | |
| 1 | - 1,2 | - 1,4 | - 0,8 | - 1,1 | - 0,5 | | + 0,8 | + 1,0 | - 0,5 | |
| $\leq 0,25$ | - 1,2 | - 1,4 | - 0,8 | - 1,1 | - 0,5 | | + 0,7 | + 1,0 | - 0,3 | |

NOTA 2 – En edificios en los que $h/d > 5$, la acción total del viento se puede determinar de acuerdo con lo especificado en los apartados 7.6 a 7.8 y 7.9.2.

(3) En aquellos casos en los que la fuerza del viento sobre las edificaciones se determine mediante los coeficientes de presión c_{pe} en los lados de sotavento y barlovento (zonas D y D) del edificio simultáneamente, puede ser necesario tener en cuenta la falta de correlación entre las diferentes presiones en los lados de sotavento y barlovento.

NOTA – La falta de correlación de las presiones a sotavento y barlovento se puede considerar del modo siguiente. Para edificios en los que $h/d \geq 5$, la fuerza resultante final se multiplica por 1. En edificios en los que $h/d \leq 1$, la fuerza resultante se multiplica por 0,85. Para valores intermedios de h/d , se puede emplear la interpolación lineal.

7.2.3 Cubiertas planas

(1) Una cubierta plana se define como aquella con una pendiente (α) de $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$.

(2) La cubierta se debería dividir en zonas, tal como se muestra en la figura 7.6.

(3) La altura de referencia para las cubiertas planas y cubiertas con aleros curvados o amansardados se deberían tomar como h . La altura de referencia para cubiertas planas con barandillas se debería tomar como $h + h_p$, véase la figura 7.6.

(4) Los coeficientes de presión para cada zona se definen en la tabla 7.2.

(5) Los coeficientes de presión resultantes sobre el parapeto se deberían determinar mediante el apartado 7.4.

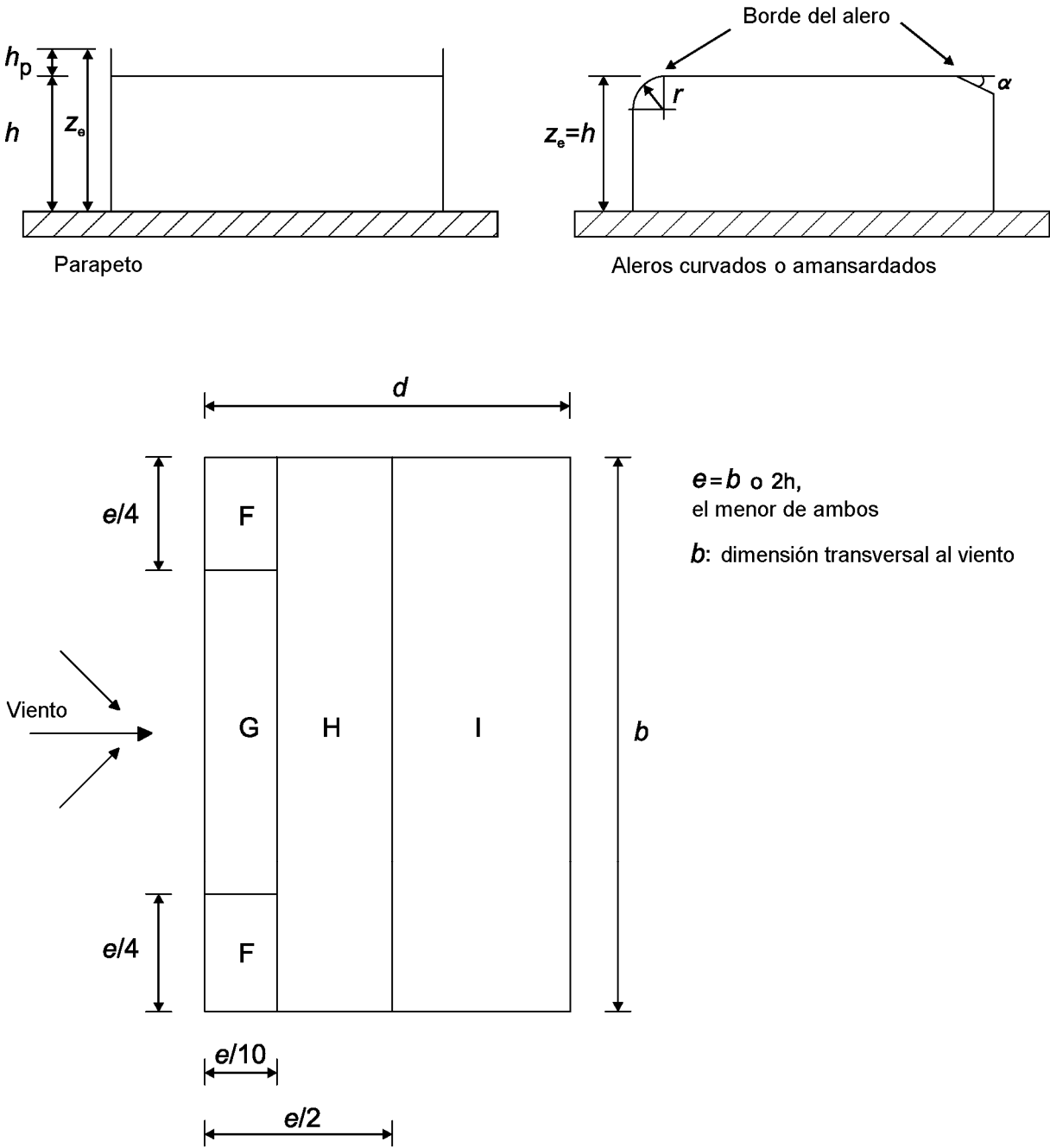


Fig. 7.6 – Leyenda para las cubiertas planas

Tabla 7.2
Coeficientes de presión externa en cubiertas planas

| Tipo de cubierta | | Zona | | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | | F | | G | | H | | I | |
| | | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| Cubierta con aleros afilados | | - 1,8 | - 2,5 | - 1,2 | - 2,0 | - 0,7 | - 1,2 | + 0,2 | - 0,2 |
| Con barandillas | $h_p/h = 0,025$ | - 1,6 | - 2,2 | - 1,1 | - 1,8 | - 0,7 | - 1,2 | + 0,2 | - 0,2 |
| | | | | | | | | + 0,2 | - 0,2 |
| | $h_p/h = 0,05$ | - 1,4 | - 2,0 | - 0,9 | - 1,6 | - 0,7 | - 1,2 | + 0,2 | - 0,2 |
| | | | | | | | | + 0,2 | - 0,2 |
| | $h_p/h = 0,10$ | - 1,2 | - 1,8 | - 0,8 | - 1,4 | - 0,7 | - 1,2 | + 0,2 | - 0,2 |
| | | | | | | | | + 0,2 | - 0,2 |
| Alero curvado | $r/h = 0,05$ | - 1,0 | - 1,5 | - 1,2 | - 1,8 | - 0,4 | | + 0,2 | - 0,2 |
| | | | | | | | | + 0,2 | - 0,2 |
| | $r/h = 0,10$ | - 0,7 | - 1,2 | - 0,8 | - 1,4 | - 0,3 | | + 0,2 | - 0,2 |
| | | | | | | | | + 0,2 | - 0,2 |
| | $r/h = 0,20$ | - 0,5 | - 0,8 | - 0,5 | - 0,8 | - 0,3 | | + 0,2 | - 0,2 |
| | | | | | | | | + 0,2 | - 0,2 |
| Alero amansardado | $\alpha = 30^\circ$ | - 1,0 | - 1,5 | - 1,0 | - 1,5 | - 0,3 | | + 0,2 | - 0,2 |
| | | | | | | | | + 0,2 | - 0,2 |
| | $\alpha = 45^\circ$ | - 1,2 | - 1,8 | - 1,3 | - 1,9 | - 0,4 | | + 0,2 | - 0,2 |
| | | | | | | | | + 0,2 | - 0,2 |
| | $\alpha = 60^\circ$ | - 1,3 | - 1,9 | - 1,3 | - 1,9 | - 0,5 | | + 0,2 | - 0,2 |
| | | | | | | | | + 0,2 | - 0,2 |

NOTA 1 – En cubiertas con barandillas o aleros curvados, se puede emplear la interpolación lineal para los valores intermedios de h_p/h y r/h .

NOTA 2 – En cubiertas con aleros amansardados, se puede emplear la interpolación lineal para los valores entre $\alpha = 30^\circ$, 45° y $\alpha = 60^\circ$. Para valores $\alpha > 60$ se puede emplear la interpolación lineal entre los valores correspondientes a $\alpha = 60^\circ$ y los correspondientes a cubiertas planas con aleros afilados.

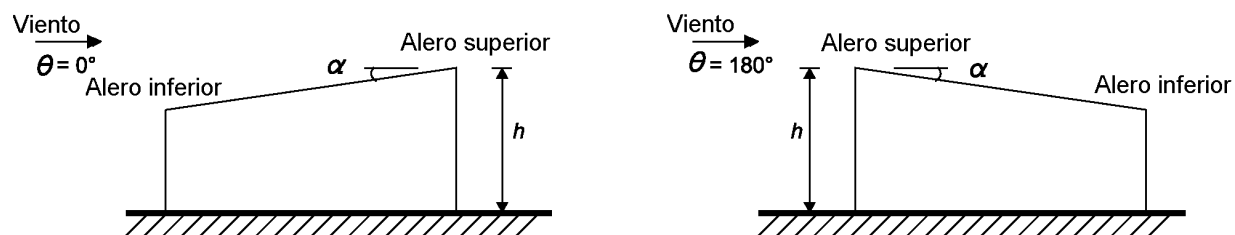
NOTA 3 – En la zona I, en la que se proporcionan valores positivos y negativos, deben considerarse ambos valores.

NOTA 4 – En las propias aleros amansardados, los coeficientes de presión externa se recogen en la tabla 7.4a "Coeficientes de presión externa para cubiertas a dos aguas: con dirección de viento 0° ", Zona F y G, en función del ángulo del alero amansardado.

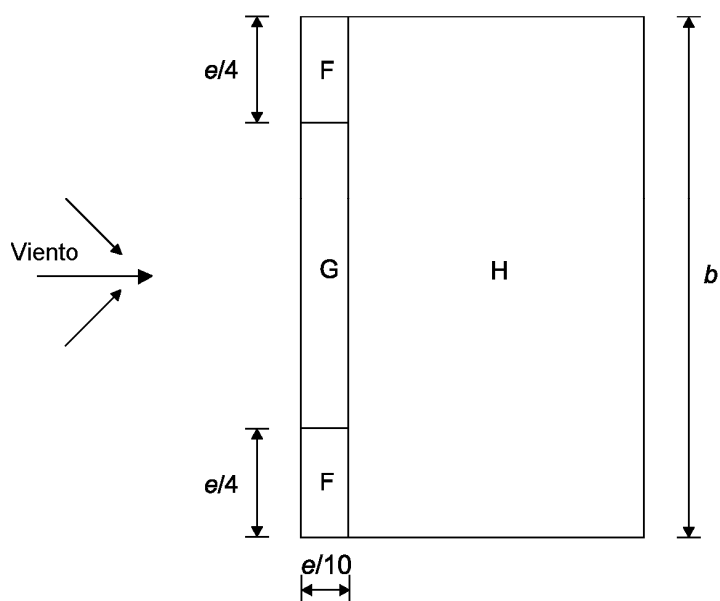
NOTA 5 – En las propias aleros curvados, los coeficientes de presión externa se pueden calcular por interpolación lineal a lo largo de la curva, entre los valores del muro y de la cubierta.

7.2.4 Cubiertas a un agua

- (1) Las cubiertas, incluyendo las partes voladas, se deberían dividir en zonas de acuerdo con la figura 7.7.
- (2) La altura de referencia z_e se debería tomar como h .
- (3) Los coeficientes de presión que se deberían utilizar en cada zona se describen en la tabla 7.3.



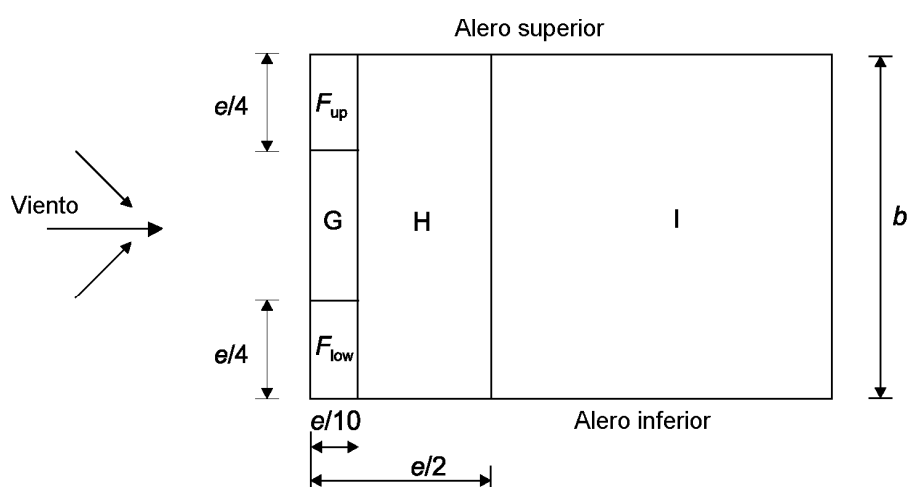
(a) General



(b) Direcciones del viento $\theta = 0^\circ$ y $\theta = 180^\circ$

$e = b$ o $2h$,
el menor de ambos

b : dimensión transversal al viento



(c) Dirección del viento $\theta = 90^\circ$

Fig. 7.7 – Leyenda para cubiertas a un agua

Tabla 7.3a
Coefficientes de presión externa para cubiertas a un agua

| Ángulo de la cubierta α | Zona con dirección del viento $\theta=0^\circ$ | | | | | | Zona con dirección del viento $\theta=180^\circ$ | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|--------------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F | | G | | H | | F | | G | | H | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5° | - 1,7 | - 2,5 | - 1,2 | - 2,0 | - 0,6 | - 1,2 | - 2,3 | - 2,5 | - 1,3 | - 2,0 | - 0,8 | - 1,2 |
| | + 0,0 | | + 0,0 | | + 0,0 | | | | | | | |
| 15° | -0,9 | - 2,0 | - 0,8 | - 1,5 | - 0,3 | | - 2,5 | - 2,8 | - 1,3 | - 2,0 | - 0,9 | - 1,2 |
| | + 0,2 | | + 0,2 | | + 0,2 | | | | | | | |
| 30° | - 0,5 | - 1,5 | - 0,5 | - 1,5 | - 0,2 | | - 1,1 | - 2,3 | - 0,8 | - 1,5 | - 0,8 | |
| | + 0,7 | | + 0,7 | | + 0,4 | | | | | | | |
| 45° | - 0,0 | | - 0,0 | | - 0,0 | | - 0,6 | - 1,3 | - 0,5 | | - 0,7 | |
| | + 0,7 | | + 0,7 | | + 0,6 | | | | | | | |
| 60° | + 0,7 | | + 0,7 | | + 0,7 | | - 0,5 | - 1,0 | - 0,5 | | - 0,5 | |
| 75° | + 0,8 | | + 0,8 | | + 0,8 | | - 0,5 | - 1,0 | - 0,5 | | - 0,5 | |

Tabla 7.3b
Coefficientes de presión externa para cubiertas a un agua

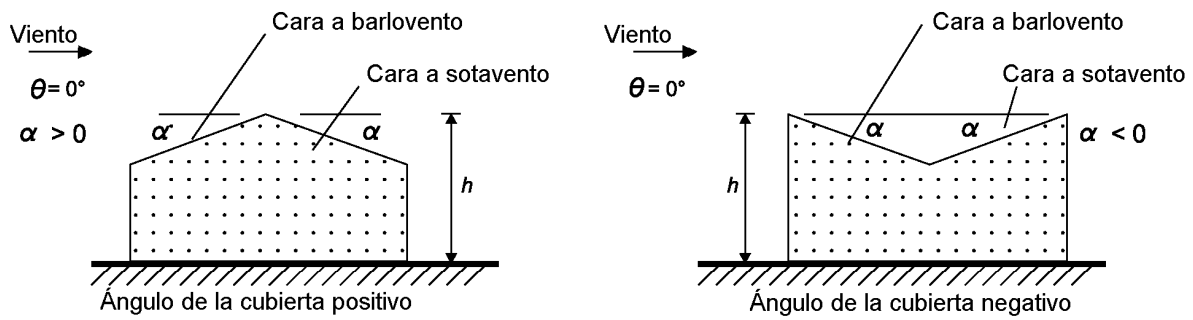
| Ángulo de la cubierta α | Zona con dirección del viento $\theta = 90^\circ$ | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F_{up} | | F_{low} | | G | | H | | I | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5° | -2,1 | -2,6 | -2,1 | -2,4 | -1,8 | -2,0 | -0,6 | -1,2 | -0,5 | |
| 15° | -2,4 | -2,9 | -1,6 | -2,4 | -1,9 | -2,5 | -0,8 | -1,2 | -0,7 | -1,2 |
| 30° | -2,1 | -2,9 | -1,3 | -2,0 | -1,5 | -2,0 | -1,0 | -1,3 | -0,8 | -1,2 |
| 45° | -1,5 | -2,4 | -1,3 | -2,0 | -1,4 | -2,0 | -1,0 | -1,3 | -0,9 | -1,2 |
| 60° | -1,2 | -2,0 | -1,2 | -2,0 | -1,2 | -2,0 | -1,0 | -1,3 | -0,7 | -1,2 |
| 75° | -1,2 | -2,0 | -1,2 | -2,0 | -1,2 | -2,0 | -1,0 | -1,3 | -0,5 | |

NOTA 1 – Para un ángulo $\theta = 0^\circ$ (véase la tabla a)) las presiones cambian rápidamente entre valores positivos y negativos alrededor de un ángulo de cubierta de $\alpha = +5^\circ$ a $+45^\circ$, de modo que se proporcionan valores positivos y negativos. En estas cubiertas se deberían considerar dos casos: uno con todos los valores positivos, y otro con todos los valores negativos. No se permite la mezcla de valores positivos y negativos en la misma cara.

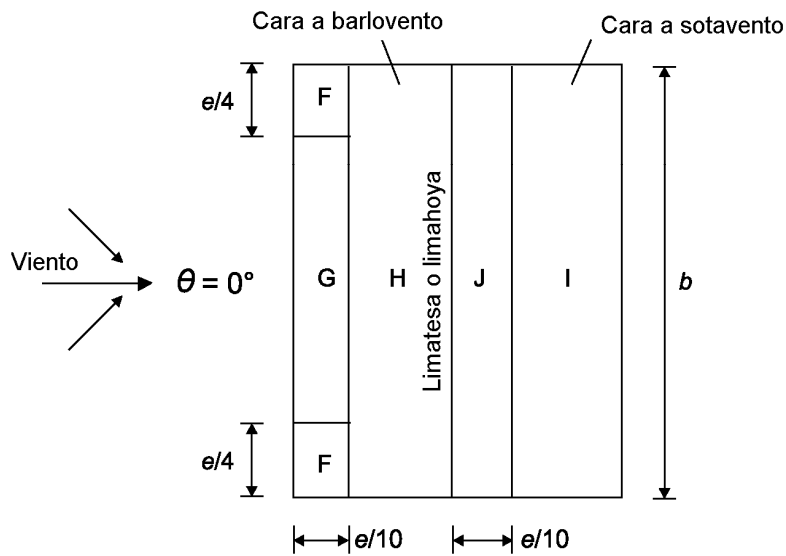
NOTA 2 – Se permite la interpolación lineal para los valores intermedios del ángulo de cubierta con el mismo signo. Los valores iguales a 0,0 se incluyen para facilitar la interpolación.

7.2.5 Cubiertas a dos aguas

- (1) La cubierta, incluyendo las zonas voladas, debería dividirse en zonas tal como indica la figura 7.8.
- (2) La altura de referencia z_e se debería tomar h .
- (3) Los coeficientes de presión que deberían utilizarse para cada zona se definen en la tabla 7.4.



(a) General

(b) Dirección del viento $\theta = 0^\circ$

$e = b$ o $2h$,
 el menor de ambos

b : dimensión transversal al viento

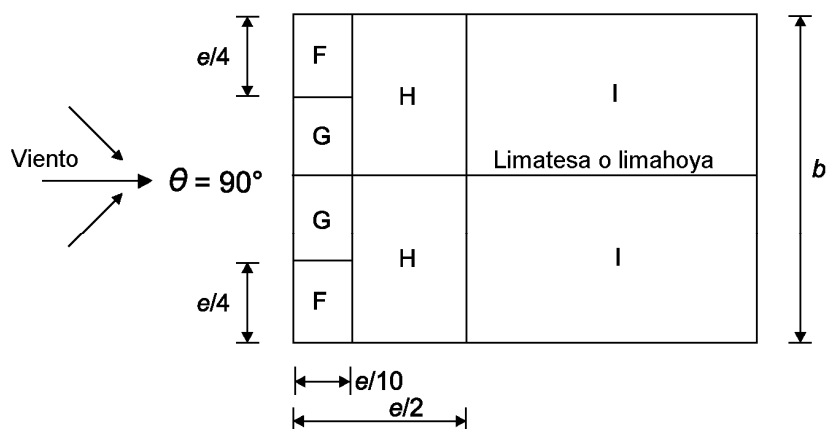
(c) Dirección del viento $\theta = 90^\circ$

Fig. 7.8 – Leyenda para cubiertas a dos aguas

Tabla 7.4a
Coeficientes de presión externa para cubiertas a dos aguas

| Ángulo de la cubierta α | Zona con dirección del viento $\theta = 0^\circ$ | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F | | G | | H | | I | | J | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| -45° | - 0,6 | | -0,6 | | - 0,8 | | - 0,7 | | - 1,0 | - 1,5 |
| -30° | - 1,1 | - 2,0 | - 0,8 | - 1,5 | - 0,8 | | - 0,6 | | - 0,8 | - 1,4 |
| -15° | - 2,5 | - 2,8 | - 1,3 | - 2,0 | - 0,9 | - 1,2 | - 0,5 | | - 0,7 | - 1,2 |
| -5° | - 2,3 | - 2,5 | - 1,2 | - 2,0 | - 0,8 | - 1,2 | + 0,2 | | + 0,2 | |
| | | | | | | | - 0,6 | | - 0,6 | |
| 5° | - 1,7 | - 2,5 | - 1,2 | - 2,0 | - 0,6 | - 1,2 | - 0,6 | | + 0,2 | |
| | + 0,0 | | + 0,0 | | + 0,0 | | | | - 0,6 | |
| 15° | - 0,9 | - 2,0 | - 0,8 | - 1,5 | - 0,3 | | - 0,4 | | - 1,0 | - 1,5 |
| | + 0,2 | | + 0,2 | | + 0,2 | | + 0,0 | | + 0,0 | + 0,0 |
| 30° | - 0,5 | - 1,5 | - 0,5 | - 1,5 | - 0,2 | | - 0,4 | | - 0,5 | |
| | + 0,7 | | + 0,7 | | + 0,4 | | + 0,0 | | + 0,0 | |
| 45° | - 0,0 | | - 0,0 | | - 0,0 | | - 0,2 | | - 0,3 | |
| | + 0,7 | | + 0,7 | | + 0,6 | | + 0,0 | | + 0,0 | |
| 60° | + 0,7 | | + 0,7 | | + 0,7 | | - 0,2 | | - 0,3 | |
| 75° | + 0,8 | | + 0,8 | | + 0,8 | | - 0,2 | | - 0,3 | |
| NOTA 1 – Para un ángulo $\theta = 0^\circ$ la presión cambia rápidamente de valores positivos a negativos en la cara situada a barlovento alrededor de un ángulo de cubierta de $\alpha = -5^\circ$ a $+45^\circ$, por lo que se dan valores positivos y negativos en la tabla. En estas cubiertas, se deberían considerar cuatro casos en los que los valores más altos y más pequeños de todas las áreas F, G, y H se combinen con los valores más altos y más pequeños de las áreas I y J. No se permite el empleo de valores positivos y negativos sobre la misma cara. | | | | | | | | | | |
| NOTA 2 – Se puede emplear la interpolación lineal para valores de ángulo de cubierta intermedios del mismo signo. (No se permite la interpolación entre $\alpha = +5^\circ$ y $\alpha = -5^\circ$, para ello se emplean los datos correspondientes a las cubiertas planas del apartado 7.2.3). Los valores iguales a 0,0 se incluyen para facilitar la interpolación | | | | | | | | | | |

Tabla 7.4b
Coefficientes de presión externa para cubiertas a dos aguas

| Ángulo de la cubierta α | Zona con dirección del viento $\theta = 90^\circ$ | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F | | G | | H | | I | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| -45° | -1,4 | -2,0 | -1,2 | -2,0 | -1,0 | -1,3 | -0,9 | -1,2 |
| -30° | -1,5 | -2,1 | -1,2 | -2,0 | -1,0 | -1,3 | -0,9 | -1,2 |
| -15° | -1,9 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,8 | -1,2 | -0,8 | -1,2 |
| -5° | -1,8 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,7 | -1,2 | -0,6 | -1,2 |
| 5° | -1,6 | -2,2 | -1,3 | -2,0 | -0,7 | -1,2 | -0,6 | |
| 15° | -1,3 | -2,0 | -1,3 | -2,0 | -0,6 | -1,2 | -0,5 | |
| 30° | -1,1 | -1,5 | -1,4 | -2,0 | -0,8 | -1,2 | -0,5 | |
| 45° | -1,1 | -1,5 | -1,4 | -2,0 | -0,9 | -1,2 | -0,5 | |
| 60° | -1,1 | -1,5 | -1,2 | -2,0 | -0,8 | -1,0 | -0,5 | |
| 75° | -1,1 | -1,5 | -1,2 | -2,0 | -0,8 | -1,0 | -0,5 | |

7.2.6 Cubiertas a cuatro aguas

- (1) Las cubiertas, incluidas las zonas voladas, se deberían dividir en zonas de acuerdo con lo mostrado en la figura 7.9.
- (2) La altura de referencia z_e se debería tomar h .
- (3) Los coeficientes de presión que deberían utilizarse se muestran en la tabla 7.5.

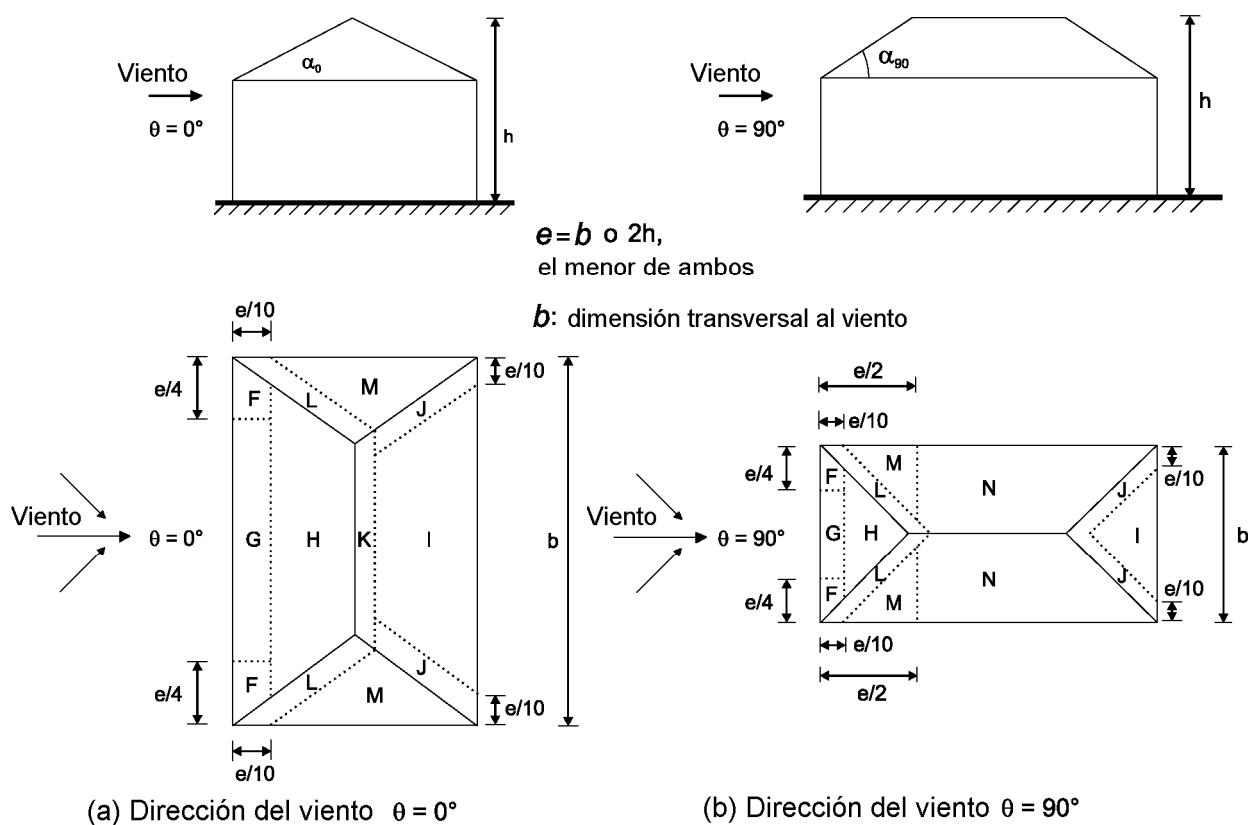


Fig. 7.9 – Leyenda para las cubiertas a cuatro aguas

Tabla 7.5
Coefficientes de presión externa para cubiertas a cuatro aguas

| Ángulo de cubierta α_0 para $\theta=0^\circ$ α_{90} para $\theta=90^\circ$ | Zona con dirección del viento $\theta=0^\circ$ y $\theta=90^\circ$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F | | G | | H | | I | | J | | K | | L | | M | | N | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5° | -1,7 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,6 | -1,2 | -0,3 | | -0,6 | | -0,6 | | -1,2 | -2,0 | -0,6 | -1,2 | -0,4 | |
| | + 0,0 | | + 0,0 | | + 0,0 | | | | | | | | | | | | | |
| 15° | -0,9 | -2,0 | -0,8 | -1,5 | -0,3 | | -0,5 | | -1,0 | -1,5 | -1,2 | -2,0 | -1,4 | -2,0 | -0,6 | -1,2 | -0,3 | |
| | + 0,2 | | + 0,2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30° | -0,5 | -1,5 | -0,5 | -1,5 | -0,2 | | -0,4 | | -0,7 | -1,2 | -0,5 | | -1,4 | -2,0 | -0,8 | -1,2 | -0,2 | |
| | + 0,5 | | + 0,7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45° | -0,0 | | -0,0 | | -0,0 | | -0,3 | | -0,6 | | -0,3 | | -1,3 | -2,0 | -0,8 | -1,2 | -0,2 | |
| | + 0,7 | | + 0,7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60° | + 0,7 | | + 0,7 | | + 0,7 | | -0,3 | | -0,6 | | -0,3 | | -1,2 | -2,0 | -0,4 | | -0,2 | |
| 75° | + 0,8 | | + 0,8 | | + 0,8 | | -0,3 | | -0,6 | | -0,3 | | -1,2 | -2,0 | -0,4 | | -0,2 | |
| NOTA 1 – Para un ángulo $\theta=0^\circ$ la presión cambia rápidamente de valores positivos a negativos en la cara situada a barlovento alrededor de un ángulo de cubierta de $\alpha=+5^\circ$ a 45° , por lo que se dan valores positivos y negativos en la tabla. En estas cubiertas, se deberían considerar dos casos: uno con todos los valores positivos, y otro con los valores negativos. No se permite la mezcla de valores positivos y negativos. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTA 2 – Se puede emplear la interpolación lineal para valores de ángulo de cubierta intermedios del mismo signo. Los valores iguales a 0,0 se incluyen para facilitar la interpolación. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOTA 3 – El ángulo de cubierta de la cara de barlovento es el dominante para la determinación de los coeficientes de presión. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

7.2.7 Cubiertas de vanos múltiples (cubiertas en diente de sierra)

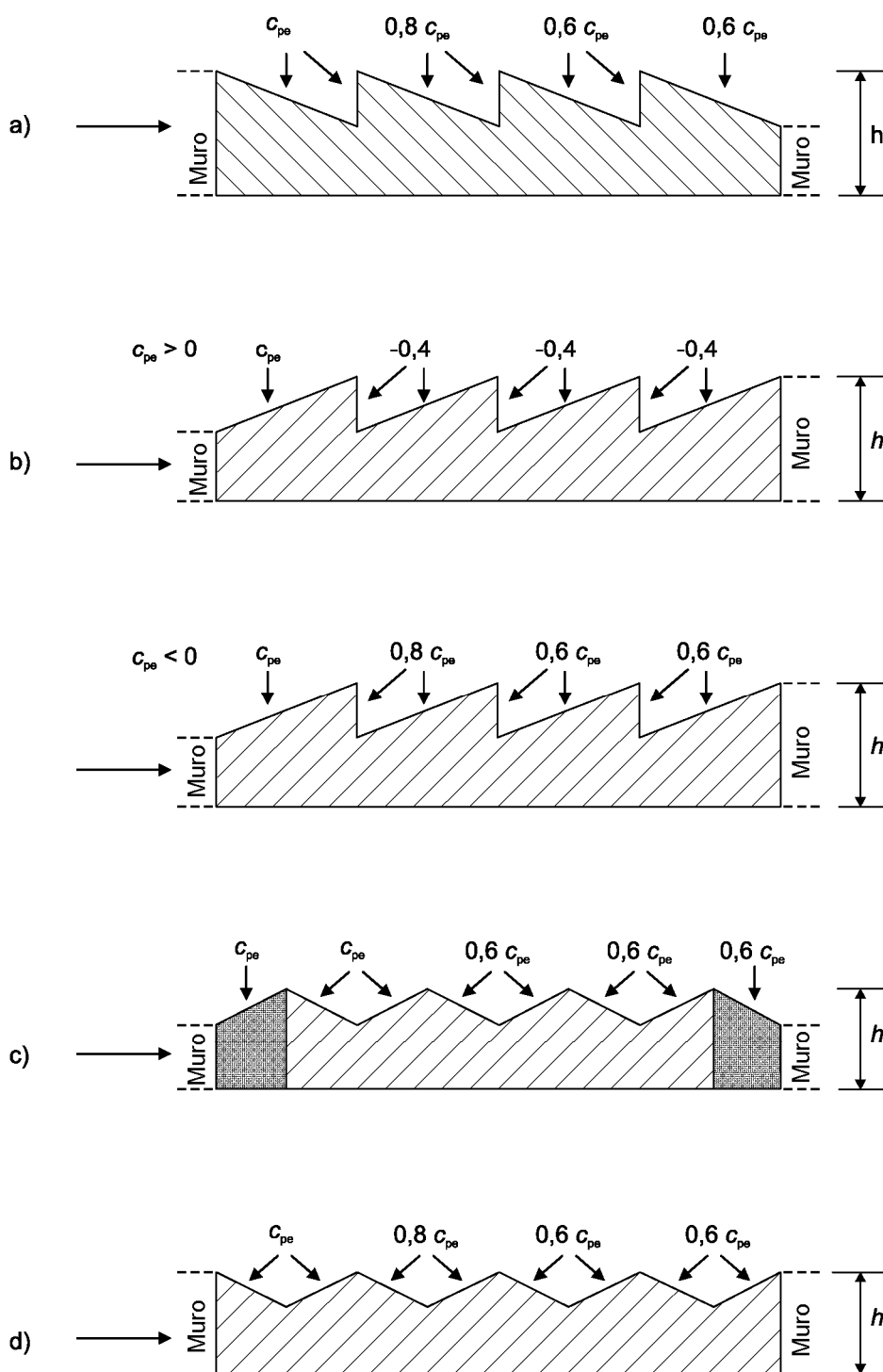
(1) Los coeficientes de presión para las direcciones de viento de 0° , 90° y 180° para cada uno de los vanos de una cubierta de vanos múltiples se pueden determinar de forma individual para cada vano.

Se deberían determinar los coeficientes de modificación (locales y globales) correspondientes a las direcciones del viento de 0° y 180° sobre cada uno de los vanos:

- a partir del apartado 7.2.4 para cubiertas a un agua, modificadas de acuerdo con la posición según se muestra en las figuras 7.10 a y b.
- a partir del apartado 7.2.5 para cubiertas a dos aguas, para $\alpha < 0$ modificadas de acuerdo con la posición según se muestra en las figuras 7.10 c y d.

(2) Las zonas F/G/J utilizadas se deberían considerar únicamente para la cara a barlovento. Las zonas H e I se deberían considerar para cada uno de los vanos de la cubierta.

(3) La altura de referencia z_e , se debería tomar como la altura de la estructura, h , véase la figura 7.10.



NOTA 1 – En la configuración *b*, se deberían considerar dos casos en función del signo del coeficiente de presión c_{pe} de la primera cubierta.

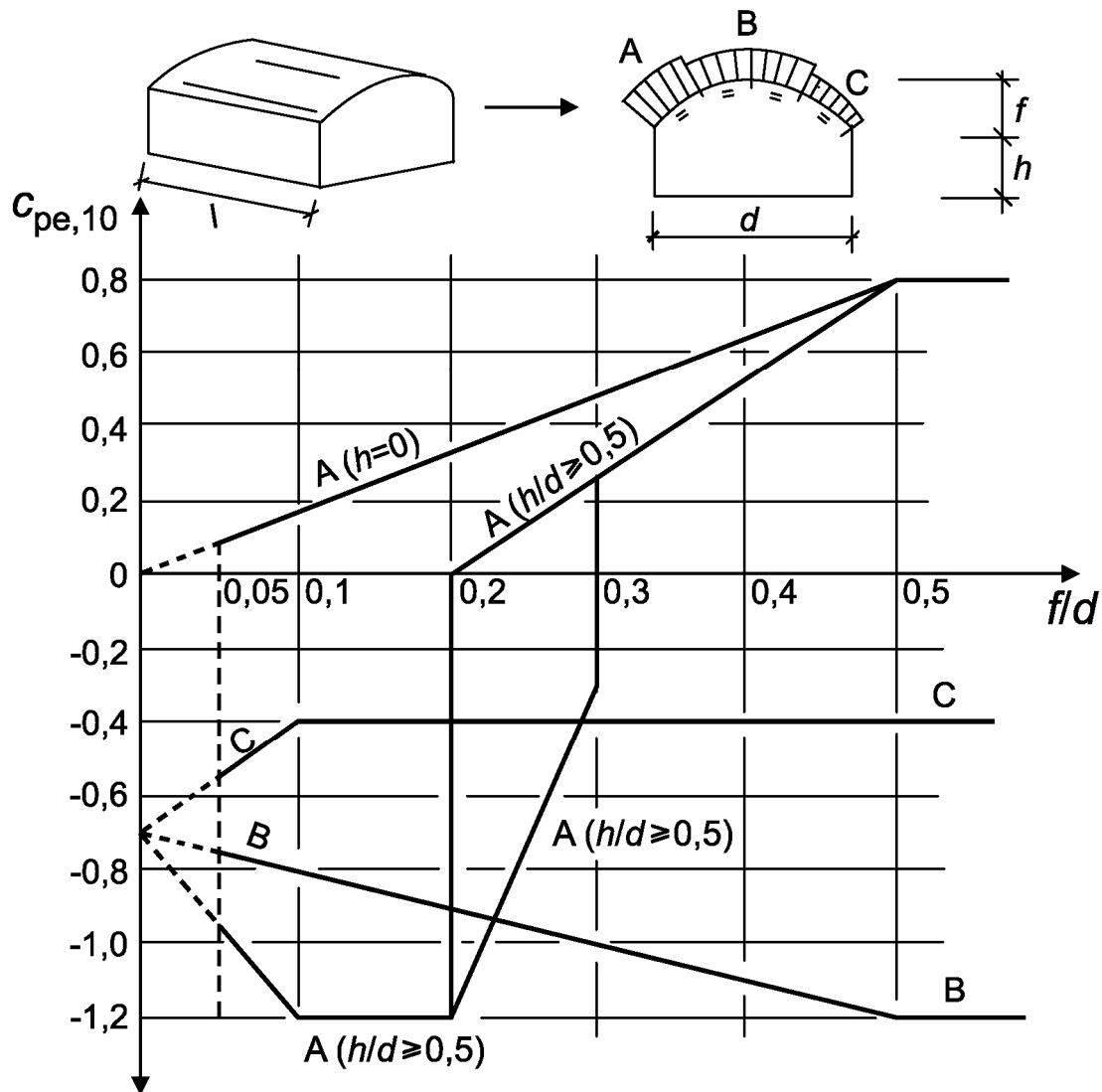
NOTA 2 – En la configuración *c*, el primer coeficiente c_{pe} es el coeficiente c_{pe} correspondiente a cubiertas a un agua, el segundo y sucesivos c_{pe} son los valores correspondientes a cubiertas a dos aguas.

Fig. 7.10 – Leyenda para las cubiertas de vanos múltiples (cubiertas en diente de sierra)

7.2.8 Cubiertas abovedadas y cúpulas

(1) Este apartado es aplicable a cubiertas circulares cilíndricas y cúpulas.

NOTA – Los valores de $c_{pe,10}$ y $c_{pe,1}$ a emplear en cubiertas circulares cilíndricas y cúpulas pueden definirse en el anexo nacional. Los valores recomendados de los factores de $c_{pe,10}$ se recogen en las figuras 7.11 y 7.12 para las zonas consideradas. La altura de referencia se debería tomar como $z_e = h + f$.

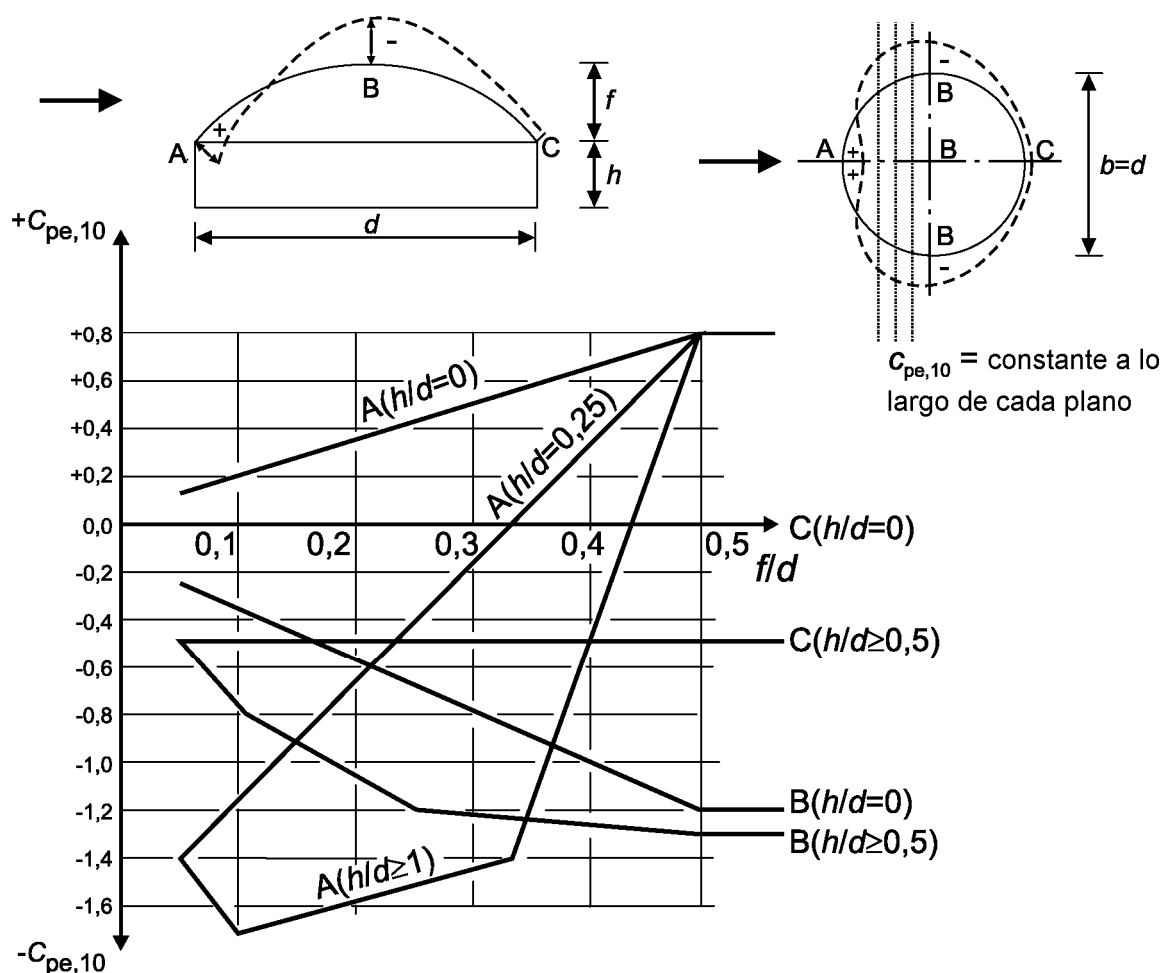


para $0 < h/d < 0,5$, $c_{pe,10}$ se obtiene por interpolación lineal

para $0,2 \leq f/d \leq 0,3$ y $h/d \geq 0,5$, se han de considerar los dos valores de $c_{pe,10}$

El diagrama no es aplicable a cubiertas planas

Fig. 7.11 – Valores recomendados de los coeficientes de presión externa $c_{pe,10}$ en cubiertas abovedadas con planta rectangular



$c_{pe,10}$ es una constante a lo largo de los arcos de círculos, intersecciones de la esfera y de planos perpendiculares a la dirección del viento; se puede determinar como primera aproximación por interpolación lineal entre los valores de A, B y C a lo largo de los arcos de círculos paralelos a la dirección del viento. Del mismo modo, los valores de $c_{pe,10}$ en A, si $0 < h/d < 1$ y en B o C si $0 < h/d < 0,5$ se pueden obtener por interpolación lineal de la figura anterior.

Fig. 7.12 – Valores recomendados de los coeficientes de presión externa $c_{pe,10}$ para cúpulas de planta circular

(2) Los coeficientes de presión para los muros de los edificios de planta rectangular se deberían determinar a partir del apartado 7.2.2.

7.2.9 Presión interna

(1)P Se debe considerar que la presión interna y externa actúan al mismo tiempo. Se debe considerar la combinación más desfavorable de presiones interiores y exteriores para cada combinación de posibles aberturas y otros huecos en la estructura.

(2) Los coeficientes de presión externa, c_{pe} , dependen del tamaño y de la distribución de los huecos en el exterior del edificio. Cuando en al menos dos superficies del edificio (fachadas o cubierta), el área total de huecos en cada cara sea mayor del 30% del área de esa cara, las acciones sobre la estructura no se deberían calcular mediante las reglas de este apartado. En su lugar, se deberían utilizar los apartados 7.3 y 7.4.

NOTA – Los huecos de un edificio incluyen pequeños huecos como ventanas abiertas, huecos de ventilación, chimeneas, etc. así como la propia permeabilidad al aire de elementos como puertas, ventanas, y servicios a través de la envolvente del edificio. El valor típico de permeabilidad al aire de un edificio está en el rango de 0,01% a 0,1% de la superficie de la cara expuesta. Se puede incluir información adicional en el anexo nacional.

(3) Cuando un hueco exterior, como una puerta o ventana, se mantenga la mayor parte del tiempo abierta pero se considere como cerrada en el estado límite último, durante tormentas de vientos severas, se debería considerar esta situación como una situación accidental de proyecto, tal y como se define en la Norma EN 1990.

NOTA – La comprobación de las situaciones accidentales de proyecto resulta importante en el caso de paredes altas interiores (con alto riesgo de peligro) cuando, debido a los huecos de la fachada la pared tiene que soportar toda la acción del viento externo.

(4) Se debería considerar una fachada de un edificio como dominante cuando el área de los huecos de esta fachada sea, al menos, el doble del área de los huecos del resto de las áreas o fachadas del edificio.

NOTA – Esto se puede aplicar igualmente a los volúmenes interiores del edificio.

(5) En un edificio con una fachada o área dominante, la presión interna se debería tomar como una fracción de la presión externa en los huecos de la fachada dominante. Para ello, se deberían emplear los valores proporcionados por las expresiones (7.1) y (7.2).

Cuando el área de los huecos en la fachada dominante sea dos veces el área de los huecos del resto de fachadas,

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe} \quad (7.1)$$

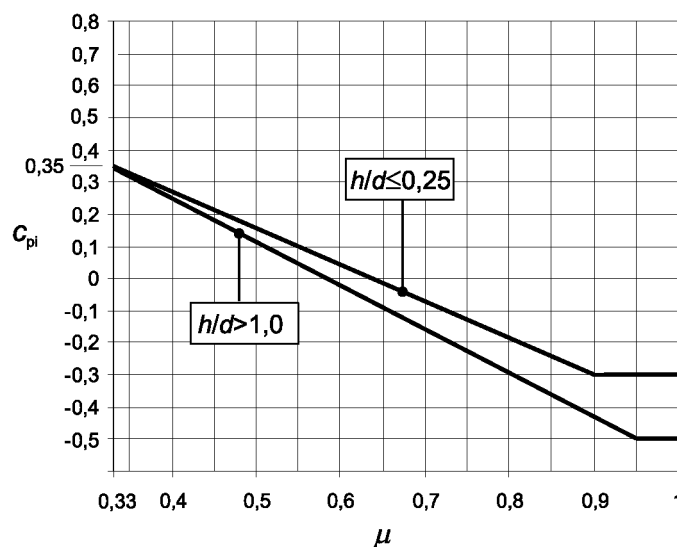
Cuando el área de los huecos en la fachada dominante sea al menos 3 veces el área de los huecos del resto de fachadas,

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe} \quad (7.2)$$

donde c_{pe} es el valor del coeficiente de presión externa en los huecos de la fachada dominante. Cuando estos huecos estén situados en zonas con diferentes coeficientes de presión externa, se debería emplear un valor de c_{pe} ponderado.

Cuando el área de los huecos de la fachada dominante esté entre 2 y 3 veces el área de los huecos de las fachadas restantes, se puede emplear la interpolación lineal para el cálculo de c_{pi} .

(6) En edificaciones sin una fachada dominante, el coeficiente de presión interna, c_{pi} , se debería determinar a partir de la figura 7.13, como función de la relación entre la altura y la profundidad del edificio, h/d , y el porcentaje de huecos μ que se debería determinar para cada dirección de viento θ , mediante la expresión (7.3).



NOTA – Para los valores de h/d entre 0,25 y 1,0 se puede emplear la interpolación lineal.

Fig. 7.13 – Coeficientes de presión interna para huecos distribuidos uniformemente

$$\mu = \frac{\sum \text{área de huecos con } c_{pe} \text{ negativa o } 0,0}{\sum \text{área de todos los huecos}} \quad (7.3)$$

NOTA 1 – Esto se aplica a fachadas y cubiertas de edificios con y sin particiones interiores.

NOTA 2 – Cuando no sea posible, o no se considere justificado, el cálculo de μ para un caso particular, entonces el valor de c_{pi} se debería tomar como el valor más desfavorable entre + 0,2 y - 0,3.

(7) La altura de referencia z_i para el cálculo de las presiones internas debería ser igual a la altura de referencia z_e para el cálculo de las presiones exteriores (véase el punto (1)P del apartado 5.1) de las superficies que contribuyen con sus huecos a la creación de la presión interna. Si existen diferentes huecos sobre la fachada debería emplearse el valor más alto de z_e para determinar z_i .

(8) El coeficiente de presión interna en silos abiertos y chimeneas debería basarse en la expresión (7.4):

$$c_{pi} = -0,60 \quad (7.4)$$

El coeficiente de presión interna de depósitos con pequeñas aberturas deberían basarse en la expresión (7.5):

$$c_{pi} = -0,40 \quad (7.5)$$

La altura de referencia z_i es igual a la altura de la estructura.

7.2.10 Presiones sobre muros y cubiertas con más de una capa

(1) La fuerza debida al viento ha de calcularse separadamente para cada capa.

(2) La permeabilidad μ de cada capa se define como la relación del área total de los huecos con respecto al área de cada capa. Se define como capa impermeable aquella con un valor de μ inferior a 0,1%.

(3) Si solamente una de las capas es permeable, entonces la fuerza del viento sobre la capa impermeable se debería determinar a partir de la diferencia entre la presión interna y la presión externa debida al viento tal como se describe en el punto (3) del apartado 5.2. Si más de una capa fuera permeable, entonces la fuerza debida al viento en cada capa depende de:

- La rigidez relativa de las capas.
- Las presiones interiores y exteriores.
- La distancia entre capas.
- La permeabilidad de las capas.
- Los huecos existentes en el contorno del espacio entre capas cerrado.

NOTA 1 – El anexo nacional puede proporcionar valores para los efectos del viento en muros y cubiertas exteriores con más de una capa. Como primera aproximación, se recomienda que se tome como presión debida al viento de la capa más rígida la diferencia entre la presión interna y externa

NOTA 2 – El anexo nacional puede proporcionar reglas de cálculo para aquellos casos en los que el contorno del espacio entre capas cerrado sea estanco al aire (véase la figura 7.14(a)) y en los que la distancia libre entre las capas sea menor de 100 mm (incluyendo el aislante térmico en una de las capas, cuando no hay flujo de aire dentro del aislante). Como primera aproximación, se pueden aplicar las siguientes reglas recomendadas:

- En muros y cubiertas con una capa impermeable interior y una capa permeable exterior con una distribución uniforme de huecos, la fuerza de viento de la capa exterior puede calcularse como $c_{p,net} = 2/3 \cdot c_{pe}$ para una presión positiva y $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pe}$ para una presión negativa. La fuerza del viento en la capa interior se puede calcular como $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$.
- En muros y cubiertas con una capa impermeable interior y una capa impermeable más rígida en el exterior, la fuerza del viento en la capa exterior se puede calcular como $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$.
- En muros y cubiertas con una capa permeable interior con una distribución aproximadamente uniforme de huecos y una capa impermeable exterior, la fuerza del viento en la capa exterior se puede calcular como $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$, y la fuerza debida al viento en la capa interior como $c_{p,net} = 1/3 \cdot c_{pi}$.
- En muros y cubiertas con una capa impermeable en el exterior y una capa impermeable más rígida en el interior, la fuerza del viento en la capa exterior se puede calcular como $c_{p,net} = c_{pe}$ y la fuerza debida al viento en la capa interior como $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$.

Si las entradas de aire ponen en contacto la capa de aire con otras superficies del edificio distintas de la superficie sobre la que está situada la pared (véase la figura 7.14(b)), estas reglas no son aplicables.

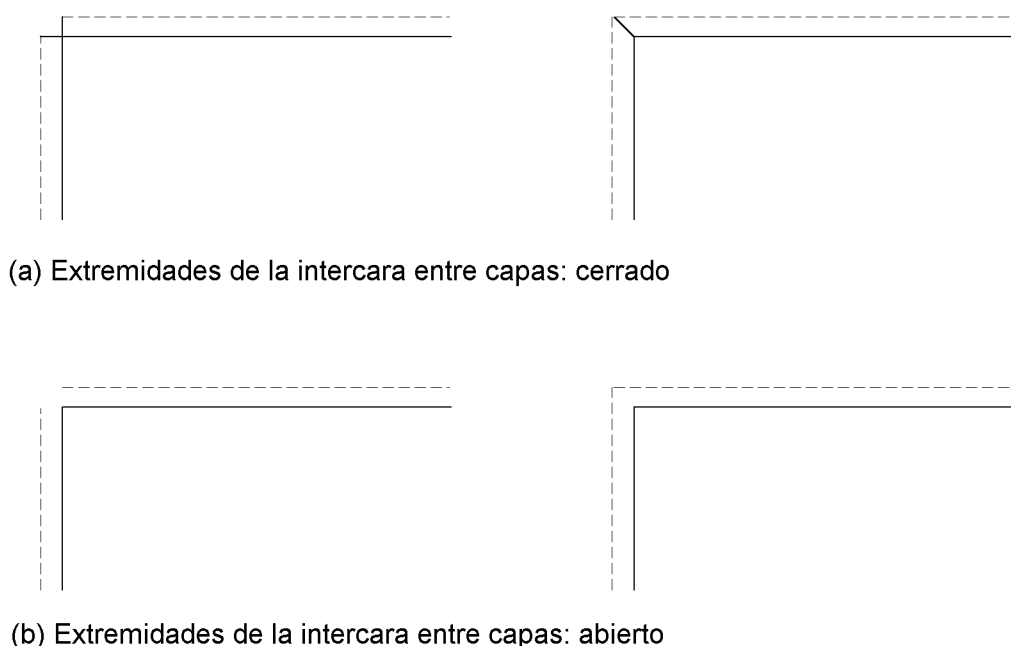


Fig. 7.14 – Detalles de esquina para muros con más de una capa

7.3 Marquesinas

(1) Se define como marquesina la cubierta de una estructura que no tiene muros permanentes, tales como estaciones de servicio, aparcamientos, etc.

(2) El grado de bloqueo bajo una marquesina se muestra en la figura 7.15. Éste depende del bloqueo ϕ , que es la relación del área de los obstáculos, posibles o reales, bajo la marquesina, dividida por el área de la sección transversal bajo la marquesina, siendo ambas áreas normales a la dirección del viento.

NOTA – Un valor de $\phi = 0$ representa una marquesina vacía, mientras que $\phi = 1$ representa una marquesina completamente oculta bajo los aleros de ésta (esto no es una edificación cerrada).

(3) Los coeficientes globales de fuerza, c_f , y presión neta $c_{p,net}$, dados en las tablas 7.6 a 7.8 para $\phi = 0$ y $\phi = 1$ tienen en cuenta el efecto combinado de la acción del viento sobre ambas superficies, la superior y la inferior de la marquesina para todas las direcciones de viento. Para el cálculo de los valores intermedios se puede emplear la interpolación lineal.

(4) A sotavento de la posición de máximo bloqueo se deberían emplear los valores $c_{p,net}$ para $\phi = 0$.

(5) El coeficiente global de fuerza representa la fuerza resultante sobre la estructura. El coeficiente de presión neta representa la presión máxima local para todas las direcciones del viento. Ésta se debería emplear para el cálculo de los elementos de cubierta y fijaciones.

(6) Cada marquesina debe ser capaz de soportar los estados de carga definidos a continuación:

- para una marquesina a un solo agua (véase la tabla 7.6) el centro de presiones se debería tomar a una distancia $d/4$ desde el borde situado a barlovento (d = dimensión paralela a la dirección del viento, véase la figura 7.16);

- para una marquesina a dos aguas (véase la tabla 7.7) el centro de presiones se debería tomar en el centro de cada pendiente (véase la figura 7.17). Además, una marquesina a dos aguas, debería ser capaz de soportar la carga máxima o mínima en una de las pendientes estando la otra sin carga alguna;
- para una marquesina multivano (en diente de sierra) cada carga en cada vano se puede calcular aplicando los coeficientes de reducción ψ_{mc} dados en la tabla 7.8 a los valores de $c_{p,net}$ dados en la tabla 7.7.

En marquesinas con capas dobles, la capa impermeable y sus fijaciones se deberían calcular con $c_{p,net}$ y la capa permeable y sus fijaciones con $1/3 c_{p,net}$.

(7) Se deberían considerar las fuerzas de fricción (véase el apartado 7.5).

(8) La altura de referencia z_e se debería tomar como h tal y como se muestra en las figuras 7.16 y 7.17.

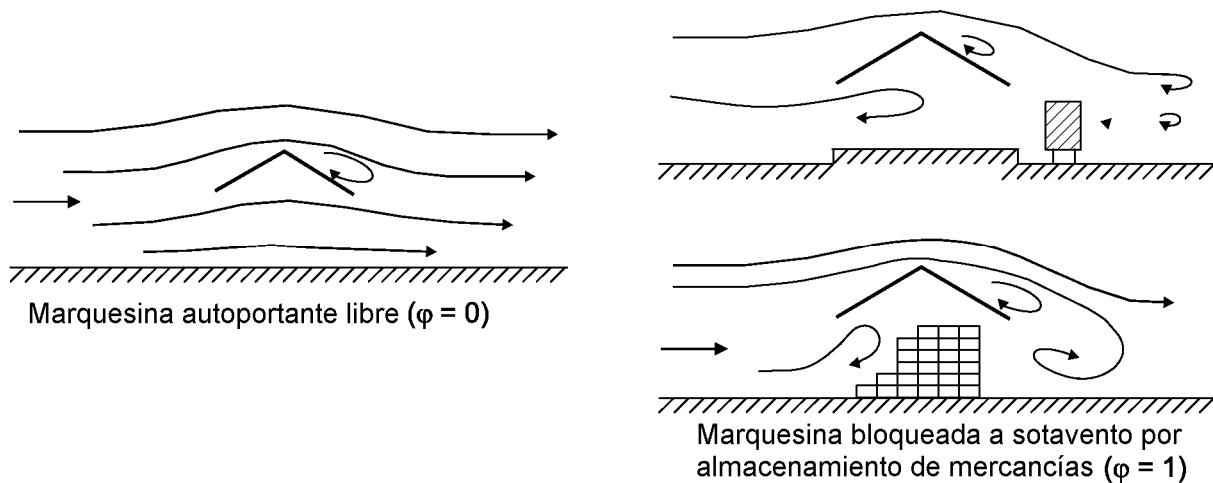
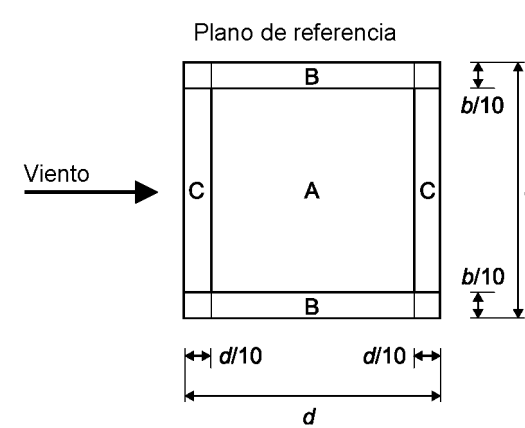


Fig. 7.15 – Flujo de aire sobre marquesinas

Tabla 7.6
Valores de $c_{p,net}$ y c_f para marquesinas a un agua

| | | | Coeficientes de presión neta $c_{p,net}$  | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|
| Ángulo de la cubierta α | Bloqueo φ | Coeficiente global de fuerza c_f | Zona A | Zona B | Zona C |
| 0° | Valor máximo para cualquier φ | + 0,2 | + 0,5 | + 1,8 | + 1,1 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,5 | - 0,6 | - 1,3 | - 1,4 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,5 | - 1,8 | - 2,2 |
| 5° | Valor máximo para cualquier φ | + 0,4 | + 0,8 | + 2,1 | + 1,3 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,7 | - 1,1 | - 1,7 | - 1,8 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,6 | - 2,2 | - 2,5 |
| 10° | Valor máximo para cualquier φ | + 0,5 | + 1,2 | + 2,4 | + 1,6 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,9 | - 1,5 | - 2,0 | - 2,1 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 2,1 | - 2,6 | - 2,7 |
| 15° | Valor máximo para cualquier φ | + 0,7 | + 1,4 | + 2,7 | + 1,8 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 1,1 | - 1,8 | - 2,4 | - 2,5 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,6 | - 2,9 | - 3,0 |
| 20° | Valor máximo para cualquier φ | + 0,8 | + 1,7 | + 2,9 | + 2,1 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 1,3 | - 2,2 | - 2,8 | - 2,9 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,6 | - 2,9 | - 3,0 |
| 25° | Valor máximo para cualquier φ | + 1,0 | + 2,0 | + 3,1 | + 2,3 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 1,6 | - 2,6 | - 3,2 | - 3,2 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,5 | - 2,5 | - 2,8 |
| 30° | Valor máximo para cualquier φ | + 1,2 | + 2,2 | + 3,2 | + 2,4 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 1,8 | - 3,0 | - 3,8 | - 3,6 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,5 | - 2,2 | - 2,7 |
| NOTA — los valores + indican una acción neta en sentido descendente los valores - indican una acción neta en sentido ascendente | | | | | |

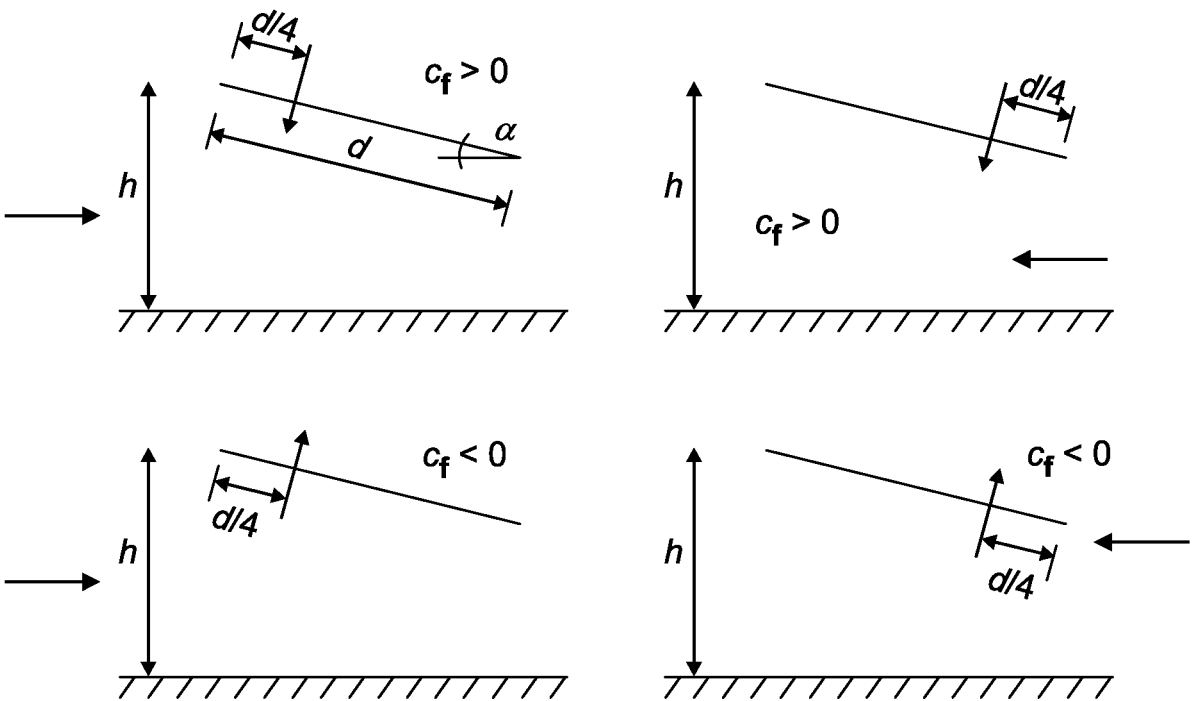
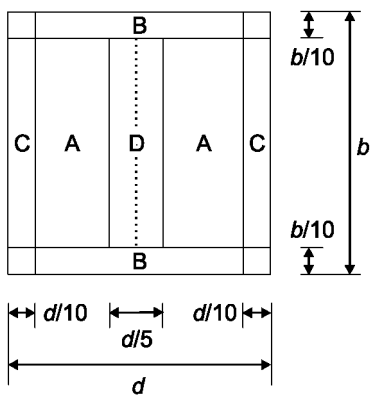


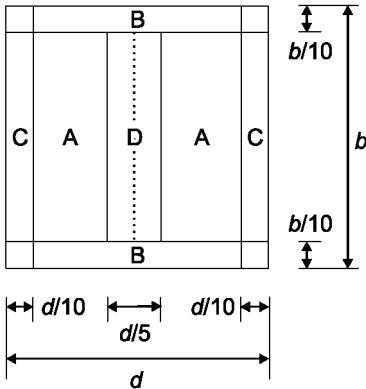
Fig. 7.16 – Localización del centro de fuerzas en marquesinas a un agua

Tabla 7.7
Valores de $c_{p,net}$ y c_f para marquesinas a dos aguas

| | | | Coefficientes de presión neta $c_{p,net}$ Plano de referencia  | | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Ángulo de la cubierta α [°] | Bloqueo φ | Coefficiente global de fuerza c_f | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D |
| - 20 | Valor máximo para cualquier φ | + 0,7 | + 0,8 | + 1,6 | + 0,6 | + 1,7 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,7 | - 0,9 | - 1,3 | - 1,6 | - 0,6 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,5 | - 2,4 | - 2,4 | - 0,6 |
| - 15 | Valor máximo para cualquier φ | + 0,5 | + 0,6 | + 1,5 | + 0,7 | + 1,4 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,6 | - 0,8 | - 1,3 | - 1,6 | - 0,6 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,6 | - 2,7 | - 2,6 | - 0,6 |
| - 10 | Valor máximo para cualquier φ | + 0,4 | + 0,6 | + 1,4 | + 0,8 | + 1,1 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,6 | - 0,8 | - 1,3 | - 1,5 | - 0,6 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,6 | - 2,7 | - 2,6 | - 0,6 |
| - 5 | Valor máximo para cualquier φ | + 0,3 | + 0,5 | + 1,5 | + 0,8 | + 0,8 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,5 | - 0,7 | - 1,3 | - 1,6 | - 0,6 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,5 | - 2,4 | - 2,4 | - 0,6 |
| + 5 | Valor máximo para cualquier φ | + 0,3 | + 0,6 | + 1,8 | + 1,3 | + 0,4 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,6 | - 0,6 | - 1,4 | - 1,4 | - 1,1 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,3 | - 2,0 | - 1,8 | - 1,5 |
| + 10 | Valor máximo para cualquier φ | + 0,4 | + 0,7 | + 1,8 | + 1,4 | + 0,4 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,7 | - 0,7 | - 1,5 | - 1,4 | - 1,4 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,3 | - 2,0 | - 1,8 | - 1,8 |
| + 15 | Valor máximo para cualquier φ | + 0,4 | + 0,9 | + 1,9 | + 1,4 | + 0,4 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,8 | - 0,9 | - 1,7 | - 1,4 | - 1,8 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,3 | - 2,2 | - 1,6 | - 2,1 |

(Continúa)

Tabla 7.7
Valores de $c_{p,net}$ y c_f para marquesinas a dos aguas

| | | | Coefficientes de presión neta $c_{p,net}$ Plano de referencia  | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Ángulo de la cubierta α [°] | Bloqueo φ | Coefficiente global de fuerza c_f | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D |
| + 20 | Valor máximo para cualquier φ | + 0,6 | + 1,1 | + 1,9 | + 1,5 | + 0,4 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 0,9 | - 1,2 | - 1,8 | - 1,4 | - 2,0 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,4 | - 2,2 | - 1,6 | - 2,1 |
| + 25 | Valor máximo para cualquier φ | + 0,7 | + 1,2 | + 1,9 | + 1,6 | + 0,5 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 1,0 | - 1,4 | - 1,9 | - 1,4 | - 2,0 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,4 | - 2,0 | - 1,5 | - 2,0 |
| + 30 | Valor máximo para cualquier φ | + 0,9 | + 1,3 | + 1,9 | + 1,6 | + 0,7 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 0$ | - 1,0 | - 1,4 | - 1,9 | - 1,4 | - 2,0 |
| | Valor mínimo para $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,4 | - 1,8 | - 1,4 | - 2,0 |
| NOTA – los valores + indican una acción neta en sentido descendente. los valores – indican una acción neta en sentido ascendente | | | | | | |

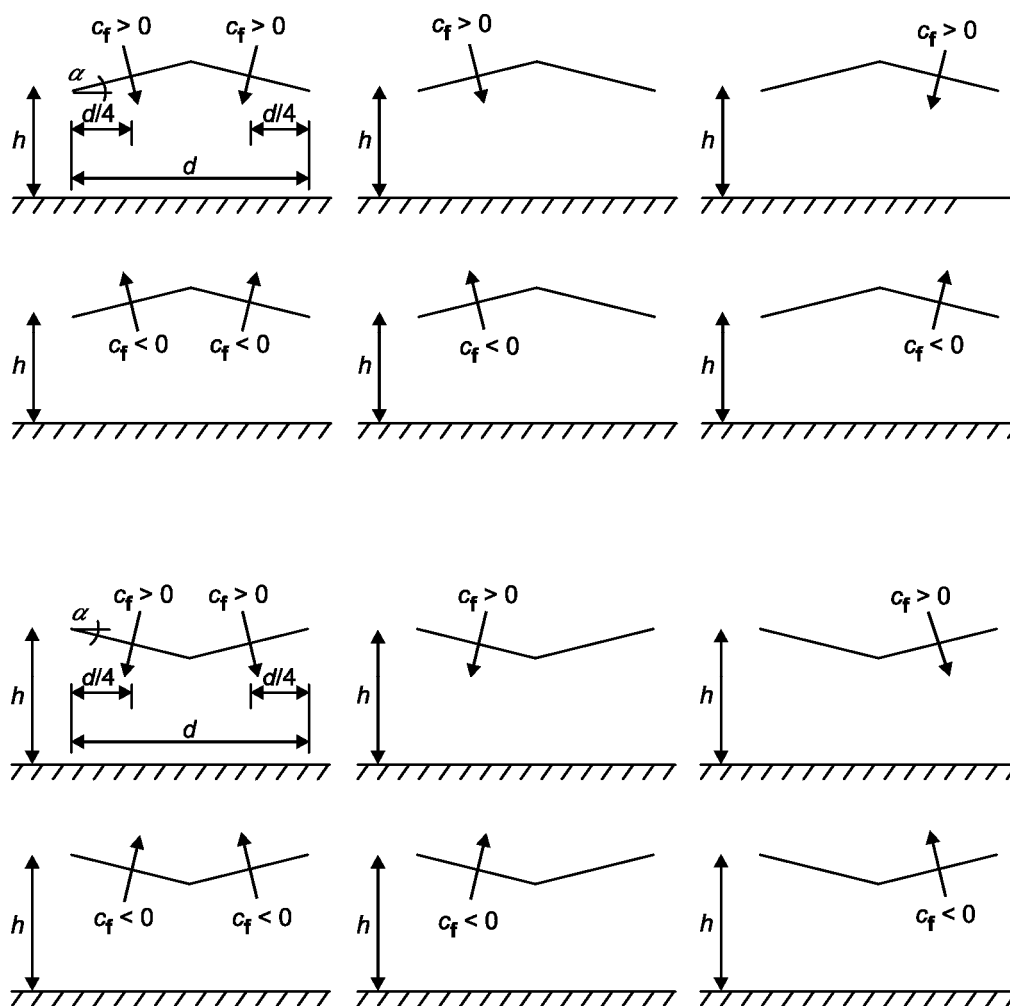


Fig. 7.17 – Distribución de cargas obtenida de los coeficientes de fuerza para marquesinas a dos aguas

(9) Las cargas sobre cada alero de una marquesina en dientes de sierra tal y como se muestran en la figura 7.18, se determinan aplicando los coeficientes de reducción ψ_{mc} incluidos en la tabla 7.8 a la fuerza global y los coeficientes de presión neta para una marquesina aislada a dos aguas.

Tabla 7.8
Coeficientes de reducción ψ_{mc} para marquesinas en dientes de sierra

| Vano | Localización | Factor ψ_{mc} para cualquier ángulo φ | |
|------|----------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| | | Coeficientes máximos de presión y fuerza (hacia abajo) | Coeficientes máximos de presión y fuerza (hacia arriba) |
| 1 | Último vano | 1,0 | 0,8 |
| 2 | Segundo vano | 0,9 | 0,7 |
| 3 | Tercer vano y subsecuentes | 0,7 | 0,7 |

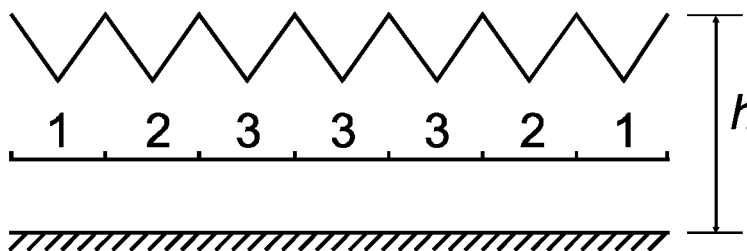


Fig. 7.18 – Marquesinas en dientes de sierra

7.4 Muros autoportantes, barandillas, defensas y carteles de señalización

(1) Los valores de los coeficientes de presión neta $c_{p,net}$ para muros autoportantes y barandillas dependen de la relación de solidez ϕ . Para muros sólidos la relación de solidez ϕ debería tomarse igual a 1, mientras que en muros con un 20% de huecos se debería tomar una relación de solidez de $\phi = 0,8$. Los muros porosos con una relación de solidez $\phi \leq 0,8$ se deberían tratar como estructuras en celosía planas de acuerdo con el apartado 7.11.

NOTA – Para barandillas y barreras antirruído de puentes véase el capítulo 8.

7.4.1 Muros autoportantes y barandillas

(1) En muros autoportantes y barandillas, los coeficientes de presión resultantes $c_{p,net}$ se deberían especificar para las zonas A, B, C y D tal como se muestra en la figura 7.19.

NOTA – Los valores de los coeficientes de presión resultantes $c_{p,net}$ para muros autoportantes y barandillas pueden definirse en el anexo nacional. En la tabla 7.9 se dan los valores recomendados para dos valores diferentes de la relación de solidez, véase el punto (1) del apartado 7.4. Estos valores recomendados corresponden a una dirección del viento oblicua con respecto al muro en caso de que este no tenga contrafuertes en los extremos (véase la figura 7.19) y, en caso de que el muro tenga contrafuertes en los extremos, a las dos direcciones opuestas indicadas en la figura 7.19. El área de referencia en ambos casos es el área bruta del muro. Se puede utilizar la interpolación lineal para los valores de la relación de solidez entre 0,8 y 1.

Tabla 7.9
Coefficientes de presión recomendados $c_{p,net}$ para muros autoportantes y barandillas

| Solidez | Zona | | A | B | C | D |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|
| $\varphi = 1$ | Sin contrafuertes en los extremos | $\ell/h \leq 3$ | 2,3 | 1,4 | 1,2 | 1,2 |
| | | $\ell/h = 5$ | 2,9 | 1,8 | 1,4 | 1,2 |
| | | $\ell/h \geq 10$ | 3,4 | 2,1 | 1,7 | 1,2 |
| | Con contrafuertes en los extremos de longitud $\geq h^a$ | | 2,1 | 1,8 | 1,4 | 1,2 |
| $\varphi = 0,8$ | | | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| ^a Se puede emplear la interpolación lineal para las longitudes de los contrafuertes en los extremos en vuelta entre 0,0 y h | | | | | | |

(2) La altura de referencia para muros autoportantes se debería tomar como $z_e = h$, véase la figura 7.19. La altura de referencia para las barandillas de un edificio se debería tomar como $z_e = (h + h_p)$, véase la figura 7.6.

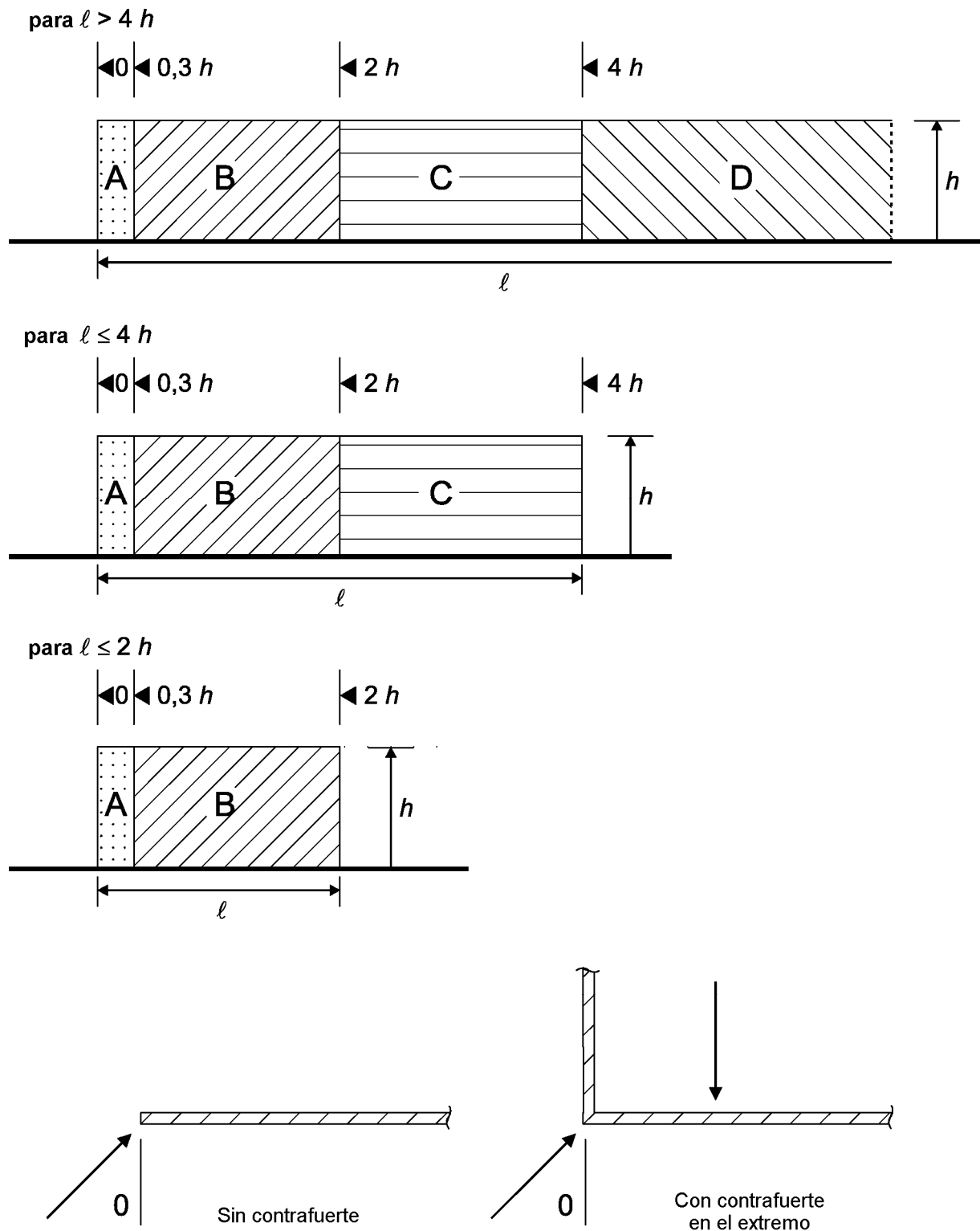


Fig. 7.19 – Leyenda para las zonas de muros autoportantes y barandillas

7.4.2 Factores de abrigo para muros y vallas

(1) Si existen otros muros o vallas a barlovento cuya altura sea igual o superior a la altura del muro o valla en consideración, h , se puede utilizar un factor de abrigo adicional con los coeficientes de presión neta para muros y vallas en celosía. Los valores del factor de abrigo ψ_s dependen de la distancia entre muros o vallas x , y de la relación de solidez y ϕ , de los muros situados a barlovento. Los valores de ψ_s se muestran en la figura 7.20.

El coeficiente de presión neta resultante sobre el muro a resguardo, $c_{p,net,s}$, viene dado por la expresión (7.6):

$$c_{p,net,s} = \psi_s \cdot c_{p,net} \quad (7.6)$$

(2) El coeficiente de abrigo no se debería aplicar en los bordes del muro, a una distancia de h medida desde el extremo libre del muro.

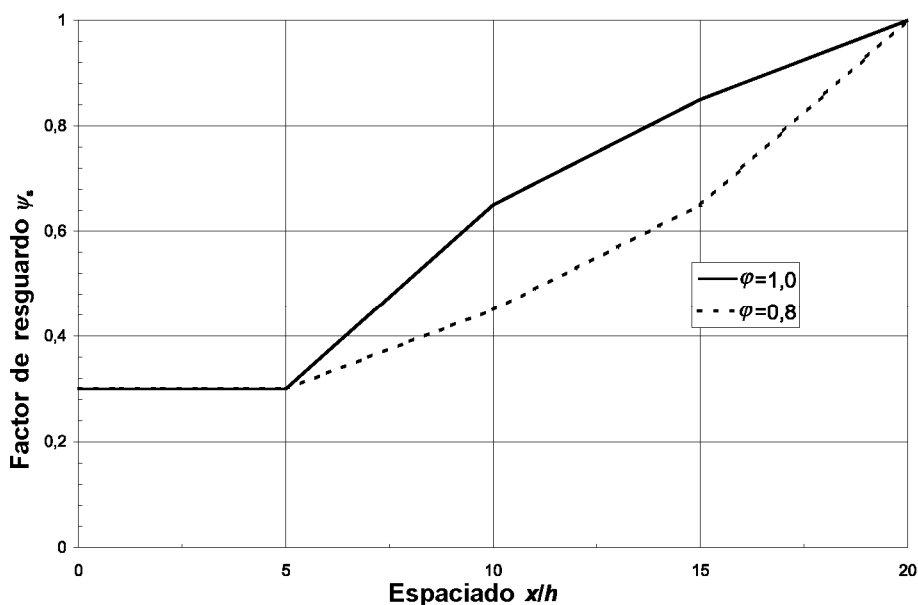


Fig. 7.20 – Coeficiente de abrigo ψ_s para muros y vallas para valores de la relación de solidez ϕ entre 0,8 y 1,0

7.4.3 Carteles de señalización

(1) En el caso carteles de señalización, cuya separación del suelo sea una altura z_g mayor que $h/4$ (véase la figura 7.21), los coeficientes de fuerza viene dados por la expresión (7.7):

$$c_f = 1,80 \quad (7.7)$$

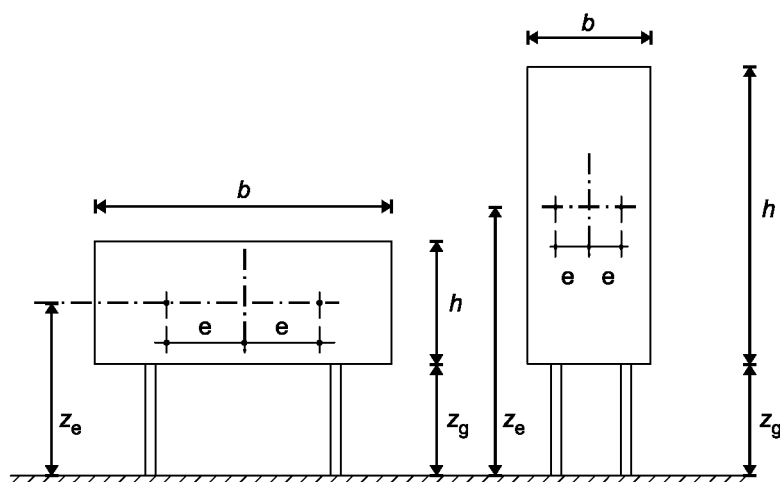
La expresión (7.7) también es aplicable cuando z_g es menor que $h/4$, y $b/h \leq 1$.

(2) La fuerza resultante normal al cartel de señalización, se debería tomar como actuando a la altura del centro de la superficie del cartel de señalización con una excentricidad horizontal e .

NOTA – Los valores de la excentricidad horizontal e pueden definirse en el anexo nacional. El valor recomendado es

$$e = \pm 0,25b \quad (7.8)$$

(3) Los carteles de señalización separados del suelo una altura z_g inferior a $h/4$ y con $b/h > 1$ se deberían tratar como muros de contorno, véase el apartado 7.4.1.



NOTA 1 — altura de referencia: $z_e = z_g + h/2$.

NOTA 2 — área de referencia: $A_{ref} = b \cdot h$.

Fig. 7.21 — Leyenda para carteles de señalización

Se deberían verificar las posibles inestabilidades aeroelásticas o de divergencia.

7.5 Coeficientes de fricción

- (1) Se debería considerar el efecto de la fricción en los casos definidos en el punto (3) del apartado 5.3.
- (2) Se deberían utilizar los coeficientes de fricción, c_{fr} para muros y superficies de cubiertas definidos en la tabla 7.10.
- (3) El área de referencia A_{fr} se define en la figura 7.22. Las fuerzas de fricción se deberían aplicar en la parte de las superficies externas paralelas a la dirección del viento, situadas a una distancia desde las esquinas o aleros a barlovento igual al valor más pequeño entre $2 \cdot b$ o $4 \cdot h$.
- (4) La altura de referencia z_e se debería tomar como la altura de la estructura sobre el terreno o la altura del edificio h , véase la figura 7.22.

Tabla 7.10
Coeficientes de fricción c_{fr} para muros, barandillas y superficies de cubiertas

| Superficie | Coeficiente de fricción c_{fr} |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Suave (es decir acero, hormigón sin rugosidades) | 0,01 |
| Rugoso (es decir hormigón rugoso, cubiertas alquitranadas) | 0,02 |
| Muy rugoso (es decir ondas, costillas, pliegues) | 0,04 |

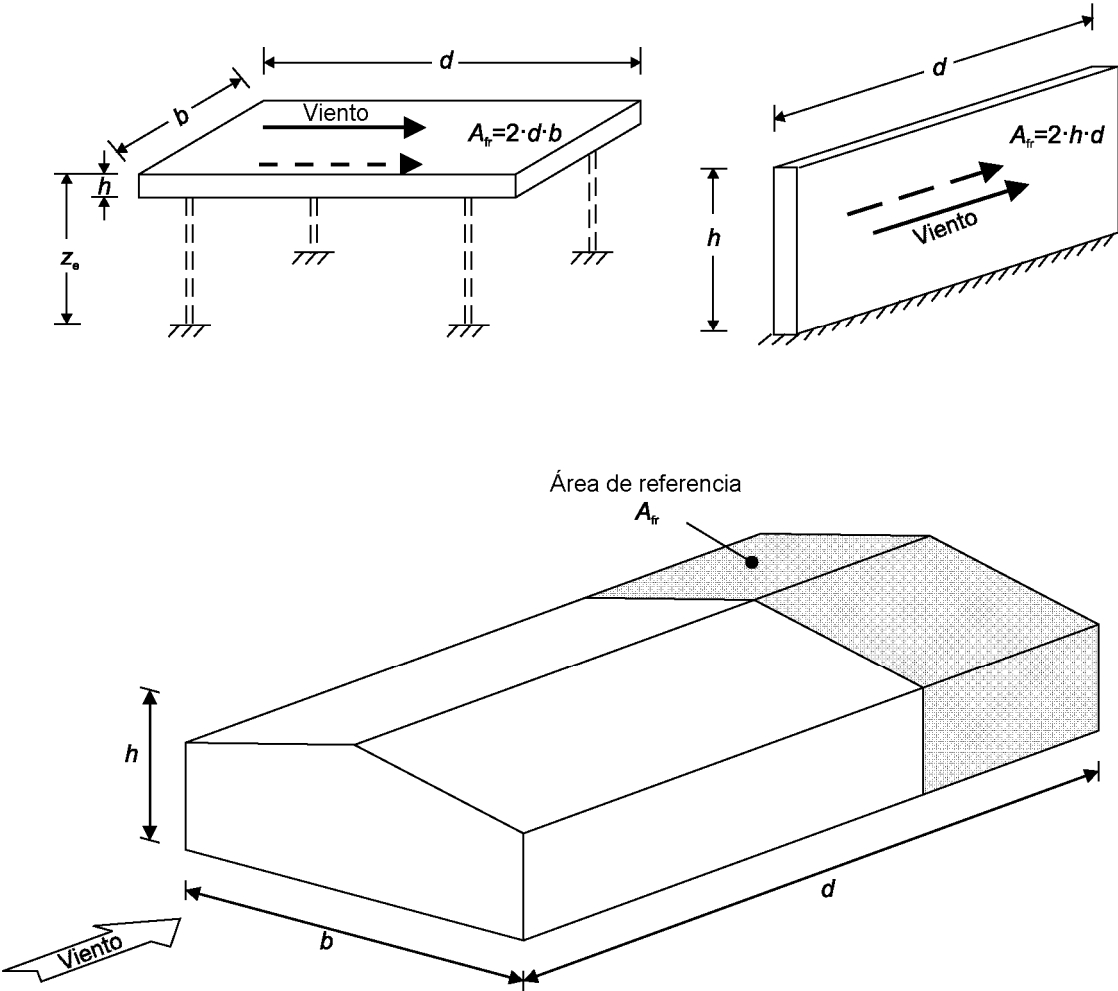


Fig. 7.22 – Área de referencia para la determinación de la fricción

7.6 Elementos estructurales con sección rectangular

(1) El coeficiente de fuerza c_f de un elemento estructural de sección rectangular con la acción de viento perpendicular a una de las caras, se debería determinar mediante la expresión (7.9):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_{\lambda} \quad (7.9)$$

donde

$c_{f,0}$ es el coeficiente de fuerza para secciones rectangulares con esquinas vivas y sin considerar el flujo libre de cola de la sección, indicado en la figura 7.23.

ψ_r es el factor de reducción para secciones rectangulares con esquinas redondeadas ψ_r que depende del número de Reynolds, véase la nota 1.

ψ_{λ} es el factor del efecto cola para elementos con flujo libre de cola, como se define en el apartado 7.13.

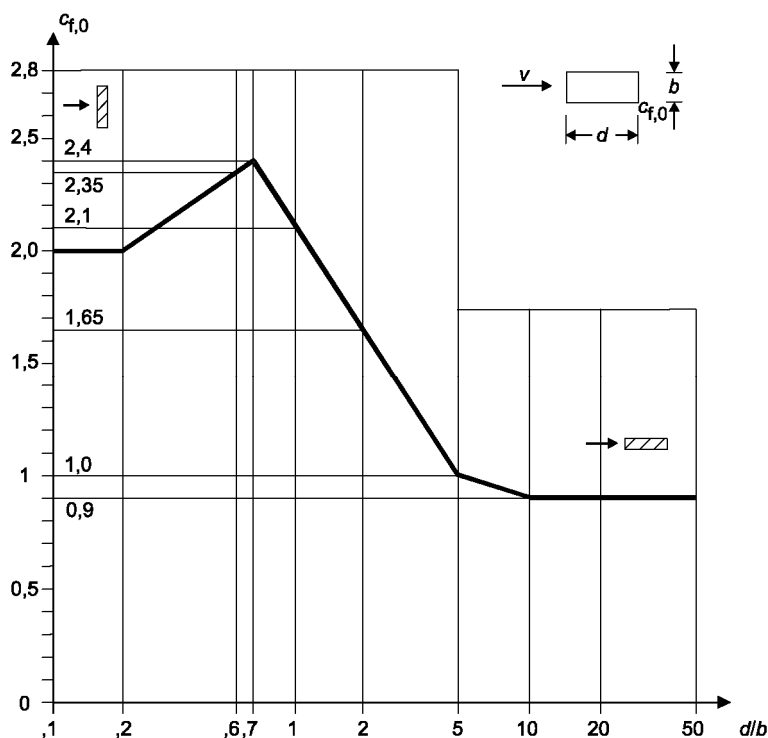


Fig. 7.23 – Coeficientes de fuerza $c_{f,0}$ para secciones rectangulares con esquinas vivas y sin considerar el flujo libre de cola

NOTA 1 – Los valores de ψ_r se pueden definir en el anexo nacional. Los valores de límite superior recomendados de ψ_r se muestran en la figura 7.24. La figura 7.24 se ha obtenido en condiciones de baja turbulencia. Estos coeficientes se suponen seguros.

NOTA 2 – La figura 7.24 se puede emplear también en edificios donde $h/d > 5,0$.

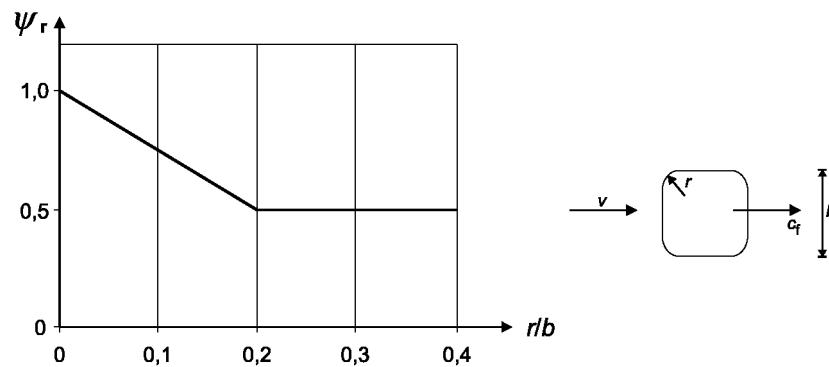


Fig. 7.24 – Factor de reducción ψ_r para secciones transversales cuadradas con esquinas redondeadas

(2) El área de referencia A_{ref} se debería determinar mediante la expresión (7.10)

$$A_{\text{ref}} = \ell \cdot b \quad (7.10)$$

donde

ℓ es la longitud del elemento estructural considerado.

La altura de referencia z_e es igual a la altura máxima sobre el terreno de la sección considerada.

(3) Para secciones tipo placa ($d/b < 0,2$) las fuerzas de sustentación pueden dar lugar, bajo ciertos ángulos de ataque del viento, a valores más altos de c_f hasta un incremento del 25%.

7.7 Elementos estructurales con sección de bordes vivos

(1) El coeficiente de fuerza c_f para elementos estructurales con sección de bordes vivos (por ejemplo, elementos con sección transversal como las mostradas en la figura 7.25) se debería determinar mediante la expresión (7.11).

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.11)$$

ψ_λ es el factor del efecto cola (véase el apartado 7.13).

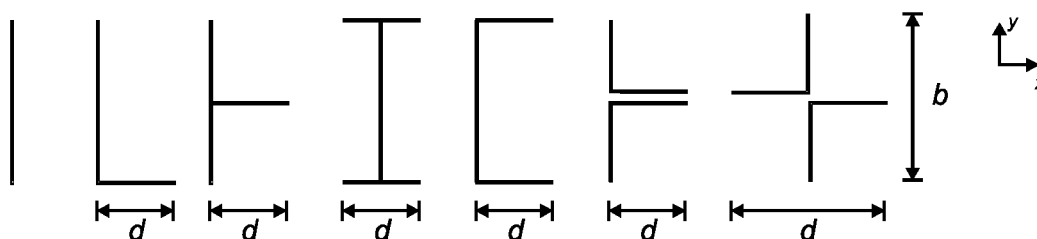


Fig. 7.25 – Secciones estructurales con bordes vivos

NOTA 1 – El anexo nacional puede especificar los valores de $c_{f,0}$. En aquellos elementos con flujo libre de cola, el valor recomendado es 2,0. Este valor está basado en medidas en condiciones de baja turbulencia. Se supone que es un valor seguro.

NOTA 2 – La expresión (7.11) y la figura 7.25 pueden también emplearse en edificios con $h/d > 5,0$.

(2) Las áreas de referencia (véase la figura 7.25), se deberían tomar como sigue:

$$\begin{aligned} \text{en la dirección } x: \quad A_{\text{ref},x} &= \ell \cdot b \\ \text{en la dirección } y: \quad A_{\text{ref},y} &= \ell \cdot d \end{aligned} \quad (7.12)$$

donde

ℓ es la longitud del elemento estructural considerado.

(3) En todos los casos, la altura de referencia z_e se debería tomar como la altura máxima sobre el terreno de la sección considerada.

7.8 Elementos estructurales con sección poligonal regular

(1) El coeficiente de fuerza c_f para elementos estructurales con sección poligonal regular con 5 o más caras se debería determinar mediante la expresión (7.13).

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.13)$$

donde

ψ_λ es el factor del efecto cola definido en el apartado 7.13.

$c_{f,0}$ es el coeficiente de fuerza para elementos estructurales sin flujo libre de cola.

NOTA – Los valores de $c_{f,0}$ pueden definirse en el anexo nacional. En la tabla 7.11 se indican valores conservadores recomendados, que están basados en medidas en condiciones de baja turbulencia.

Tabla 7.11
Coefficientes de fuerza $c_{f,0}$ para secciones poligonales regulares

| Número de lados | Sección | Acabado de la superficie y de sus esquinas | Número de Reynolds $Re^{(1)}$ | $c_{f,0}$ |
|-----------------|--------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 5 | Pentágono | Cualquiera | Todos | 1,80 |
| 6 | Hexágono | Cualquiera | Todos | 1,60 |
| 8 | Octógono | Superficie suave $r/b < 0,075$ (2) | $Re \leq 2,4 \cdot 10^5$ | 1,45 |
| | | | $Re \geq 3 \cdot 10^5$ | 1,30 |
| | | Superficie suave $r/b \geq 0,075$ (2) | $Re \leq 2 \cdot 10^5$ | 1,30 |
| | | | $Re \geq 7 \cdot 10^5$ | 1,10 |
| 10 | Decágono | Cualquiera | Todos | 1,30 |
| 12 | Dodecágono | Superficie suave (3) esquinas redondeadas | $2 \cdot 10^5 < Re < 1,2 \cdot 10^6$ | 0,90 |
| | | Cualquier otra | $Re < 4 \cdot 10^5$ | 1,30 |
| | | | $Re > 4 \cdot 10^5$ | 1,10 |
| 16-18 | Hexadecágono | Superficie suave (3) esquinas redondeadas | $Re < 2 \cdot 10^5$ | Se asimilará a un cilindro, véase (7.9) |
| | | | $2 \cdot 10^5 \leq Re < 1,2 \cdot 10^6$ | 0,70 |

El número de Reynolds con $v = v_m$ y v_m dado en el apartado 4.3, Re , se define en el apartado 7.9.

r = radio de la arista, b = diámetro de la circunferencia circunscrita, véase la figura 7.26.

A partir de ensayos en túneles de viento en modelos con superficie de acero galvanizado y una sección con $b = 0,3$ m y radio de acuerdo en las esquinas de $0,06 \cdot b$.

(2) En edificios en los que $h/d > 5$, $c_{f,0}$ se puede determinar mediante la expresión (7.13) y la información que contiene la tabla 7.11 y la figura 7.25.

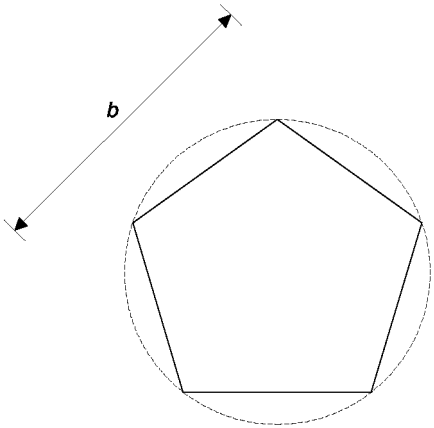


Fig. 7.26 – Sección poligonal regular

(3) El área de referencia A_{ref} se debería obtener mediante la expresión (7.14).

$$A_{\text{ref}} = \ell \cdot b \quad (7.14)$$

donde

ℓ es la longitud del elemento estructural considerado;

b es el diámetro de la circunferencia circunscrita, véase la figura 7.26.

(4) La altura de referencia z_e es igual a la altura máxima sobre el terreno de la sección considerada.

7.9 Cilindros circulares

7.9.1 Coeficientes de presión externa

(1) Los coeficientes de presión de las secciones dependen del número de Reynolds, Re , que se define en la expresión (7.15).

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} \quad (7.15)$$

donde

b es el diámetro;

ν es la viscosidad cinemática del aire ($\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$);

$v(z_e)$ es la velocidad de pico del viento definida en la Nota 2 de la figura 7.27, a una altura z_e .

(2) Los coeficientes de presión externa c_{pe} para cilindros circulares se deberían determinar mediante la expresión (7.16).

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha} \quad (7.16)$$

donde

$c_{p,0}$ es el coeficiente de presión externa sin flujo libre de cola (véase el punto (3));

$\psi_{\lambda\alpha}$ es el factor del efecto cola (véase el punto (4)).

(3) El coeficiente de presión externa $c_{p,0}$ viene dado en la figura 7.27 para diferentes valores del número de Reynolds como función del ángulo α .

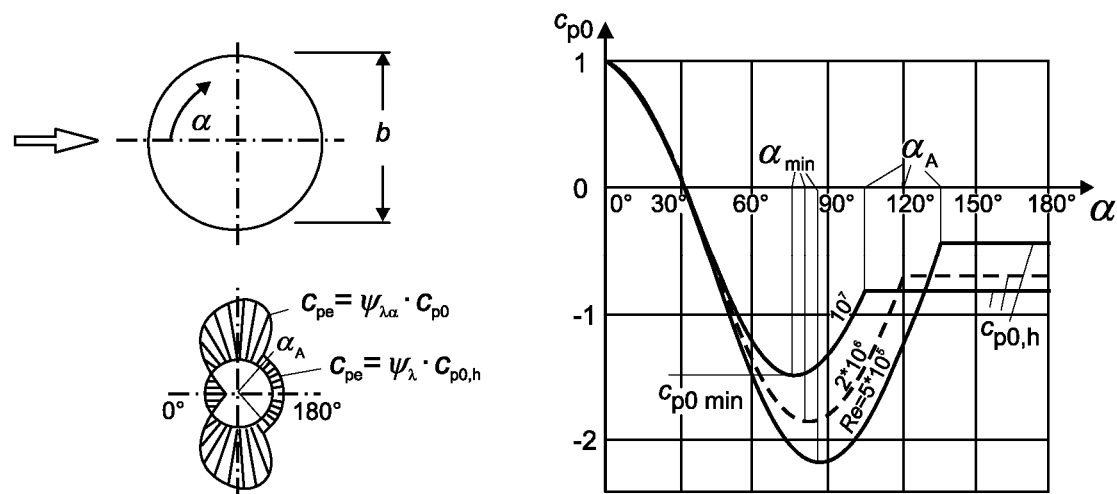
(4) El factor del efecto cola $\psi_{\lambda\alpha}$ viene dado por la expresión (7.17).

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda\alpha} &= 1 & \text{para } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min} \\ \psi_{\lambda\alpha} &= \psi_\lambda + (1 - \psi_\lambda) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) & \text{para } \alpha_{\min} < \alpha < \alpha_A \\ \psi_{\lambda\alpha} &= \psi_\lambda & \text{para } \alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ \end{aligned} \quad (7.17)$$

donde

α_A es la posición de la separación del flujo de aire (véase la figura 7.27);

ψ_λ es el factor del efecto cola (véase el apartado 7.13).



NOTA 1 – Para valores intermedios se puede interpolar linealmente.

NOTA 2 – Los valores típicos de la figura anterior se muestran en la tabla 7.12. La figura y la tala se basan en el número de Reynolds con $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$ y q_p definido en el apartado 4.5.

NOTA 3 – La figura anterior está basada en una rugosidad equivalente k/b inferior a $5 \cdot 10^{-4}$. En la tabla 7.13 se indican valores típicos de la rugosidad.

Fig. 7.27 – Distribución de la presión en cilindros circulares para diferentes rangos del número de Reynolds y sin efecto cola

Tabla 7.12
Valores típicos de la distribución de presiones en cilindros circulares para diferentes rangos del número de Reynolds y sin efecto cola

| <i>Re</i> | α_{\min} | $c_{p0,\min}$ | α_A | $c_{p0,h}$ |
|----------------|-----------------|---------------|------------|------------|
| $5 \cdot 10^5$ | 85 | -2,2 | 135 | - 0,4 |
| $2 \cdot 10^6$ | 80 | -1,9 | 120 | - 0,7 |
| 10^7 | 75 | -1,5 | 105 | - 0,8 |

donde

α_{\min} es la posición de la presión mínima, en [°]

$c_{p0,\min}$ es el valor del coeficiente de presión mínimo

α_A es la posición del punto en el que se separa el flujo, en [°]

$c_{p0,h}$ es el coeficiente de presión base

(5) El área de referencia A_{ref} se debería determinar mediante la expresión (7.18):

$$A_{\text{ref}} = \ell \cdot b \tag{7.18}$$

(6) La altura de referencia z_e es igual a la altura máxima sobre el terreno de la sección considerada.

7.9.2 Coeficientes de fuerza

(1) El coeficiente de fuerza c_f para un cilindro circular finito, se debería determinar mediante la expresión (7.19).

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.19)$$

donde

$c_{f,0}$ es el coeficiente de fuerza para cilindros sin flujo libre de cola (véase la figura 7.28);

ψ_λ es el factor del efecto cola (véase el apartado 7.13).

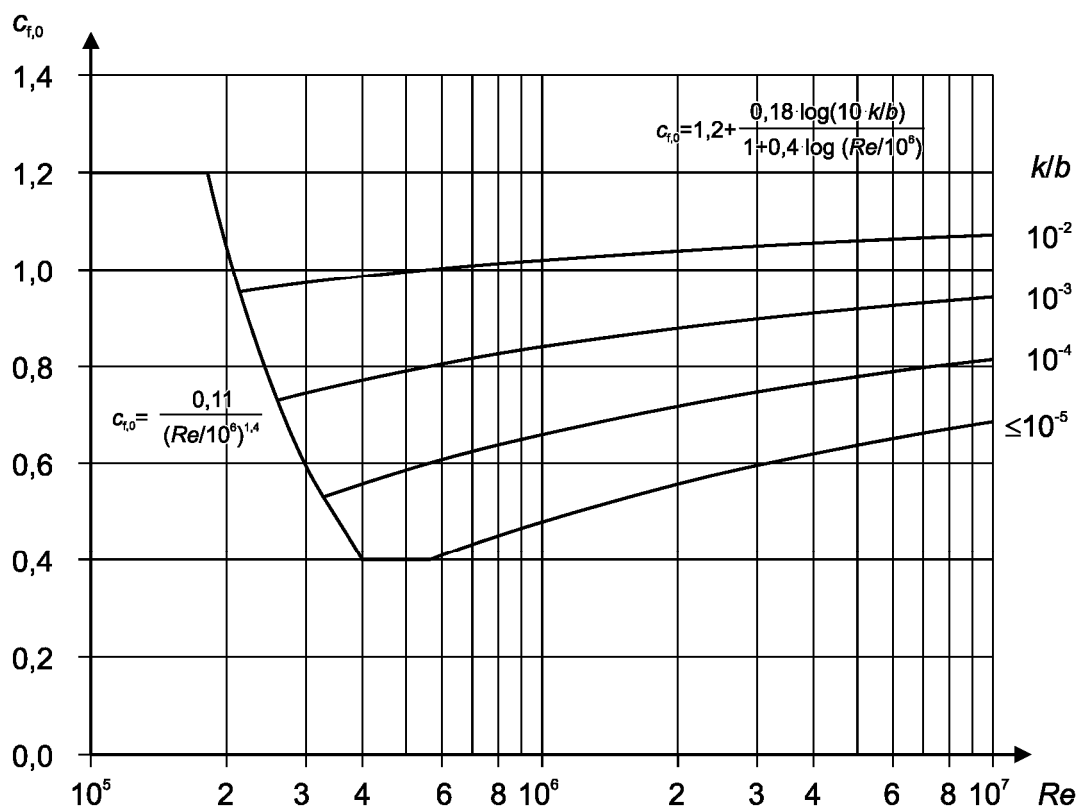


Fig. 7.28 – Coeficiente de fuerza $c_{f,0}$ para cilindros circulares sin flujo libre de cola y para diferentes valores de la rugosidad k/b

NOTA 1 – La figura 7.28 también puede emplearse en edificios en los que $h/d > 5,0$.

NOTA 2 – La figura 7.28 se basa en un número de Reynolds con $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$ y q_p definido en el apartado 4.5.

(2) Los valores de la rugosidad superficial equivalente, k , se muestran en la tabla 7.13.

(3) Para cables envainados c_{f0} es igual a 1,2 para todos los valores del número de Reynolds Re .

Tabla 7.13
Rugosidad superficial equivalente k

| Tipo de superficie | Rugosidad equivalente k mm | Tipo de superficie | Rugosidad equivalente k mm |
|--------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Vidrio | 0,0015 | Hormigón pulido | 0,2 |
| Metal pulido | 0,002 | Madera plana | 0,5 |
| Pintura fina | 0,006 | Hormigón rugoso | 1,0 |
| Pintura en spray | 0,02 | Madera áspera | 2,0 |
| Acero brillante | 0,05 | Óxido | 2,0 |
| Hierro fundido | 0,2 | Enladrillados | 3,0 |
| Acero galvanizado | 0,2 | | |

(4) El área de referencia A_{ref} se debería obtener mediante la expresión (7.20).

$$A_{\text{ref}} = \ell \cdot b \quad (7.20)$$

donde

ℓ es la longitud del elemento estructural considerado.

(5) La altura de referencia z_e es igual a la altura máxima sobre el terreno de la sección considerada.

(6) En cilindros situados cerca de una superficie plana a una distancia tal que $z_g/b < 1,5$ (véase la figura 7.29) es necesario asesoramiento especial.

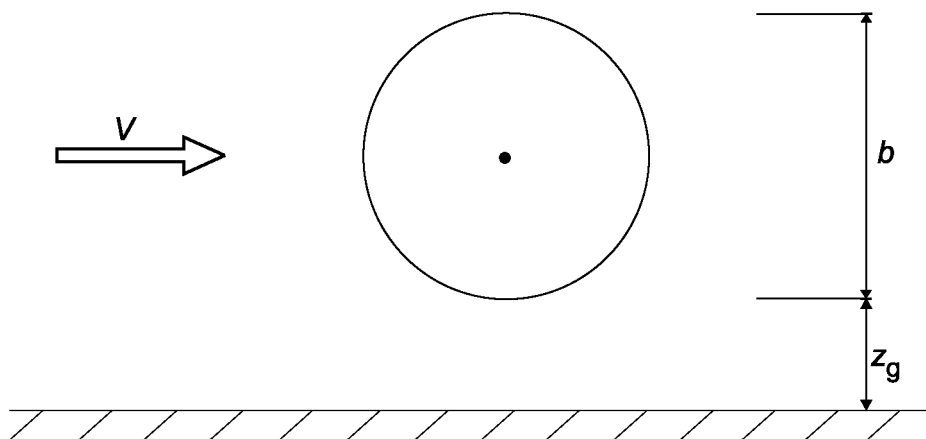


Fig. 7.29 – Cilindro cercano a una superficie plana

7.9.3 Coeficientes de fuerza para cilindros verticales agrupados en filas. El coeficiente de fuerza c_{f0} para cilindros circulares verticales dispuestos en filas depende de la dirección del viento con respecto al eje de la fila y la relación entre la distancia a y el diámetro b tal como se define en la tabla 7.14. El coeficiente de fuerza, c_f , para cada cilindro se puede obtener mediante la expresión (7.21):

$$c_f = c_{f0} \cdot \psi_\lambda \cdot \kappa \quad (7.21)$$

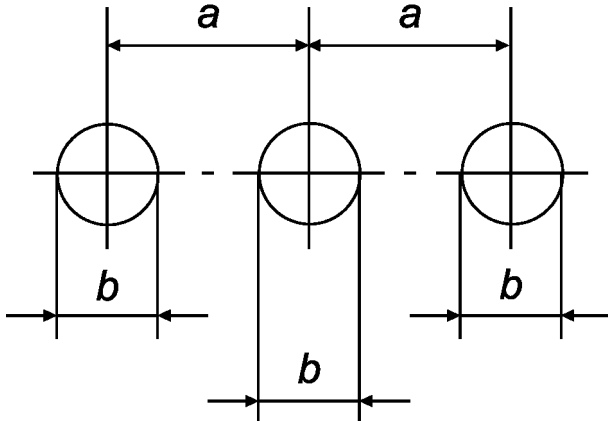
donde

c_{f0} es el coeficiente de fuerza para cilindros sin flujo libre de cola (véase el apartado 7.9.2);

ψ_λ es el factor del efecto cola (véase el apartado 7.13);

κ es el factor dado en la tabla 7.14 (para la dirección del viento más desfavorable).

Tabla 7.14
Factor κ para cilindros verticales agrupados en filas

| a/b | κ |  |
|-----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $a/b < 3,5$ | 1,15 | |
| $3,5 < a/b < 30$ | $\kappa = \frac{210 - \frac{a}{b}}{180}$ | |
| $a/b > 30$ | 1,00 | |
| a : distancia b : diámetro | | |

7.10 Esferas

(1) El coeficiente de fuerza en la dirección del viento c_{fx} para esferas se debería determinar en función del número de Reynolds Re (véase el apartado 7.9.1) y de la rugosidad equivalente k/b (véase la tabla 7.13).

NOTA 1 — Los valores de c_{fx} pueden definirse en el anexo nacional. Los valores recomendados indicados en la figura 7.30 se basan en medidas realizadas con baja turbulencia. Dicha figura está basada en un número de Reynolds de valor $\nu = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$ y q_p definido en el apartado 4.5.

NOTA 2 — Los valores de la figura 7.30 están limitados a un rango de valores de $z_g > b/2$, donde z_g es la distancia de la esfera a una superficie plana, b es el diámetro (véase la figura 7.31). Para valores $z_g < b/2$ el coeficiente de fuerza c_{fx} ha de multiplicarse por el factor 1,6.

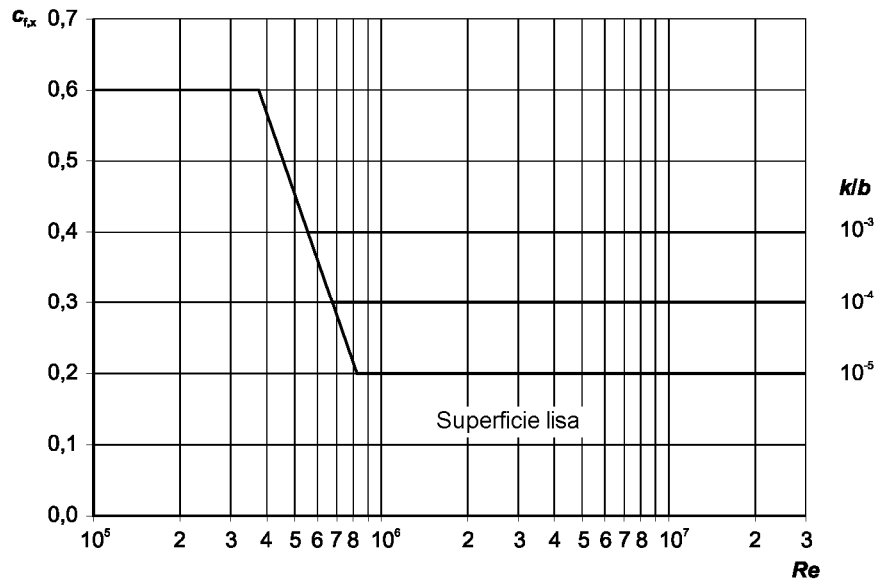


Fig. 7.30 – Coeficiente de fuerza de una esfera en la dirección del viento

(2) El coeficiente de fuerza vertical $c_{f,z}$ para esferas se define por la expresión (7.22).

$$\begin{aligned} c_{f,z} &= 0 & \text{para} & \quad z_g > \frac{b}{2} \\ c_{f,z} &= +0,60 & \text{para} & \quad z_g < \frac{b}{2} \end{aligned} \quad (7.22)$$

(3) En ambos casos el área de referencia A_{ref} se debería determinar mediante la expresión (7.23).

$$A_{\text{ref}} = \pi \cdot \frac{b^2}{4} \quad (7.23)$$

(4) La altura de referencia se debería tomar como:

$$z_e = z_g + \frac{b}{2} \quad (7.24)$$

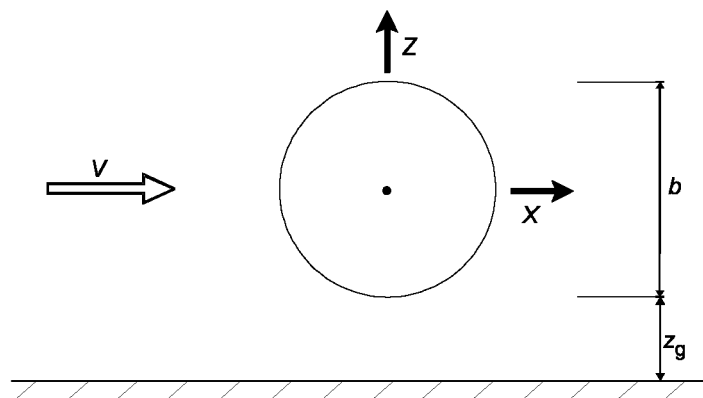


Fig. 7.31 – Esfera cercana a una superficie plana

7.11 Estructuras de celosía y andamiajes

(1) El coeficiente de fuerza, c_f , para una estructura triangulada o un andamiaje con cordones paralelos, se debería obtener mediante la expresión (7.25).

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.25)$$

donde

$c_{f,0}$ es el coeficiente de fuerza para estructuras de celosía y andamiajes sin efecto cola. Se indica en las figuras 7.33 a 7.35 en función de la relación de solidez ϕ (véase el punto (2) del apartado 7.11) y del número de Reynolds Re .

Re es el número de Reynolds empleando el diámetro medio de los elementos b_i , véase la nota 1.

ψ_λ es el factor del efecto cola (véase el apartado 7.13) en función de la esbeltez de la estructura, λ , calculado con ℓ y $b = d$, véase la figura 7.32.

NOTA 1 – Las figuras 7.33 a 7.35 se basan en valores del número de Reynolds con $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$ y q_p definido en el apartado 4.5.

NOTA 2 – El anexo nacional puede proporcionar factores de reducción en andamiajes sin dispositivos de estanquidad al aire de aire y que estén afectados por la obstrucción de un edificio cercano. El proyecto de Norma Europea prEN 12811 proporciona un valor recomendado.

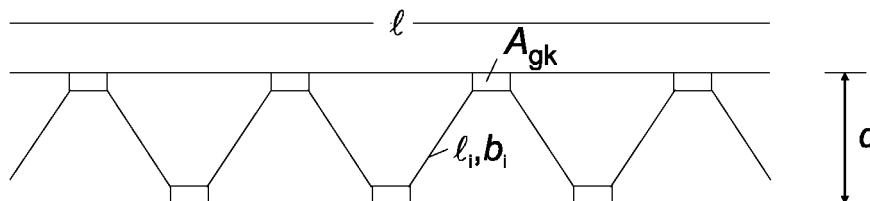


Fig. 7.32 – Estructura de celosía o andamiaje

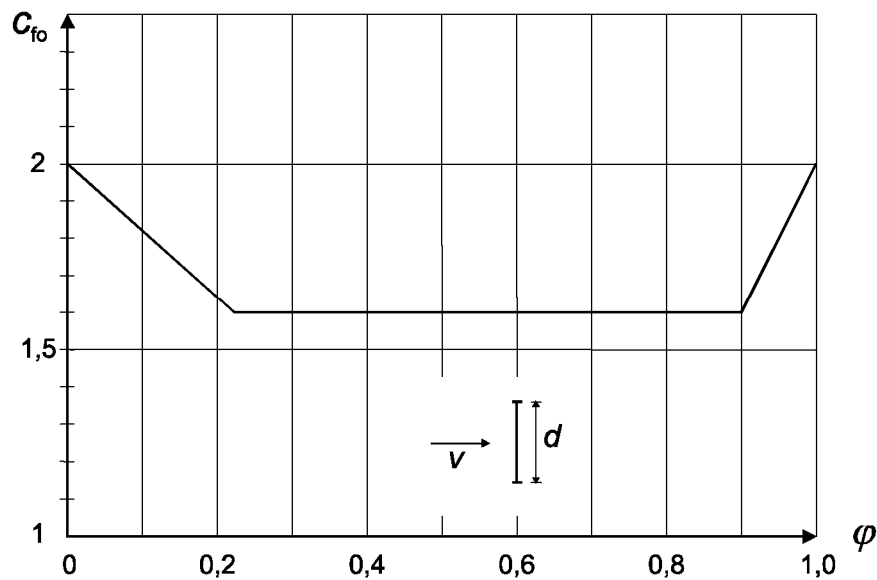


Fig. 7.33 – Coeficiente de fuerza $c_{f,0}$ para una estructura de celosía plana con elementos angulares en función de la relación de solidez φ

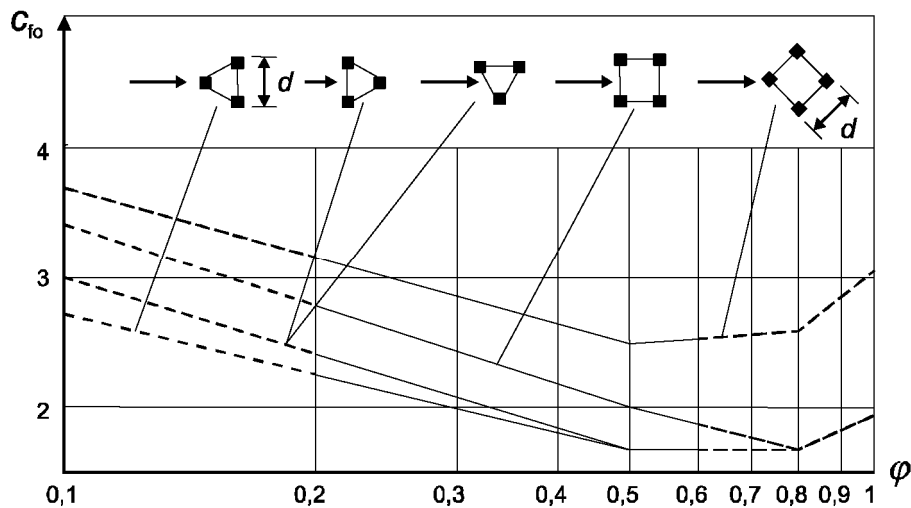


Fig. 7.34 – Coeficiente de fuerza $c_{f,0}$ para una estructura de celosía tridimensional con elementos angulares en función de la relación de solidez φ

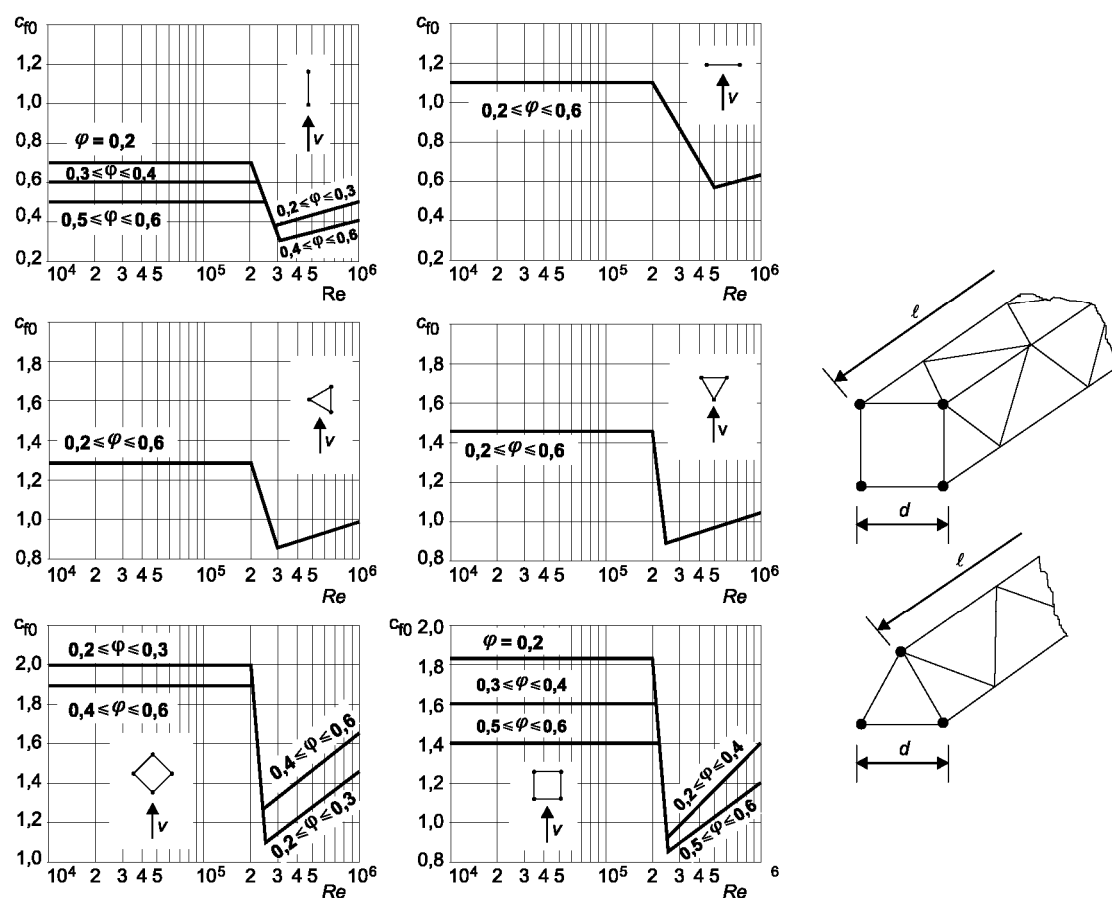


Fig. 7.35 – Coeficiente de fuerza $c_{f,0}$ para estructuras de celosía planas y tridimensionales con elementos de sección transversal circular

(2) La relación de solidez, φ , está definida por la expresión (7.26).

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (7.26)$$

donde

A es la suma de las áreas proyectadas de los elementos y las cartelas proyectados en dirección normal a la superficie: $A = \sum_i b_i \cdot \ell_i + \sum_k A_{gk}$;

A_c es el área encerrada por el contorno de la superficie proyectada en dirección normal a la cara $= d \ell$;

ℓ es la longitud de la estructura de celosía;

d es la anchura de la estructura de celosía;

b_i, ℓ_i es la anchura y la longitud del elemento individual i (véase la figura 7.32), proyectado en dirección normal a la cara considerada;

A_{gk} es el área de la cartela k .

(3) El área de referencia A_{ref} se debería determinar mediante la expresión (7.27)

$$A_{ref} = A \quad (7.27)$$

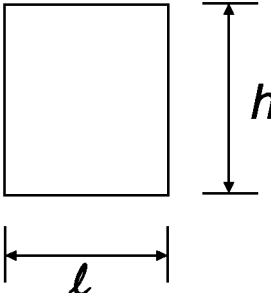
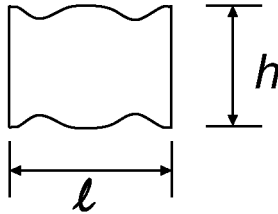
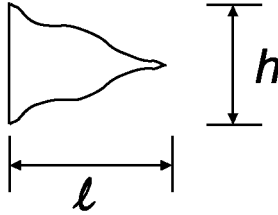
(4) La altura de referencia z_e es igual a la altura máxima sobre el terreno del elemento.

7.12 Banderas

(1) Los coeficientes de fuerza c_f y las áreas de referencia A_{ref} para las banderas se muestran en la tabla 7.15.

(2) La altura de referencia z_e es igual a la altura de la bandera sobre el terreno.

Tabla 7.15
Coeficientes de fuerza c_f para banderas

| Banderas | A_{ref} | c_f |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Banderas fijas  Fuerza normal al plano | $h \cdot \ell$ | 1,8 |
| Banderas libres a)  b)  Fuerza en el plano de la bandera | $h \cdot \ell$ $0,5 \cdot h \cdot \ell$ | $0,02 + 0,7 \cdot \frac{m_f}{\rho \cdot h} \cdot \left(\frac{A_{\text{ref}}}{h^2} \right)^{-1,25}$ |
| donde m_f es la masa por unidad de area de la bandera ρ es la densidad del aire (véase el apartado 7.1) z_e es la altura de la bandera sobre el terreno NOTA — La formulación para banderas libres incluye fuerzas dinámicas por efecto del ondeo de la bandera. | | |

7.13 Esbeltez efectiva λ y factor del efecto cola ψ_λ

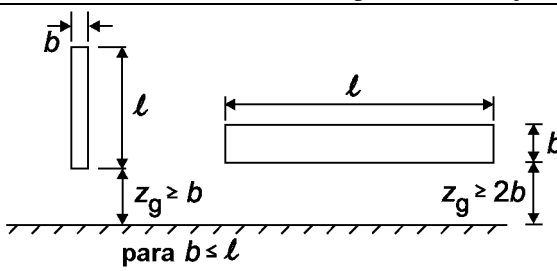
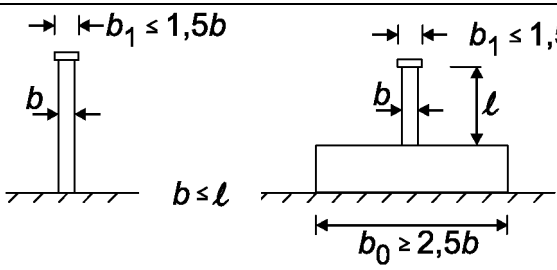
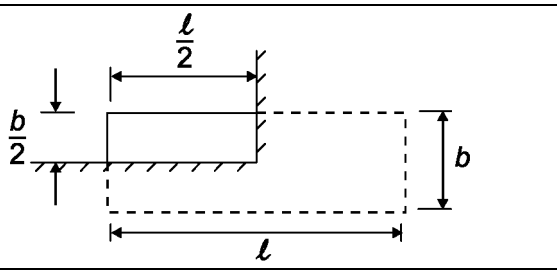
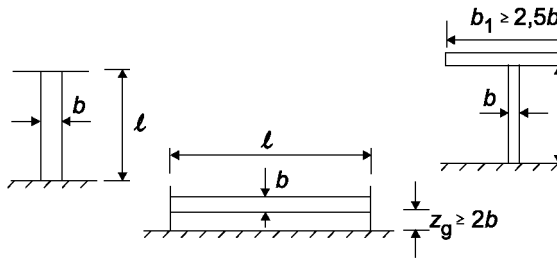
(1) Cuando proceda, se debería determinar el factor del efecto cola, ψ_λ , en función de la relación de esbeltez λ .

NOTA – Los coeficientes de fuerza, c_{f0} , definidos en los apartados 7.6 a 7.12 se basan en medidas de estructuras sin considerar el flujo libre de cola sobre el terreno. El factor del efecto cola tiene en cuenta la reducción que se produce en la resistencia de la estructura debida al flujo del aire alrededor de la zona final de ésta (efecto cola). La figura 7.36 y la tabla 7.16 se basan en mediciones efectuadas con flujo de baja turbulencia. Se pueden especificar otros valores que tengan en cuenta el efecto de la turbulencia en el anexo nacional.

(2) La esbeltez efectiva λ debería definirse dependiendo de las dimensiones de la estructura y de su posición.

NOTA – El anexo nacional puede proporcionar valores de λ y ψ_λ . Los valores recomendados de λ se recogen en la tabla 7.16 y en la figura 7.3.6 se muestran los valores indicativos de ψ_λ en la figura 7.3.6 para diferentes valores de la relación de solidez φ .

Tabla 7.16
Valores recomendados de λ para cilindros, secciones poligonales, secciones rectangulares, secciones estructurales con bordes vivos y estructuras de celosía

| No. | Posición de la estructura Dirección del viento normal al plano de la hoja | Esbeltez efectiva λ |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 |  | En secciones poligonales, rectangulares, con bordes vivos y estructuras de celosía: si $\ell \geq 50$ m, el menor valor de $\lambda = 1,4 \ell/b$ o $\lambda = 70$ si $\ell < 15$ m, el menor valor de $\lambda = 2 \ell/b$ o $\lambda = 70$ |
| 2 |  | En cilindros circulares: si $\ell \geq 50$, el menor valor de $\lambda = 0,7 \ell/b$ o $\lambda = 70$, si $\ell < 15$ m, el menor valor de $\lambda = \ell/b$ o $\lambda = 70$, |
| 3 |  | Para valores intermedios de ℓ , se debería utilizar la interpolación lineal |
| 4 |  | si $\ell \geq 50$ m, el mayor valor de $\lambda = 0,7 \ell/b$ o $\lambda = 70$, si $\ell < 15$ m, el mayor valor de $\lambda = \ell/b$ o $\lambda = 70$ Para valores intermedios de ℓ , se debería utilizar la interpolación lineal |

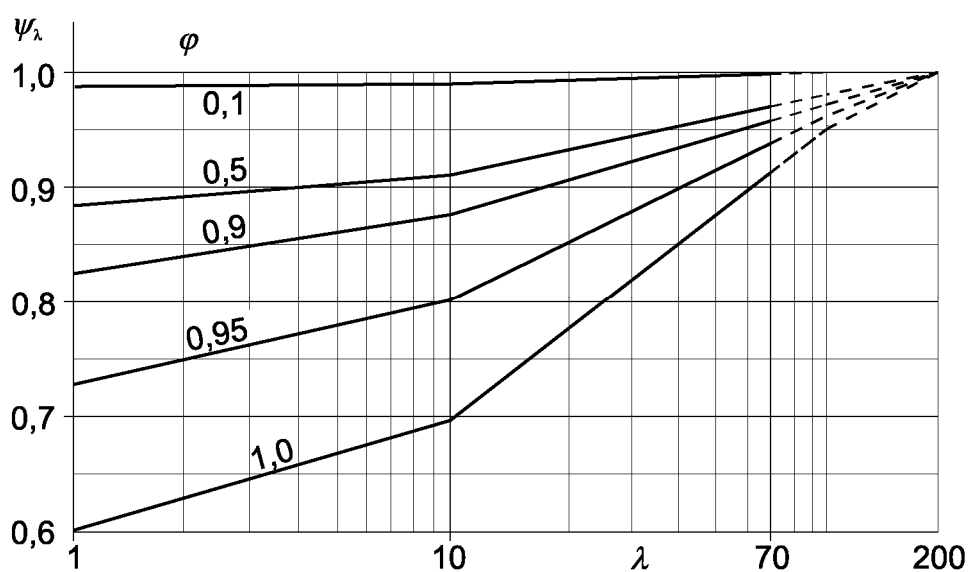


Fig. 7.36 – Valores indicativos del factor del efecto cola ψ_λ en función de la relación de solidez φ y la esbeltez λ

(3) La relación de solidez φ (véase la figura 7.37) viene definida por la expresión (7.28).

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (7.28)$$

donde

A es la suma de las áreas proyectadas de los elementos de la estructura

A_c es el área envolvente global $A_c = \ell \cdot b$.

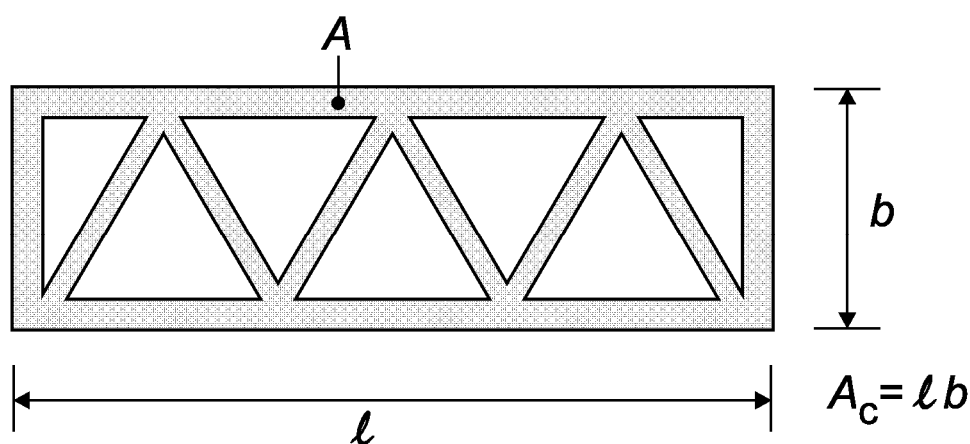


Fig. 7.37 – Definición de la relación de solidez φ

CAPÍTULO 8 ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE PUENTES

8.1 Generalidades

(1) Este capítulo sólo se aplica a puentes de canto constante y con sección transversal como se muestra en la figura 8.1, formados por un tablero simple de uno o varios vanos.

NOTA 1 – Las acciones debidas al viento en otro tipo de puentes (por ejemplo puentes en arcos, puentes colgantes, atirantados, puentes móviles o puentes con tableros múltiple o cuyo tablero sea significativamente curvado) pueden definirse en el anexo nacional.

NOTA 2 – El ángulo de la dirección del viento con respecto al eje del tablero, en dirección horizontal y vertical puede definirse en el anexo nacional.

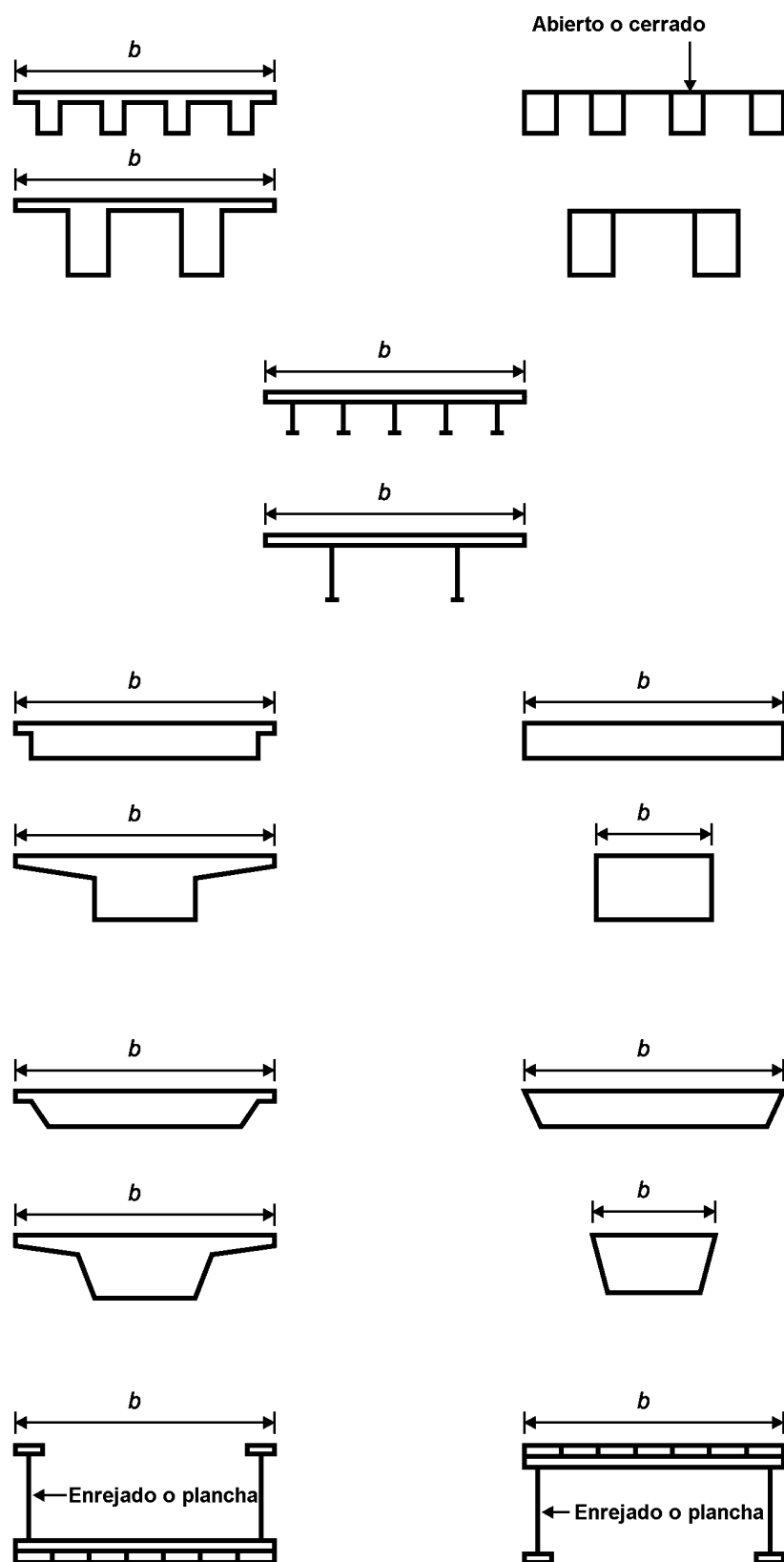


Fig. 8.1 – Secciones transversales comunes de tableros de puente

(2) Las fuerzas debidas al viento ejercidas sobre los tableros se definen en los apartados 8.2 y 8.3, mientras que el apartado 8.4 define la acción ejercida sobre las pilas. Las fuerzas ejercidas sobre diferentes partes del puente debido al viento soplando en la misma dirección, se deberían considerar como actuando simultáneamente en aquellos casos que resulten desfavorables.

(3) Las acciones del viento en puentes producen fuerzas en las direcciones x , y y z , tal como se muestra en la figura 8.2, donde

eje - x es la dirección paralela a la anchura del tablero y perpendicular al eje del tablero

eje - y es la dirección paralela al eje del tablero

eje - z es la dirección perpendicular al tablero

Las fuerzas producidas en los ejes x e y son debidas a la acción del viento en direcciones diferentes y normalmente no son simultáneas. Las fuerzas producidas en la dirección z pueden provenir de una acción de viento en un amplio rango de direcciones, y en caso de que la acción sea importante y desfavorable, se deberían tener en cuenta como acción simultánea a la acción del viento en cualquier otra dirección.

NOTA – La notación empleada en puentes difiere de la definida en el apartado 1.7. Se emplea la siguiente notación en puentes:

L longitud en el eje y

b anchura en el eje x

d canto en el eje z

En la figura 8.2 los valores a emplear de L , b y d en cada uno de los casos se definen, de forma más precisa cuando proceda, en cada uno de los apartados. Cuando se haga referencia a los capítulos 5 a 7 se necesita reajustar la notación de b y d .

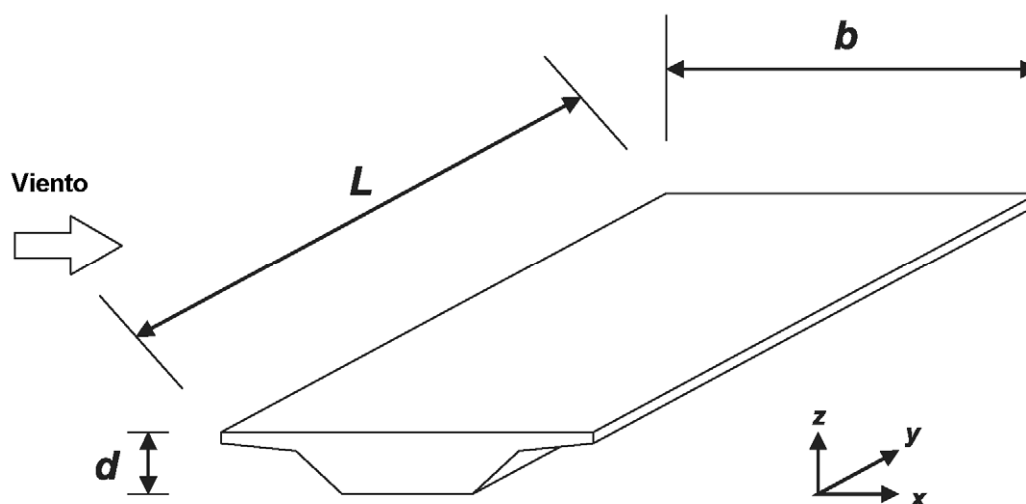


Fig. 8.2 – Direcciones de la acción del viento en puentes

(4) Cuando se considere la acción del tráfico de carretera como simultánea con la acción del viento (véanse los apartados A2.2.1 y A2.2.2 del anexo A2 de la Norma Europea EN 1990) el valor de combinación $\psi_0 F_{wk}$ para la acción del viento sobre el puente y sobre los vehículos se debería limitar al valor F_w^* obtenido sustituyendo el valor $v_{b,0}^*$ por el valor fundamental de la velocidad básica del viento $v_{b,0}$.

NOTA — El anexo nacional puede establecer un valor para $v_{b,0}^*$. El valor recomendado es 23 m/s.

(5) Cuando se considere la acción del tráfico ferroviario como simultánea con la acción del viento (véanse los apartados A2.2.1 y A2.2.4 del anexo A2 de la Norma Europea EN 1990) el valor de combinación $\psi_0 F_{wk}$ para la acción del viento sobre el puente y sobre el tren se debería limitar al valor F_w^{**} obtenido sustituyendo el valor $v_{b,0}^{**}$ por el valor fundamental de la velocidad básica del viento $v_{b,0}$.

NOTA — El anexo nacional puede establecer un valor para $v_{b,0}^{**}$. El valor recomendado es 25 m/s.

8.2 Elección del procedimiento de cálculo de la respuesta

(1) Se debería evaluar la necesidad de efectuar un procedimiento de cálculo de la respuesta dinámica para los puentes.

NOTA 1 — El anexo nacional puede establecer criterios y procedimientos de cálculo.

NOTA 2 — Si no es necesario un procedimiento de cálculo de la respuesta dinámica, el valor de, $c_s c_d$ se puede tomar como 1,0.

NOTA 3 — En tableros normales de puentes de carretera y ferrocarril de menos de 40 m de luz, en general no se necesita un procedimiento de cálculo de la respuesta dinámica. Con objeto de esta clasificación, se consideran puentes normales los construidos con acero, hormigón, aluminio o madera, incluyendo las estructuras mixtas y aquellas cuya sección transversal este cubierta por la figura 8.1.

8.3 Coeficientes de fuerza

(1) Se deberían determinar los coeficientes de fuerza en barandillas, defensas y pórticos en los puentes siempre que sea necesario.

NOTA — El anexo nacional puede proporcionar los valores de los coeficientes de fuerza de barandillas, defensas y pórticos en puentes. Se recomienda emplear el apartado 7.4.

8.3.1 Coeficientes de fuerza en la dirección x (método general)

(1) Los coeficientes de fuerza de la acción del viento en los tableros del puente en la dirección x, vienen dados por:

$$c_{f,x} = c_{fx,0} \quad (8.1)$$

donde

$c_{fx,0}$ es el coeficiente de fuerza sin tener en cuenta el flujo libre de cola (véase el apartado 7.13).

NOTA 1 — Por lo general, el puente no sufre el flujo libre de cola, puesto que el flujo de aire se desvía únicamente a lo largo de dos caras (sobre y bajo el tablero).

NOTA 2 — En puentes normales el valor de $c_{fx,0}$ se puede tomar como 1,3. Alternativamente, se puede tomar el valor de, $c_{fx,0}$ de la figura 8.3.

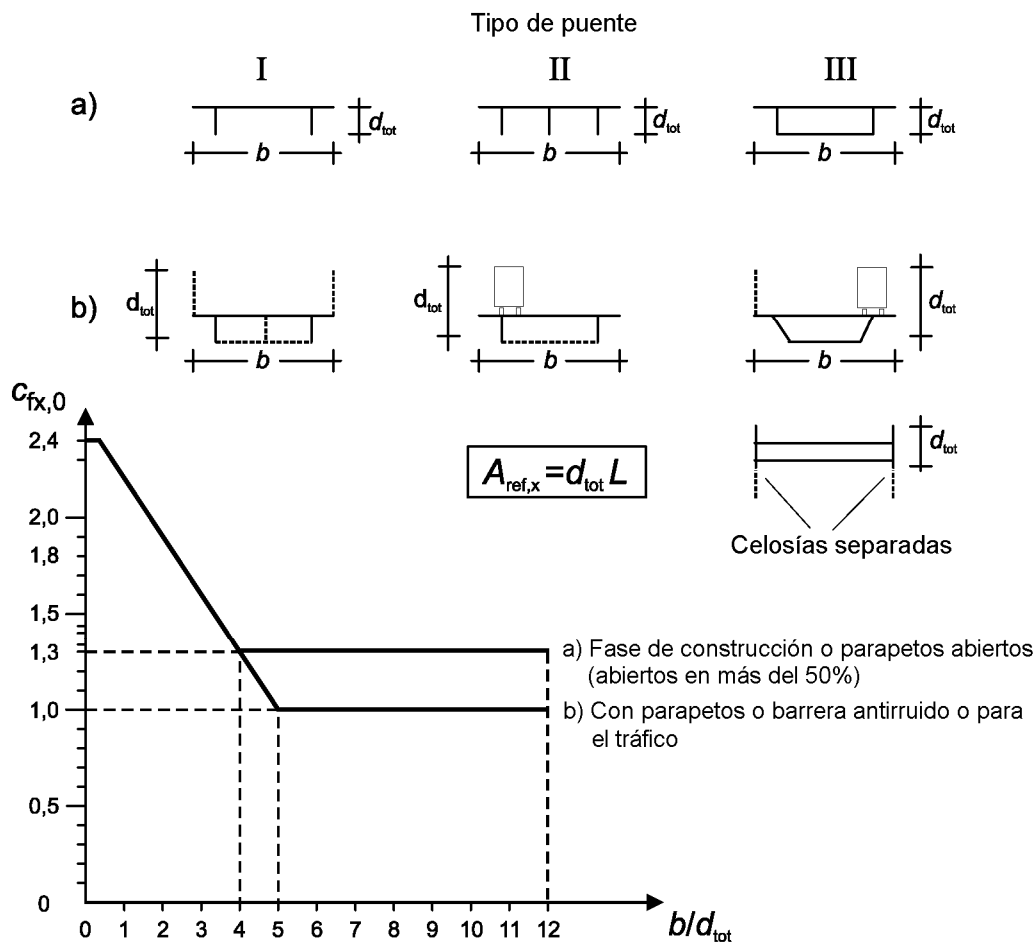


Fig. 8.3 – Coeficiente de fuerza para puentes en la dirección x, $c_{fx,0}$

NOTA 3 – Cuando el ángulo de inclinación de la dirección del viento exceda de 10° , el coeficiente de arrastre se puede estimar mediante estudios especiales. Este ángulo de inclinación puede darse debido a la pendiente del terreno en la dirección de donde viene el viento.

NOTA 4 – Cuando existan dos tableros similares, situados al mismo nivel y separados transversalmente por una distancia que no exceda significativamente de 1 m, la fuerza debida al viento se puede calcular como si se tratara de una única estructura. En otros casos puede ser necesario considerar la interacción entre la estructura y el viento.

(2) En aquellos casos en los que la superficie sobre la que actúa el viento esté inclinada respecto a la vertical (véase la figura 8.4), el coeficiente de arrastre $c_{fx,0}$ se puede reducir en un 0,5% por cada grado de inclinación, α_1 con respecto a la vertical, limitada a una reducción máxima de un 30%.

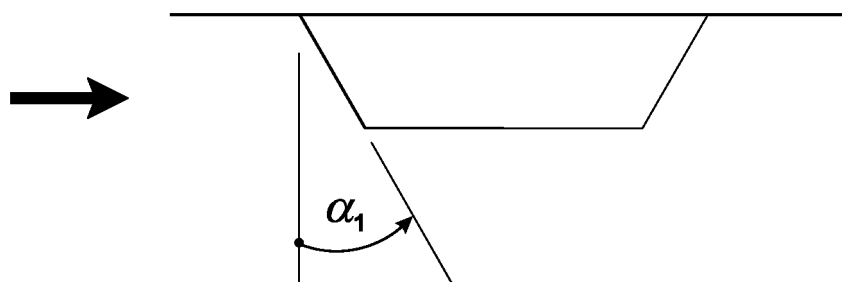


Fig. 8.4 – Tablero con la cara a barlovento inclinada

NOTA – Esta reducción no es aplicable a F_w , definido en el apartado 8.3.2, a menos que se especifique lo contrario en el anexo nacional.

(3) En aquellos casos en los que el tablero presenta una pendiente transversal, el valor de $c_{fx,0}$ se debería incrementar en un 3% por cada grado de inclinación, pero no más del 25%.

(4) Las áreas de referencia $A_{ref,x}$ para las combinaciones de carga sin tráfico se deberían definir como:

(a) En tableros con vigas de alma llena, la suma de (véase la figura 8.5 y la tabla 8.1):

- 1) el área de la cara de la viga principal frontal;
- 2) el área de la cara de aquellas partes de otras vigas principales que se proyecten bajo la primera;
- 3) el área de la cara de una parte de una cornisa, una acera o una vía con balasto, proyectadas sobre la viga principal frontal;
- 4) el área de la cara de las barreras rígidas o pantallas antirruido, según proceda, sobre el área descrita en el punto 3), o en ausencia de estos equipamientos, 0,3 m para cada parapeto o barrera abiertos.

b) En tableros con vigas de celosía, la suma de

- 1) el área transversal de una cornisa, acera o vía con balasto;
- 2) aquellos elementos sólidos de todas las vigas principales de celosía con proyección normal en alzado situadas por encima o por debajo del área descrita en el punto 1);
- 3) el área transversal de las barreras rígidas o barreras antirruido, si procede, sobre el área descrita en el punto 1), o en ausencia de estos equipamientos, 0,30 m para cada parapeto o barrera abiertos.

Sin embargo, el área total de referencia no debería superar aquella formada por una viga de alma llena del mismo canto total, incluyendo todas las partes proyectadas.

c) En tableros con varias vigas principales en fase de construcción, antes de la colocación de la calzada: el área de dos vigas principales.

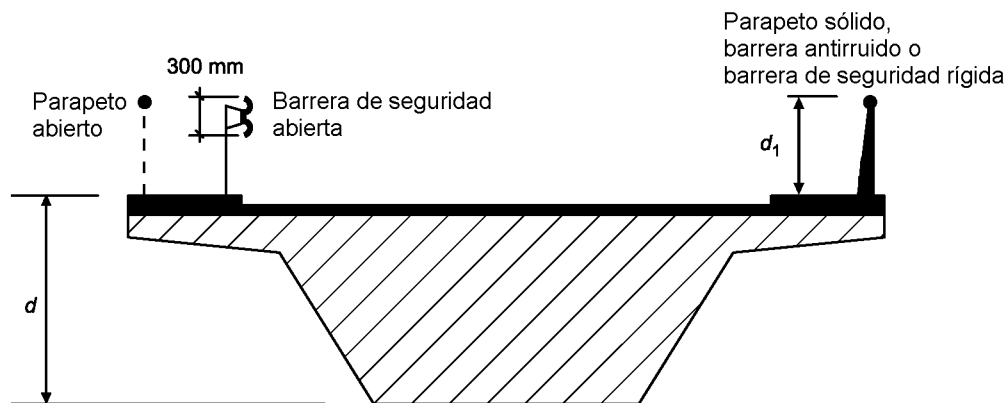
Fig. 8.5 – Profundidad a emplear para $A_{ref,x}$

Tabla 8.1
Alturas a emplear para la determinación de $A_{ref,x}$

| Sistemas de contención de la calzada | A un lado | A ambos lados |
|-------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Parapeto abierto o barrera de seguridad abierta | $d + 0,3 \text{ m}$ | $d + 0,6 \text{ m}$ |
| Parapeto sólido o barrera de seguridad rígida | $d + d_1$ | $d + 2d_1$ |
| Parapeto abierto y barrera de seguridad abierta | $d + 0,6 \text{ m}$ | $d + 1,2 \text{ m}$ |

(5) Las áreas de referencia $A_{ref,x}$ para las combinaciones de cargas con cargas de tráfico son las especificadas en el punto (4), con la siguiente modificación. En lugar de las áreas descritas anteriormente en los apartados a) 3) y 4) y b) 3), se deberían considerar las siguientes cuando sean mayores:

- a) en puentes de carretera, una altura de 2 m sobre el nivel de la calzada, en la longitud más desfavorable, independientemente de la localización de las cargas verticales de tráfico;
- b) en puentes de ferrocarril, una altura de 4 m desde la parte superior de los carriles, sobre la longitud total del puente.

(6) La altura de referencia, z_e , se puede tomar como la distancia desde el punto más bajo del nivel del suelo hasta el centro de la estructura del tablero del puente, despreciando otros elementos (por ejemplo, barandillas) de las áreas de referencia.

(7) La determinación de los efectos de la presión del viento de los vehículos que circulan a lo largo del puente está fuera del objeto y campo de aplicación de esta norma. Para los efectos del viento inducido por el paso de ferrocarriles véase la Norma Europea EN 1991-2.

8.3.2 Fuerza en la dirección x. Método simplificado

(1) En aquellos casos en los que se haya considerado que no es necesario un procedimiento de respuesta dinámica, la fuerza debida a la acción del viento en la dirección x se puede determinar mediante la expresión (8.2):

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} \quad (8.2)$$

donde

v_b es la velocidad básica del viento (véase el punto (2) del apartado 4.2);

C es el factor de carga de viento. $C = c_e \cdot c_{f,x}$, donde c_e es el factor de exposición definido en el apartado 4.5 y $c_{f,x}$ se define en el punto (1) del apartado 8.3.1;

$A_{ref,x}$ es el área de referencia dado en el apartado 8.3.1;

ρ es la densidad del aire (véase el apartado 4.5).

NOTA – Los valores de C pueden definirse en el anexo nacional, los valores recomendados se recogen en la tabla 8.2.

Tabla 8.2
Valores recomendados del factor de fuerza C para puentes

| b/d_{tot} | $z_e \leq 20 \text{ m}$ | $z_e = 50 \text{ m}$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| $\leq 0,5$ | 6,7 | 8,3 |
| $\geq 4,0$ | 3,6 | 4,5 |
| <p>Esta tabla se basa en las consideraciones siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> – categoría de terreno tipo II de acuerdo con la tabla 4.1 – coeficiente de fuerza $c_{f,x}$ de acuerdo con el punto (1) del apartado 8.3.1 – $c_o = 1,0$ – $k_1 = 1,0$ <p>Para los valores intermedios de b/d_{tot}, y z_e se puede emplear la interpolación lineal.</p> | | |

8.3.3 Fuerzas debida a la acción del viento sobre tableros de puente en la dirección z

(1) Se deberían determinar los coeficientes de fuerza $c_{f,z}$ para determinar la acción del viento en la dirección z , tanto hacia arriba como hacia abajo (coeficientes de fuerza de sustentación). Estos coeficientes $c_{f,z}$ no deberían utilizarse para calcular las vibraciones verticales del tablero.

NOTA 1 – El anexo nacional puede proporcionar valores de $c_{f,z}$. En ausencia de ensayos en túnel de viento, el valor recomendado puede tomarse como igual a $\pm 0,9$. Este valor tiene en cuenta de forma global la influencia de un posible peralte transversal del tablero, de la pendiente del terreno y de las fluctuaciones del ángulo de la dirección del viento con el tablero debido a los efectos de las turbulencias.

Como alternativa, el valor de $c_{f,z}$ se puede tomar de la figura 8.6. En este caso:

el canto d_{tot} se puede limitar al canto del tablero del puente, despreciando la altura del tráfico y del equipamiento del puente;

para un terreno plano y horizontal, el ángulo α del viento con respecto a la horizontal se podrá tomar como $\pm 5^\circ$ debido a la acción de la turbulencia. Este principio es también válido para terrenos accidentados cuando el tablero esté situado a una altura de al menos 30 m sobre al terreno.

NOTA 2 – Este tipo de fuerza puede tener efectos importantes sólo si es del mismo orden de magnitud que la carga muerta.

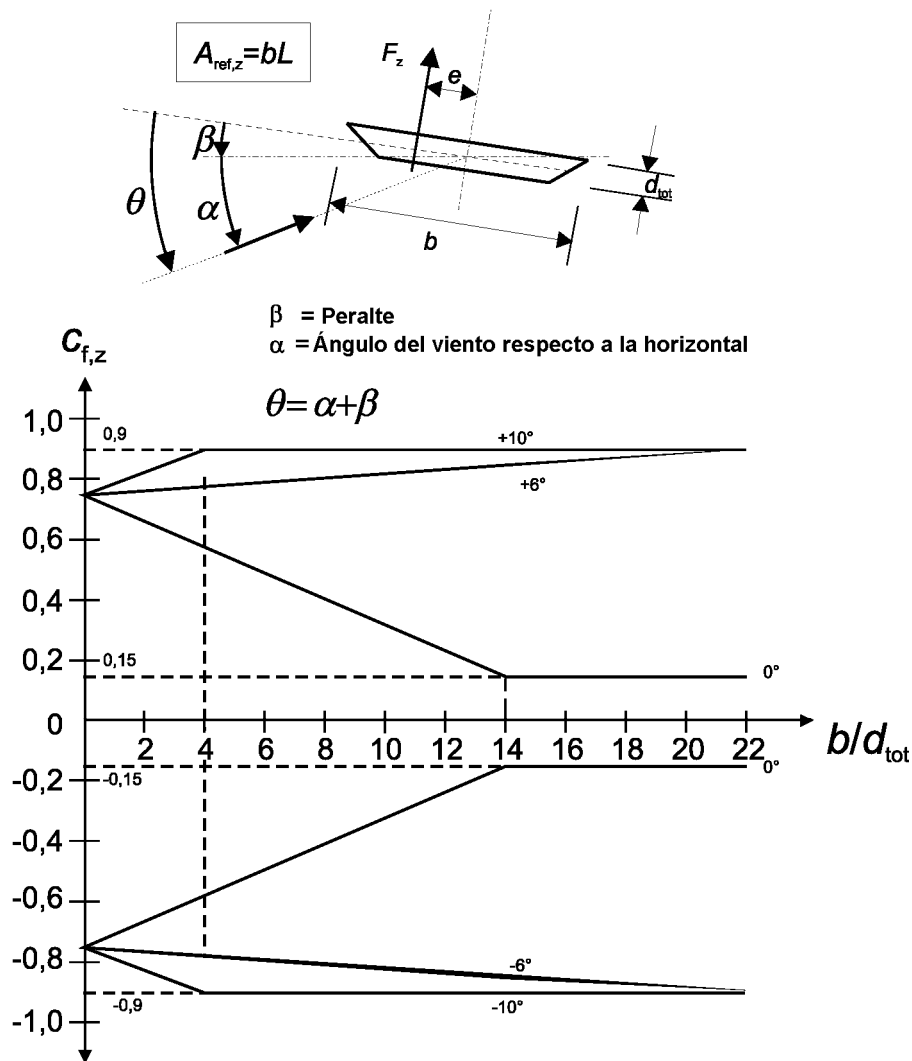


Fig. 8.6 – Coeficiente de fuerza $c_{f,z}$ para puentes con peralte transversal e inclinación del viento

(2) El área de referencia $A_{ref,z}$ es igual al área de la planta (véase la figura 8.2):

$$A_{ref,z} = b \cdot L \quad (8.3)$$

(3) No se debería tener en cuenta ningún efecto cola.

(4) La altura de referencia es la misma que para $c_{f,x}$ (véase el punto (6) del apartado 8.3.1).

(5) Si no se especifica lo contrario, la excentricidad de la fuerza en la dirección x se puede tomar como $e = b/4$.

8.3.4 Fuerzas debidas a la acción del viento en la dirección y

(1) En los casos en los que sea necesario, se deberían tener en cuenta las fuerzas debidas a la acción de viento en la dirección y .

NOTA – El anexo nacional puede proporcionar estos valores. Los valores recomendados son:

- para los puentes con tableros tipo losa, el 25% de las fuerzas debidas a la acción del viento en la dirección x;
- para los puentes con tableros de celosía, el 50% de las fuerzas debidas a la acción del viento en la dirección x.

8.4 Pilas de puente

8.4.1 Dirección del viento y situaciones de proyecto

(1) Las acciones del viento sobre los tableros de puente y sus pilas se deberían calcularán identificando la dirección más desfavorable del viento sobre la estructura completa para el efecto considerado.

(2) Se deberían realizar cálculos independientes para la acción de viento en situaciones transitorias de proyecto durante las fases de construcción cuando no sea posible la transmisión o la redistribución de las acciones del viento por el tablero. Si, durante estas fases de montaje, una pila soportara un tramo de tablero en voladizo o un andamiaje, se debería tener en cuenta una posible asimetría de las acciones del viento sobre tales elementos.

NOTA – Las situaciones transitorias de ejecución son, generalmente, más críticas para las pilas y algunos tipos de tableros sujetos a métodos de ejecución particulares que para las situaciones persistentes. Para determinar los valores característicos durante las situaciones transitorias de proyecto véase la Norma Europea EN 1991-1-6. Para andamiajes véase el apartado 7.11.

8.4.2 Efectos del viento en las pilas

(1) Los efectos del viento en las pilas se deberían calcular empleando el formato general definido en este Eurocódigo. Para las acciones generales se deberían utilizar los apartados 7.6, 7.8 ó 7.9.2.

NOTA 1 – Se pueden establecer otras reglas simplificadas en el anexo nacional.

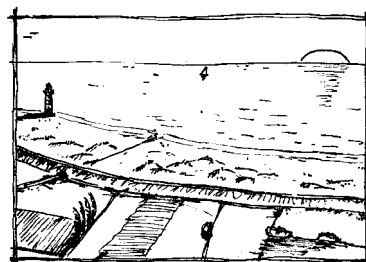
ANEXO A (Informativo)

EFECTOS DEL TERRENO

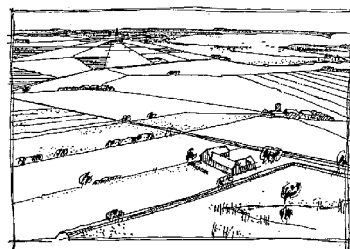
A.1 Ilustración de la rugosidad superficial de ciertas categorías de terreno

Categoría de terreno 0

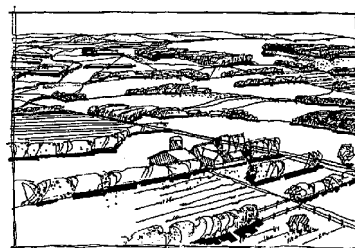
Mar, zona costera expuesta al mar abierto

**Categoría de terreno I**

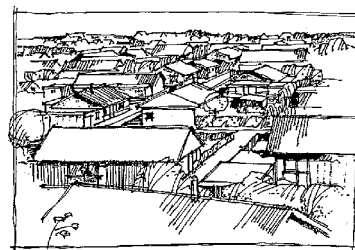
Lagos o áreas con vegetación despreciable y sin obstáculos

**Categoría de terreno II**

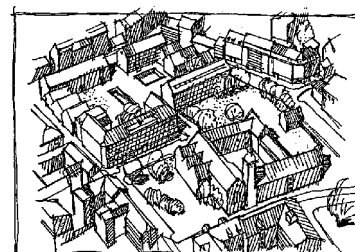
Áreas con vegetación baja, como hierba o césped y obstáculos aislados (árboles, edificios) con separación de al menos 20 veces la altura del obstáculo

**Categoría de terreno III**

Áreas con recubrimiento regular de vegetación o edificios u obstáculos aislados con separación máxima de 20 veces la altura del obstáculo (por ejemplo, pueblos, terreno suburbano, bosque)

**Categoría de terreno IV**

Áreas con al menos el 15% de la superficie cubierta por edificaciones cuya altura media sobrepasa los 15 m



A.2 Transición entre categorías de terrenos 0, I, II, III y IV

(1) Se tiene que considerar la transición entre las diferentes categorías de rugosidad para el cálculo de q_p y c_{s,c_d} .

NOTA – El procedimiento a emplear puede definirse en el anexo nacional. Se recomiendan dos procedimientos, procedimiento 1 y procedimiento 2, definidos a continuación.

Procedimiento 1

Si la estructura está situada cerca del cambio del tipo de terreno a una distancia:

- inferior a 2 km desde la categoría más suave 0
- inferior a 1 km desde la categorías más suaves I a III

Se debería emplear la categoría de terreno más suave en la dirección a barlovento.

Las áreas pequeñas (menos del 10% del área en consideración) con otro tipo de rugosidad pueden despreciarse.

Procedimiento 2

- a) Se determinan las categorías de rugosidad para el terreno a barlovento en los sectores angulares a considerar.
- b) Para cada sector angular, se determina la distancia x desde la edificación a los cambios de rugosidad.
- c) Si la distancia x desde la edificación a un terreno con una rugosidad inferior es menor que los valores proporcionados en la tabla A.1 entonces se debería emplear el valor inferior de la rugosidad para el sector angular considerado. Si esta distancia x es mayor que el valor en la tabla A.1, se debería utilizar el valor más alto de la rugosidad.

Las áreas pequeñas (menos del 10% del área en consideración) con otro tipo de rugosidad pueden despreciarse.

En los casos en los que no se proporcione una distancia x en la tabla A.1 o en para alturas superiores a 50 m, se debería emplear el valor menor de la rugosidad.

Para valores intermedios de la altura z , se puede emplear la interpolación lineal.

Una edificación con una cierta categoría de terreno se puede calcular en una categoría de terreno inferior si ésta está situada dentro de los límites de distancia definidos en la tabla A.1.

Tabla A.1
Distancia x

| Altura z | I a II | I a III |
|------------|----------|----------|
| 5 m | 0,50 km | 5,00 km |
| 7 m | 1,00 km | 10,00 km |
| 10 m | 2,00 km | 20,00 km |
| 15 m | 5,00 km | |
| 20 m | 12,00 km | |
| 30 m | 20,00 km | |
| 50 m | 50,00 km | |

| Altura z | II a III | II a IV |
|------------|----------|----------|
| 5 m | 0,30 km | 2,00 km |
| 7 m | 0,50 km | 3,50 km |
| 10 m | 1,00 km | 7,00 km |
| 15 m | 3,00 km | 20,00 km |
| 20 m | 7,00 km | |
| 30 m | 10,00 km | |
| 50 m | 30,00 km | |

| Altura z | III a IV |
|------------|----------|
| 5 m | 0,20 km |
| 7 m | 0,35 km |
| 10 m | 0,70 km |
| 15 m | 2,00 km |
| 20 m | 4,50 km |
| 30 m | 7,00 km |
| 50 m | 20,00 km |

A.3 Cálculo numérico de los coeficientes de orografía

(1) En colinas aisladas, acantilados y zonas escarpadas, la velocidad del viento puede variar en función de la pendiente del terreno a barlovento $\Phi = H/L_u$, donde la altura H y la longitud L_u se definen en la figura A.1.

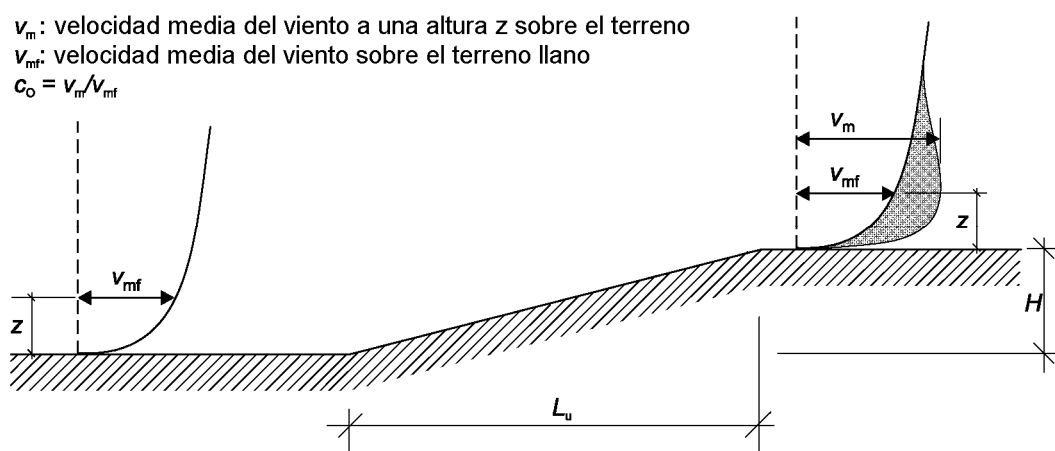


Fig. A.1 – Ilustración del incremento de velocidad debido a la orografía

(2) El mayor incremento de la velocidad del viento se localiza cerca de la zona alta de la pendiente y viene determinado por el coeficiente topográfico c_o , véase la figura A.1. La pendiente del terreno no tiene un efecto significativo sobre la desviación típica de la turbulencia, definida en el punto (1) del apartado 4.4.

NOTA – La intensidad de la turbulencia disminuirá conforme se aumente la velocidad del viento manteniendo constante la desviación típica.

(3) El coeficiente topográfico, $c_o(z) = v_m/v_{mf}$ tiene en cuenta el incremento de la velocidad media del viento en colinas aisladas y zonas escarpadas (no en regiones onduladas o montañosas). Está relacionado con la velocidad del viento en la base de la colina. Los efectos de la orografía se deberían tener en cuenta en las situaciones siguientes:

a) En emplazamiento con pendientes de colinas o dorsales a barlovento:

– donde $0,05 < \Phi \leq 0,3$ y $|x| \leq L_u / 2$

b) En emplazamientos con pendientes de colinas o dorsales a sotavento:

– donde $\Phi < 0,3$ y $x < L_d / 2$

– donde $\Phi \geq 0,3$ y $x < 1,6 H$

c) En emplazamientos con pendientes de acantilados y escarpaduras a barlovento:

– donde $0,05 < \Phi \leq 0,3$ y $|x| \leq L_u / 2$

d) En emplazamientos con pendientes de acantilados y escarpaduras a sotavento:

– donde $\Phi < 0,3$ y $x < 1,5 L_e$

– donde $\Phi \geq 0,3$ y $x < 5 H$

El factor de orografía está definido por:

$$c_o = 1 \quad \text{para} \quad \Phi < 0,05 \quad (\text{A.1})$$

$$c_o = 1 + 2 \cdot s \cdot \Phi \quad \text{para} \quad 0,05 < \Phi < 0,3 \quad (\text{A.2})$$

$$c_o = 1 + 0,6 \cdot s \quad \text{para} \quad \Phi > 0,3 \quad (\text{A.3})$$

donde

s es el factor de localización orográfica, a obtener de la figura A.2 o A.3 escaladas de acuerdo con la longitud efectiva de la pendiente a barlovento, L_e ;

Φ es la pendiente a barlovento H/L_u en la dirección del viento (véanse las figuras A.2 y A.3);

L_e es la longitud efectiva de la pendiente a barlovento, definida en la tabla A.2;

L_u es la longitud real de la pendiente a barlovento;

L_d es la longitud real de la pendiente a sotavento;

H es la altura efectiva del accidente orográfico;

x es la distancia horizontal entre el emplazamiento de la edificación y el punto más alto del accidente;

z es la distancia vertical desde el nivel del suelo al emplazamiento.

Tabla A.2
Valores de la longitud efectiva L_e

| Tipo de pendiente ($\Phi = H/L_u$) | |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Media ($0,05 < \Phi < 0,3$) | Pronunciada ($\Phi > 0,3$) |
| $L_e = L_u$ | $L_e = H/0,3$ |

NOTA – Los gráficos calculados en las figuras A.2 y A.3 exceden el dominio de aplicación tal como se ha definido anteriormente. La consideración de los accidentes orográficos fuera de estos límites es optativa.

(4) En los valles, el valor de $c_o(z)$ se puede establecer como 1,0 si no se esperan aumentos de la velocidad del viento por el efecto embudo. En estructuras situadas dentro de los valles, o en puentes que crucen valles con lados con una gran pendiente se debería tener en cuenta este posible aumento de la velocidad por el efecto embudo.

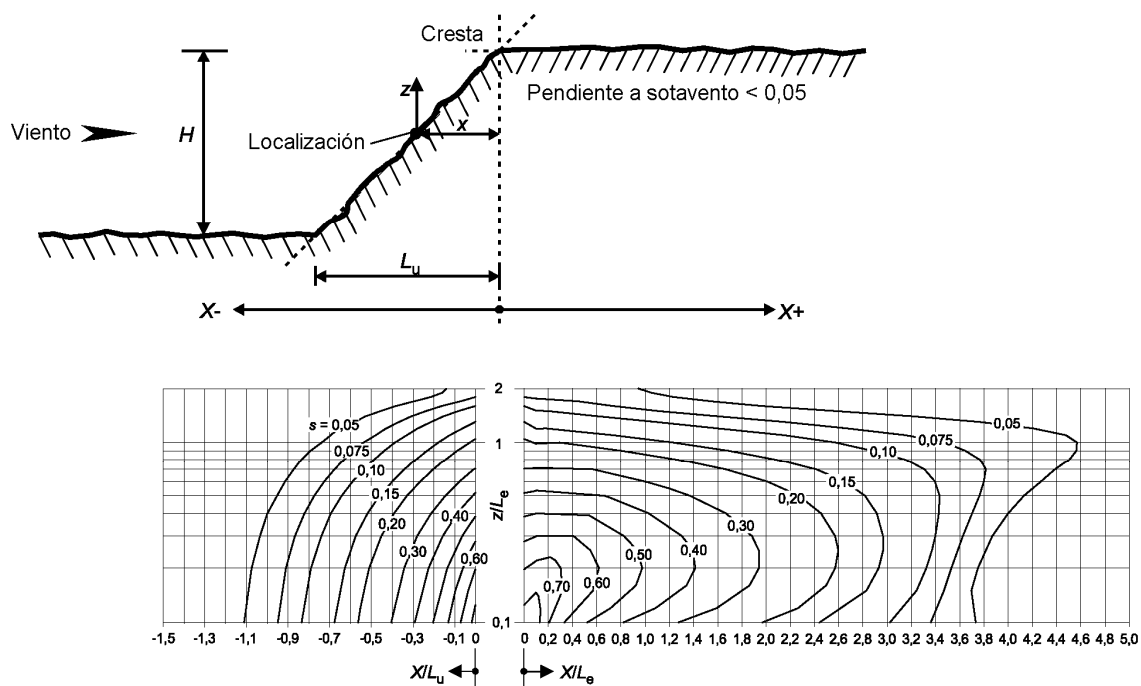


Fig. A.2 – Factor s en acantilados y escarpaduras

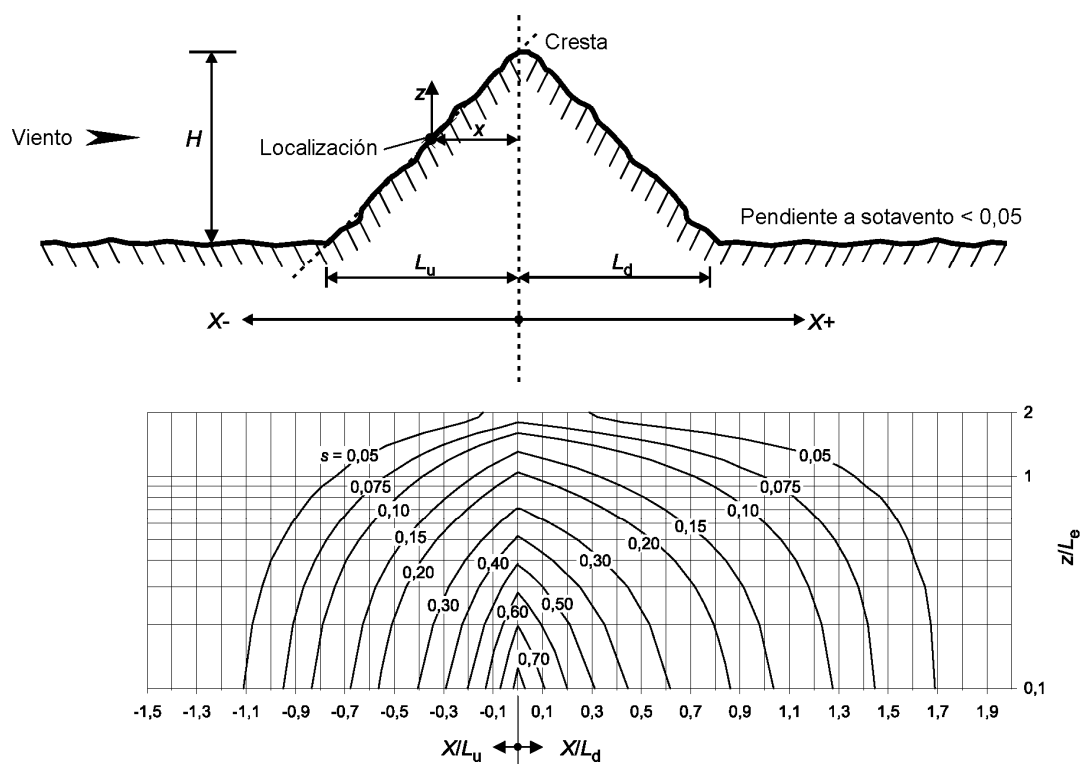


Fig. A.3 – Factor s en colinas y dorsales

(5) Las expresiones A.4 a A.7 y A.11 se pueden emplear para el cálculo del factor orográfico de localización s . Dado que estas expresiones son empíricas, es importante que los valores de los parámetros de entrada estén restringidos a los rangos mostrados, en caso contrario los valores generados no serán válidos.

a) parámetros orográficos a barlovento para todos los tipos de accidentes (véanse las figuras A.2 y A.3):

Para los rangos de valores

$$-1,5 \leq \frac{X}{L_u} \leq 0 \text{ y } 0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

se toma:

$$s = A \cdot e^{\left(B \cdot \frac{X}{L_u} \right)} \quad (\text{A.4})$$

donde

$$A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right) + 1,0124 \quad (\text{A.5})$$

y

$$B = 0,3542 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^2 - 1,0577 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right) + 2,6456 \quad (\text{A.6})$$

Para

$$\frac{X}{L_u} < -1,5 \text{ o } \frac{z}{L_e} > 2$$

se toma:

$$s = 0$$

b) parámetros orográficos a sotavento para acantilados y escarpaduras (véase la figura A.2):

Para los rangos de valores

$$0,1 \leq \frac{X}{L_e} \leq 3,5 \text{ y } 0,1 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

se toma:

$$s = A \cdot \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right)^2 + B \cdot \left(\log \left[\frac{X}{L_e} \right] \right) + C \quad (\text{A.7})$$

donde

$$A = -1,3420 \cdot \left(\log \left[\frac{z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8222 \cdot \left(\log \left[\frac{z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,4609 \cdot \log \left[\frac{z}{L_e} \right] - 0,0791 \quad (\text{A.8})$$

$$B = -1,0196 \cdot \left(\log \left[\frac{z}{L_e} \right] \right)^3 - 0,8910 \cdot \left(\log \left[\frac{z}{L_e} \right] \right)^2 + 0,5343 \cdot \log \left[\frac{z}{L_e} \right] - 0,1156 \quad (\text{A.9})$$

y

$$C = 0,8030 \cdot \left(\log \left[\frac{z}{L_e} \right] \right)^3 + 0,4236 \cdot \left(\log \left[\frac{z}{L_e} \right] \right)^2 - 0,5738 \cdot \log \left[\frac{z}{L_e} \right] + 0,1606 \quad (\text{A.10})$$

Para el rango

$$0 \leq \frac{X}{L_e} \leq 0,1,$$

se interpola entre los valores de

$$\frac{X}{L_e} = 0 \quad (s = A \text{ en la expresión A.5}) \text{ y } \frac{X}{L_e} = 0,1.$$

cuando: $\frac{z}{L_e} < 0,1$ se emplean los valores de $\frac{z}{L_e} = 0,1$.

cuando: $\frac{z}{L_d} > 3,5$ o $\frac{z}{L_e} > 2,0$ se toma el valor $s = 0$

c) parámetros orográficos a sotavento para colinas y dorsales (véase la figura A.3):

Para los rangos de valores

$$0 \leq \frac{X}{L_d} \leq 2,0 \text{ y } 0 \leq \frac{z}{L_e} \leq 2,0$$

se toma:

$$s = A \cdot e^{\left(B \cdot \frac{X}{L_d} \right)} \quad (\text{A.11})$$

donde:

$$A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right)^2 - 1,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e} \right) + 1,0124 \quad (\text{A.12})$$

y

$$B = -0,3056 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 + 1,0212 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) - 1,7637 \quad (\text{A.13})$$

Cuando $\frac{X}{L_d} > 2,0$ o $\frac{z}{L_e} > 2,0$

se toma:

$$s = 0$$

NOTA – Las expresiones A.5 y A.12 son idénticas.

A.4 Estructuras cercanas

(1) Si una edificación es más del doble de alta que la altura media h_{ave} de las estructuras cercanas, entonces, como primera aproximación, el proyecto de cualquiera de esas estructuras cercanas puede basarse en la presión correspondiente a la velocidad de pico a una altura z_n ($z_e = z_n$) sobre el nivel del suelo (expresión A.14), véase la figura A.4.

$$\begin{aligned} x \leq r : & \quad z_n = \frac{1}{2} \cdot r \\ r < x < 2 \cdot r : & \quad z_n = \frac{1}{2} \left(r - \left(1 - \frac{2 \cdot h_{low}}{r} \right) \cdot (x - r) \right) \\ x \geq 2 \cdot r : & \quad z_n = h_{low} \end{aligned} \quad (\text{A.14})$$

En las cuales, el radio r es:

$$\begin{aligned} r = h_{high} & \quad \text{si} \quad h_{high} \leq 2 \cdot d_{large} \\ r = 2 \cdot d_{large} & \quad \text{si} \quad h_{high} > 2 \cdot d_{large} \end{aligned}$$

La altura estructural h_{low} , el radio r , la distancia x y las dimensiones d_{small} y d_{large} se muestran en la figura A.4. El aumento de la velocidad del viento se puede despreciar cuando h_{low} sea mayor de la mitad de la altura h_{high} del edificio más alto, es decir $z_n = h_{low}$.

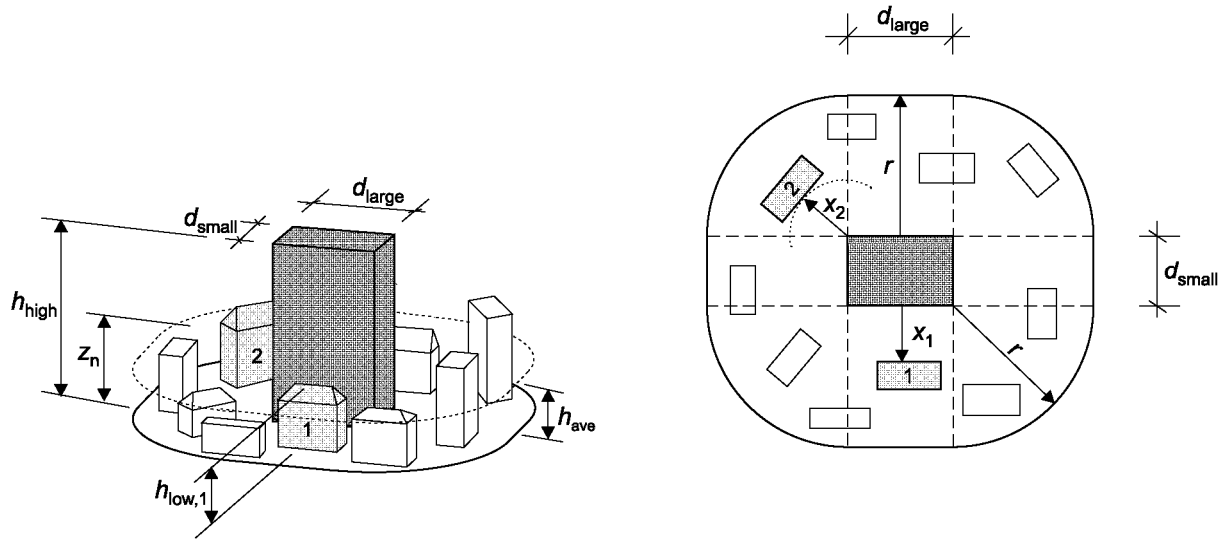


Fig. A.4 – Influencia de un edificio de gran altura en dos edificios cercanos (1 y 2)

A.5 Altura de desplazamiento

(1) Para edificios situados en un terreno de categoría IV, los edificios muy cercanos y otro tipo de obstáculos hacen que el viento se comporte como si el nivel del suelo estuviera desplazado una altura que se denomina altura de desplazamiento, h_{dis} . El valor de h_{dis} se puede determinar mediante la expresión (A.15), véase la figura A.5. El perfil de las presiones de la velocidad de pico sobre la altura se puede elevar una altura igual a h_{dis} (véase la figura 4.2).

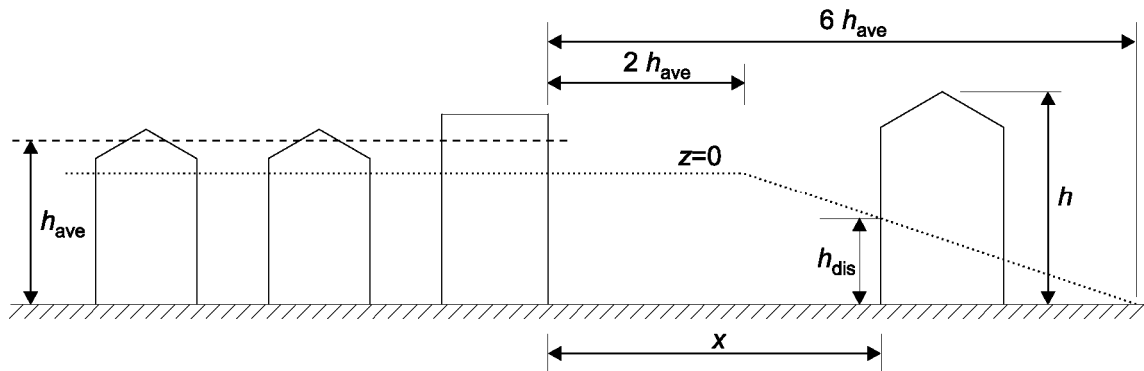


Fig. A.5 – Altura de los obstáculos y separación a barlovento

| | | |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------|
| $x \leq 2 \cdot h_{ave}$ | h_{dis} es el menor de $(0,8 \cdot h_{ave})$ o $(0,6 \cdot h)$ | |
| $2 \cdot h_{ave} < x < 6 \cdot h_{ave}$ | h_{dis} es el menor de $(1,2 \cdot h_{ave} - 0,2 \cdot x)$ o $(0,6 \cdot h)$ | (A.15) |
| $x \geq 6 \cdot h_{ave}$ | $h_{dis} = 0$ | |

En ausencia de información más detallada, la altura del obstáculo se puede tomar como $h_{ave} = 15$ m para el terreno de categoría IV.

ANEXO B (Informativo)

PROCEDIMIENTO 1 PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR ESTRUCTURAL c_s, c_d

B.1 Turbulencia del viento

(1) La escala integral de la longitud de turbulencia $L(z)$ representa el tamaño medio de la ráfaga para vientos naturales. Para las alturas z por debajo de los 200 m, la escala integral de la longitud de turbulencia se puede calcular mediante la expresión (B.1):

$$\begin{aligned} L(z) &= L_t \cdot \left(\frac{z}{z_t} \right)^\alpha & \text{para } z \geq z_{\min} \\ L(z) &= L(z_{\min}) & \text{para } z < z_{\min} \end{aligned} \quad (\text{B.1})$$

con una altura de referencia $z_t = 200$ m, una escala de longitud de referencia $L_t = 300$ m, y un valor de $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$, donde z_0 es la rugosidad en m. La altura mínima z_{\min} se muestra en la tabla 4.1.

(2) La distribución del viento en frecuencias, se representa por la función de densidad espectral de potencia adimensional $S_L(z, n)$, que se debería determinar mediante la expresión (B.2):

$$S_L(z, n) = \frac{n \cdot S_v(z, n)}{\sigma_v^2} = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}} \quad (\text{B.2})$$

donde $S_v(z, n)$ es la varianza espectral de un lado, y

$f_L(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{v_m(z)}$ es una frecuencia adimensional, determinada a partir de la frecuencia $n = n_{1,x}$, la frecuencia natural de la estructura en Hz, la velocidad media $v_m(z)$ y la escala de la longitud de turbulencia $L(z)$ definida mediante la expresión (B.1). La función de densidad espectral de potencia se muestra en la figura B.1.

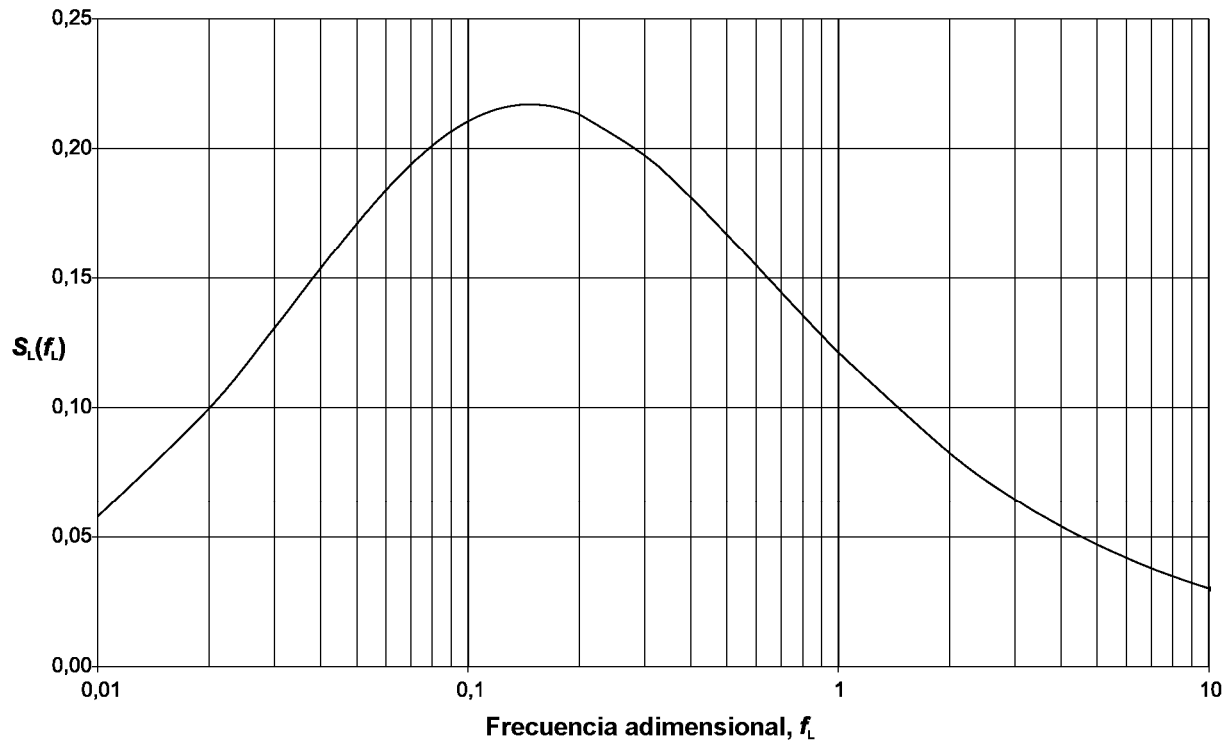


Fig. B.1 – Función de densidad espectral de potencia $S_L(f_L)$

B.2 Factor estructural

(1) El factor estructural $c_s c_d$ se define en el apartado 6.3.1.

(2) El factor de respuesta de fondo B^2 , que tiene en cuenta la falta de correlación completa de la presión sobre la superficie de la estructura, se puede calcular mediante la expresión (B.3):

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b + h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} \quad (\text{B.3})$$

donde

b, h es la anchura y la altura de la estructura, véase la figura 6.1.

$L(z_s)$ es la escala integral de la longitud de turbulencia, dada en el punto (1) del capítulo B.1 a una altura de referencia z_s definida en la figura 6.1. Se puede emplear un valor de $B^2 = 1$, del lado de la seguridad.

(3) El factor de pico k_p , definido como la relación entre el valor máximo de la parte fluctuante de la respuesta a su desviación típica, se debería obtener de la expresión (B.4) y se muestra en la figura B.2.

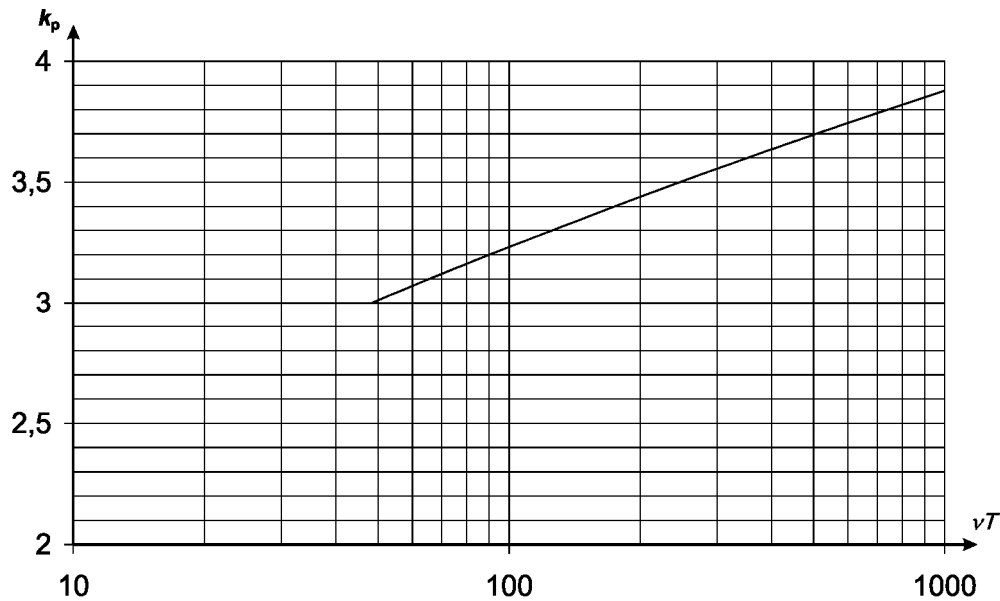


Fig. B.2 – Factor de pico

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \quad \text{o } k_p=3, \text{ el que sea mayor} \quad (\text{B.4})$$

donde

v es la frecuencia media de oscilación definida en el punto (4)

T es el tiempo promedio para la velocidad media del viento, $T = 600$ s.

(4) Es la frecuencia media de oscilación v que se debería determinar mediante la expresión (B.5):

$$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad ; \quad v \geq 0,08 \text{ Hz} \quad (\text{B.5})$$

donde $n_{1,x}$ es la frecuencia natural de la estructura, que se puede determinar mediante el anexo F. El valor límite de $v \geq 0,08$ Hz corresponde a un factor de pico de 3,0.

(5) El factor de respuesta de resonancia R^2 tiene en cuenta la interacción de la turbulencia en resonancia con el modo de vibración de la estructura considerado. El valor de R^2 se debería determinar mediante la expresión (B.6):

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) \quad (\text{B.6})$$

donde:

δ es el decremento logarítmico total del amortiguamiento, definido en el capítulo F.5;

S_L es la función de densidad espectral de potencia adimensional, definida en el punto (2) del capítulo B.1;

R_h, R_b son las funciones de admitancia aerodinámica definidas en el punto (6).

(6) Las funciones de admitancia aerodinámica, R_h y R_b , para una forma modal fundamental se pueden aproximar mediante las expresiones (B.7) y (B.8):

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}); \quad R_h = 1 \quad \text{para} \quad \eta_h = 0 \quad (\text{B.7})$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}); \quad R_b = 1 \quad \text{para} \quad \eta_b = 0 \quad (\text{B.8})$$

donde: $\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$ y $\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$

NOTA – En aquellas formas modales con nodos internos se deberían emplear cálculos más detallados.

B.3 Número de cargas para la respuesta dinámica

(1) La figura B.3 muestra el número de veces N_g , que el valor ΔS correspondiente a un efecto del viento es alcanzado o excedido en un periodo de 50 años. El valor de ΔS se expresa como un porcentaje del valor S_k , donde S_k es el efecto de una acción debida al viento para un periodo de retorno de 50 años.

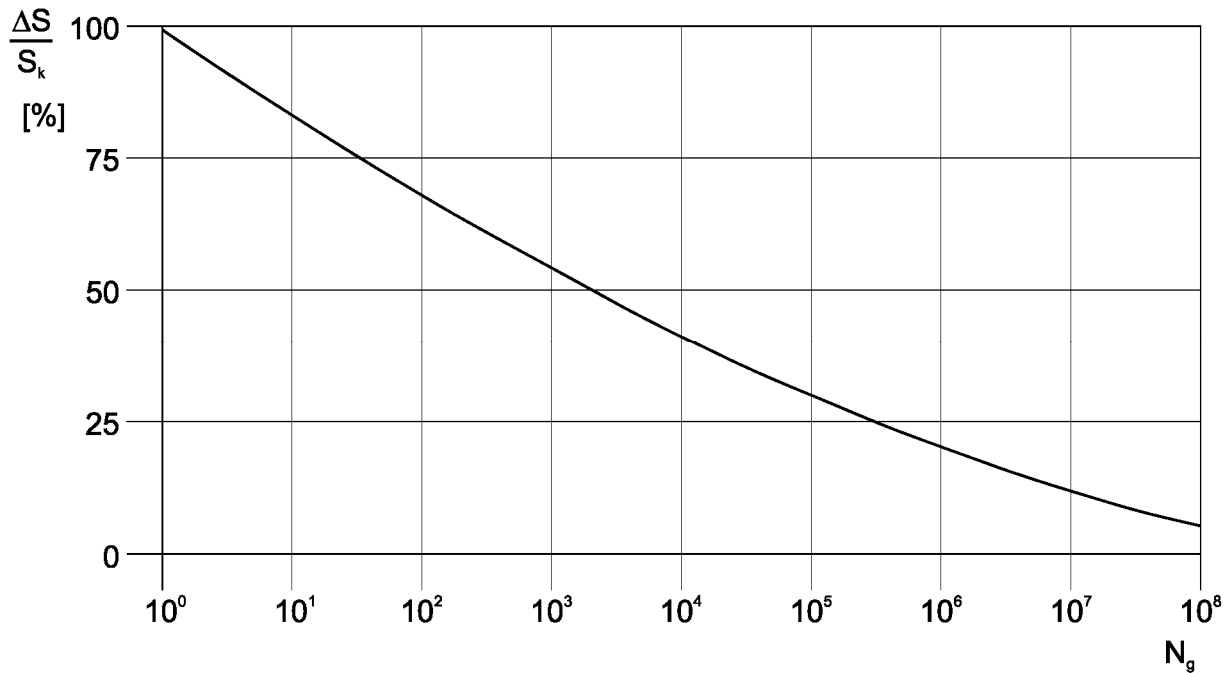


Fig. B.3 – Número de cargas de ráfagas N_g para un efecto $\Delta S/S_k$ durante un periodo de 50 años

La relación entre $\Delta S/S_k$ y N_g viene dada por la expresión B.9.

$$\frac{\Delta S}{S_k} = 0,7 \cdot (\log(N_g))^2 - 17,4 \cdot \log(N_g) + 100 \quad (\text{B.9})$$

B.4 Desplazamiento y aceleraciones de servicio para la evaluación en condiciones de servicio de una estructura vertical

(1) El desplazamiento máximo en la dirección del viento se determina a partir de la fuerza del viento estática equivalente definida en el apartado 5.3.

(2) La desviación típica $\sigma_{a,x}$ de la aceleración característica en la dirección del viento, del punto estructural situado a una altura z , se debería determinar mediante la expresión (B.10):

$$\sigma_{a,x}(z) = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot I_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s)}{m_{1,x}} \cdot R \cdot K_x \cdot \Phi_{1,x}(z) \quad (\text{B.10})$$

donde

c_f es el coeficiente de fuerza, véase el capítulo 7;

ρ es la densidad del aire, véase el punto (1) del apartado 4.5;

b es la anchura de la estructura, definida en la figura 6.1;

$I_v(z_s)$ es la intensidad de la turbulencia a una altura $z = z_s$ sobre el suelo, véase el punto (1) del apartado 4.4;

$v_m(z_s)$ es la velocidad media del viento a una altura $z = z_s$, véase el punto (1) del apartado 4.3.1;

z_s es la altura de referencia, véase el apartado 6.1;

R es la raíz cuadrada de la parte resonante de la respuesta, véase el punto (5) del capítulo B.2;

K_x es el coeficiente adimensional, definido por la expresión (B.11);

$m_{1,x}$ es la masa equivalente fundamental paralela a la acción del viento, véase el punto (1) del capítulo F.4;

$n_{1,x}$ es la frecuencia fundamental de vibración de la estructura en la dirección paralela al viento; en el anexo F se incluyen aproximaciones para su cálculo;

$\Phi_{1,x}(z)$ es la forma modal fundamental en dirección paralela al viento; como primera aproximación el anexo F recoge expresiones para su cálculo.

(3) El coeficiente adimensional, K_x , se define como:

$$K_x = \frac{\int_0^h v_m^2(z) \cdot \Phi_{1,x}^2(z) dz}{v_m^2(z_s) \cdot \int_0^h \Phi_{1,x}^2(z) dz} \quad (\text{B.11})$$

donde

h es la altura de la estructura (véase la figura 6.1).

NOTA – Suponiendo $\Phi_{1,x}(z) = (z/h)^{\xi}$ (véase el anexo F) y $c_0(z) = 1$ (terreno llano, véase el apartado 4.3.3), la expresión (B.11) se puede aproximar mediante la expresión (B.12). Esta expresión se muestra en la figura B.4.

$$K_x = \frac{(2 \cdot \zeta + 1) \cdot \left\{ (\zeta + 1) \cdot \left[\ln \left(\frac{z_s}{z_0} \right) + 0,5 \right] - 1 \right\}}{(\zeta + 1)^2 \cdot \ln \left(\frac{z_s}{z_0} \right)} \quad (\text{B.12})$$

donde

z_0 es la longitud de la rugosidad (véase la tabla 4.1)

ζ es el exponente de la forma modal (véase el anexo F)

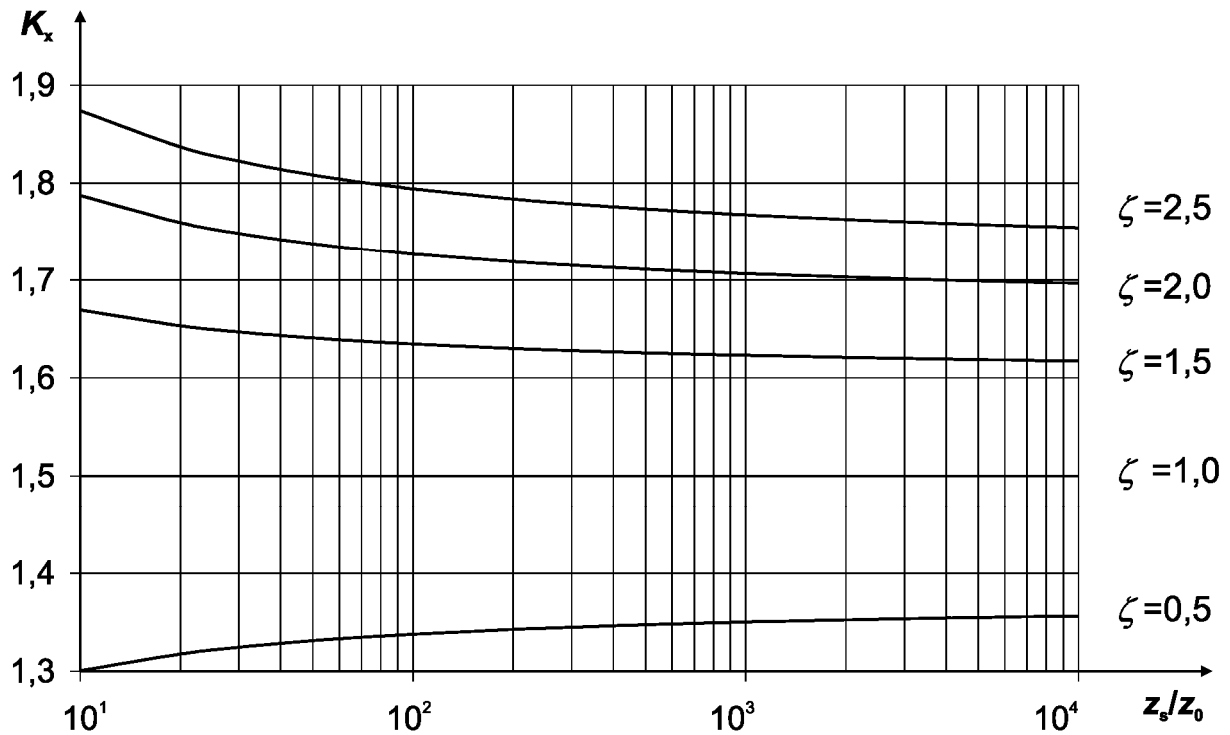


Fig. B.4 – Aproximación del coeficiente adimensional K_x según la expresión (B.12)

(4) Las aceleraciones características de pico se obtienen multiplicando la desviación típica del punto (2) por el factor de pico del punto (3) del capítulo B.2 empleando la frecuencia natural como frecuencia media de oscilación, es decir, $v = n_{1,x}$.

ANEXO C (Informativo)

PROCEDIMIENTO 2 PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR ESTRUCTURAL $c_s c_d$

C.1 Turbulencia del viento

(1) La turbulencia se debería considerar de acuerdo con el capítulo B.1.

C.2 Factor estructural

(1) El factor estructural $c_s c_d$ se define en el apartado 6.3.1.

(2) El factor de respuesta de fondo B^2 , que tiene en cuenta la falta de correlación completa de la presión sobre la superficie de la estructura, se puede calcular mediante la expresión (C.1):

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{h}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{b}{L(z_s)} \cdot \frac{h}{L(z_s)}\right)^2}} \quad (C.1)$$

donde

b, h son la anchura y la altura de la estructura, véase la figura 6.1;

$L(z_s)$ es la escala integral de la longitud de turbulencia, definida en el punto (1) del capítulo B.1, a una altura de referencia z_s , definida en la figura 6.1.

El empleo de $B^2 = 1$ está en el lado de la seguridad.

(3) El factor de pico k_p , se debería determinar mediante el punto (3) del capítulo B.2.

(4) El factor de respuesta de resonancia R^2 que tiene en cuenta el efecto de la turbulencia en resonancia con el modo de vibración de la estructura, se debería determinar mediante la expresión (C.2):

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot K_s(n_{1,x}) \quad (C.2)$$

donde:

δ es el decremento total logarítmico del amortiguamiento, definido en el anexo F;

S_L es la función de densidad espectral de potencia, definida en el punto (2) del capítulo B.1;

$n_{1,x}$ es la frecuencia natural de la estructura, que se puede determinar mediante el anexo F;

K_s es la función de reducción por efecto escala, definida en el punto (5).

(5) La función de reducción por efecto escala K_s se puede aproximar mediante la expresión (C.3):

$$K_s(n) = \frac{1}{1 + \sqrt{\left(G_y \cdot \phi_y\right)^2 + \left(G_z \cdot \phi_z\right)^2 + \left(\frac{2}{\pi} \cdot G_y \cdot \phi_y \cdot G_z \cdot \phi_z\right)^2}} \quad (C.3)$$

$$\phi_y = \frac{c_y \cdot b \cdot n}{v_m(z_s)}$$

$$\phi_z = \frac{c_z \cdot h \cdot n}{v_m(z_s)}$$

Las constantes G_y y G_z dependen de la variación de la forma modal a lo largo del eje horizontal y y vertical z , respectivamente. Las constantes de decaimiento c_y y c_z son ambas iguales a 11,5.

(6) La constante G introducida en el punto (5) y la constante K empleada para calcular las aceleraciones, se muestran en la tabla C.1.

Tabla C.1
Valores de G y K en función de la forma modal

| Forma Modal | Uniforme | Lineal | Parabólica | Sinusoidal |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|------------|------------|
| G : | 1/2 | 3/8 | 5/18 | $4/\pi^2$ |
| K : | 1 | 3/2 | 5/3 | $4/\pi$ |
| <p>NOTA 1 – En edificios con una variación uniforme de la forma modal horizontal y una variación lineal de la forma modal vertical $\Phi(y,z) = z/h$, $G_y = 1/2$, $G_z = 3/8$, $K_y = 1$ y $K_z = 3/2$.</p> <p>NOTA 2 – En chimeneas con una variación uniforme de la forma modal horizontal y una variación parabólica de la forma modal vertical $\Phi(y,z) = z^2/h^2$, $G_y = 1/2$, $G_z = 5/18$, $K_y = 1$ y $K_z = 5/3$.</p> <p>NOTA 3 – En puentes, con una variación sinusoidal de la forma modal horizontal $\Phi(y,z) = \sin(\pi \cdot y/b)$, $G_y = 4/\pi^2$, $G_z = 1/2$, $K_y = 4/\pi$ y $K_z = 1$.</p> | | | | |

C.3 Número de cargas para la respuesta dinámica

(1) El número de cargas se debería obtener del capítulo B. 3.

C.4 Desplazamiento y aceleraciones de servicio para la evaluación en condiciones de servicio

(1) El desplazamiento máximo en la dirección del viento es el desplazamiento estático determinado a partir de la fuerza estática del viento definida en el apartado 5.2.

(2) La desviación típica $\sigma_{a,x}$ de la aceleración característica en la dirección del viento del punto estructural con coordenadas (y,z) viene dado de forma aproximada por la expresión (C.4):

$$\sigma_{a,x}(y,z) = c_f \cdot \rho \cdot l_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s) \cdot R \cdot \frac{K_y \cdot K_z \cdot \Phi(y,z)}{\mu_{ref} \cdot \Phi_{máx.}} \quad (C.4)$$

donde

c_f es el coeficiente de fuerza, véase el capítulo 7;

ρ es la densidad del aire, véase el apartado 4.5;

$l_v(z_s)$ es la intensidad de la turbulencia a una altura z_s por encima del nivel del suelo, véase el punto (1) del apartado 4.4;

$v_m(z_s)$ es la velocidad media característica del viento a una altura z_s , véase el punto (1) del apartado 4.3.1;

z_s es la altura de referencia, véase la figura 6.1;

R es la raíz cuadrada de la parte resonante de la respuesta, véase el punto (4) del capítulo C.2;

K_y, K_z son las constantes dadas en el punto (6) del capítulo C.2;

μ_{ref} es la masa de referencia por unidad de área, véase el punto (3) del capítulo F.5;

$\Phi(y,z)$ es la forma modal;

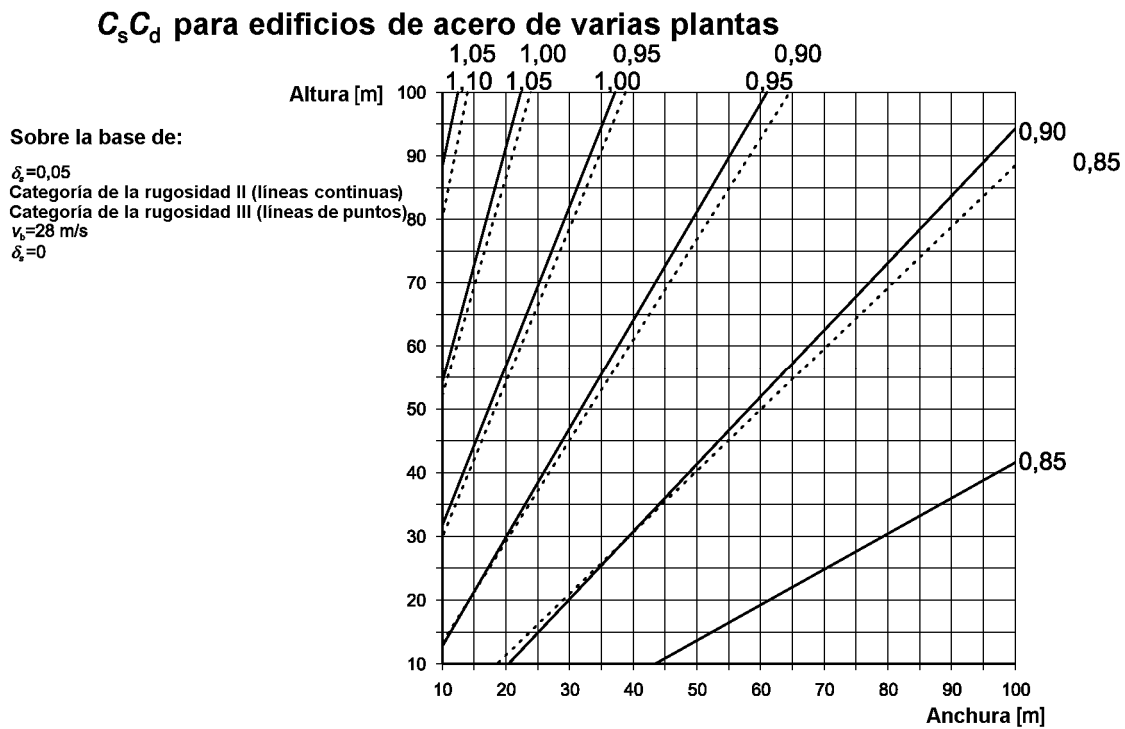
$\Phi_{\text{máx.}}$ es el valor de la forma modal en el punto de amplitud máxima.

(3) Las aceleraciones de pico características se obtienen multiplicando la desviación típica del punto (2) por el factor de pico del punto (3) del capítulo B.2, utilizando la frecuencia natural como frecuencia media de oscilación, es decir, $v = n_{1,x}$.

ANEXO D (Informativo)

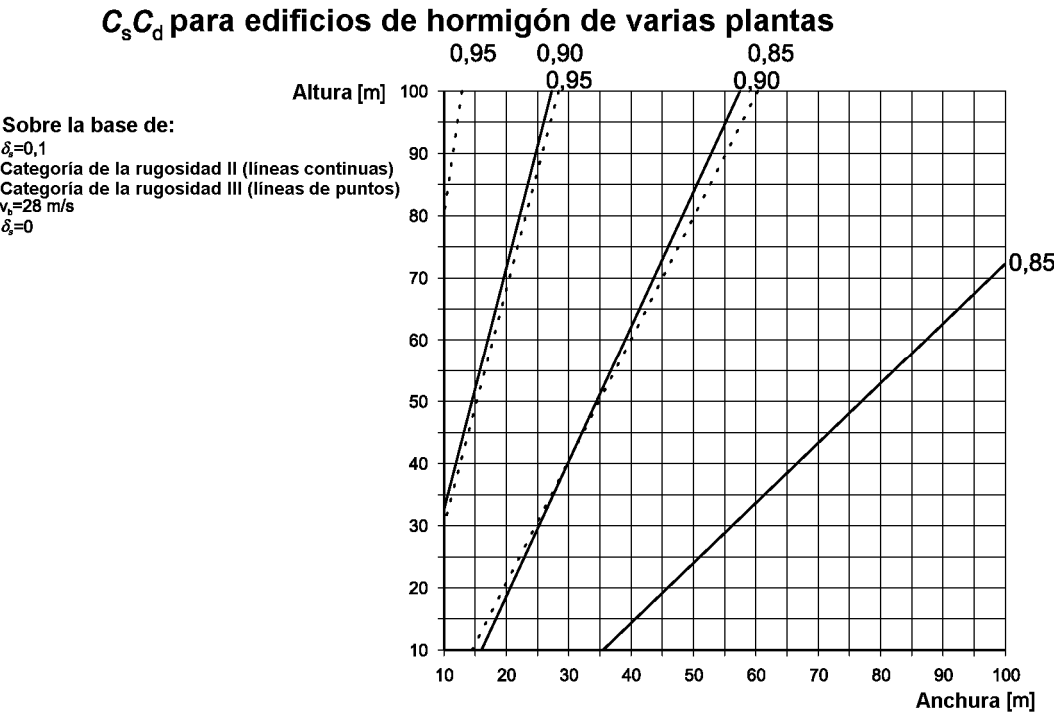
VALORES DE $c_s c_d$ PARA DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS

(1) Las frecuencias naturales y las formas modales de las estructuras presentadas en este anejo se han obtenido mediante un análisis lineal o se han estimado empleando las expresiones del anexo F.



NOTA – Para valores mayores que 1,1 se puede aplicar el procedimiento descrito en el apartado 6.3 (valor mínimo aprobado de $c_s c_d = 0,85$).

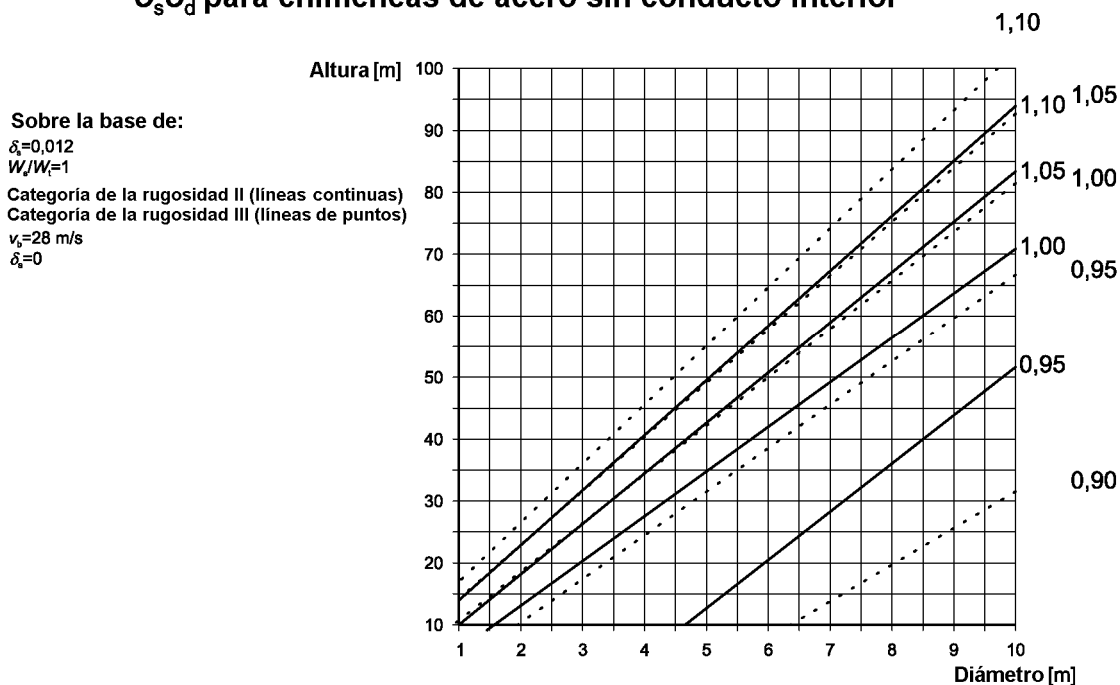
Fig. D.1 – Valores de $c_s c_d$ para edificios de acero de varias plantas con planta rectangular y muros exteriores verticales, con una distribución regular de masas y de la rigidez (frecuencia de acuerdo con la expresión (F.2))



NOTA – Para valores mayores que 1,1 se puede aplicar el procedimiento descrito en el apartado 6.3 (valor mínimo aprobado de $c_s c_d = 0,85$).

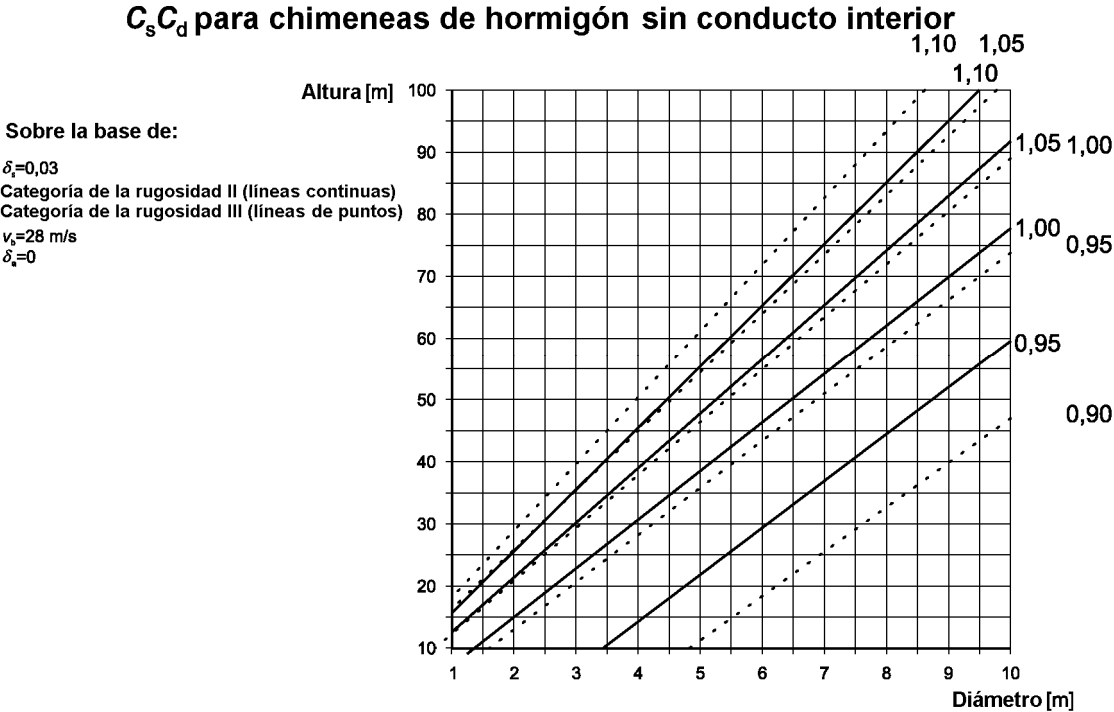
Fig. D.2 – Valores de $c_s c_d$ para edificios de hormigón de varias plantas, de planta rectangular y muros exteriores verticales, con una distribución regular de masas y de la rigidez (frecuencia de acuerdo con la expresión (F.2))

$C_s C_d$ para chimeneas de acero sin conducto interior



NOTA – Para valores mayores que 1,1 se puede aplicar el procedimiento descrito en el apartado 6.3 (valor mínimo aprobado de $c_s c_d = 0,85$).

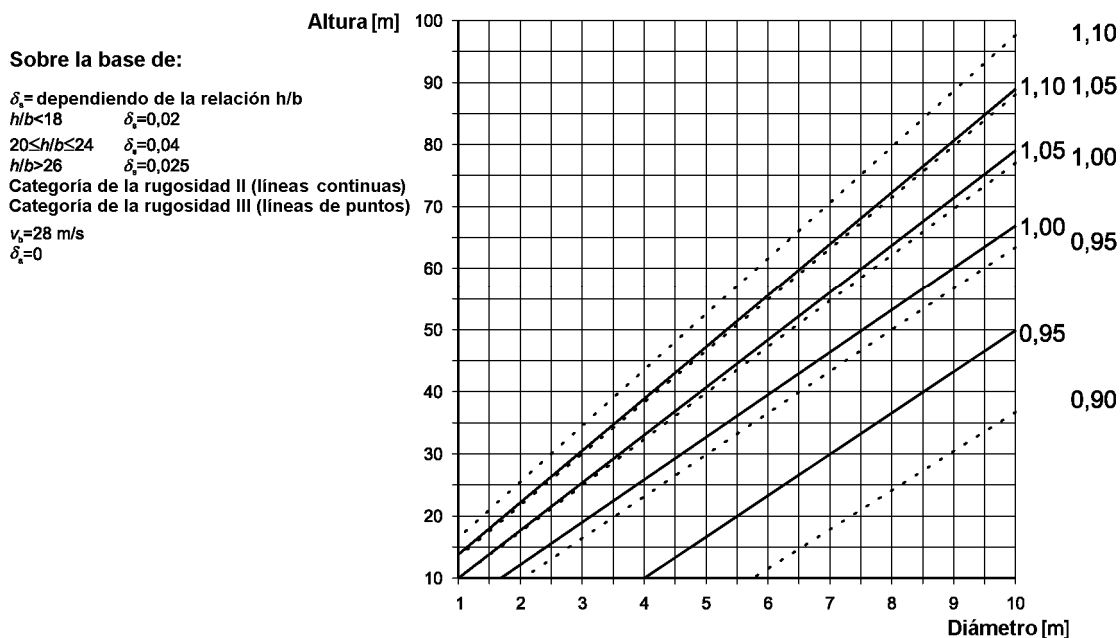
Fig. D.3 – Valores de $c_s c_d$ para chimeneas de acero sin conducto interior (frecuencia de acuerdo con la expresión (F.3), con $\varepsilon_1 = 1\,000$ y $W_s/W_t = 1,0$)



NOTA — Para valores mayores que 1,1 se puede aplicar el procedimiento descrito en el apartado 6.3 (valor mínimo aprobado de $c_s c_d = 0,85$).

Fig. D.4 – Valores de $c_s c_d$ para chimeneas de hormigón sin conducto interior
(frecuencia de acuerdo con la expresión (F.3), con $\varepsilon_l = 700$ y $W_s/W_t = 1,0$)

$C_s C_d$ para chimeneas de acero con conducto interior



NOTA — Para valores mayores que 1,1 se puede aplicar el procedimiento descrito en el apartado 6.3 (valor mínimo aprobado de $C_s C_d = 0,85$).

Fig. D.5 – Valores de $C_s C_d$ para chimeneas de acero con conducto interior y diferentes valores de δ_s de acuerdo con la tabla F.2 (frecuencia de acuerdo con la expresión (F.3), con $\varepsilon_1 = 1\,000$ y $W_s/W_t = 0,5$)

ANEXO E (Informativo)

DESPRENDIMIENTO DE VÓRTICES E INESTABILIDADES AEROELÁSTICAS

E.1 Desprendimiento de vórtices

E.1.1 Generalidades

(1) El fenómeno de desprendimiento de vórtices sucede cuando éstos se desprenden de manera alternada en dos lados opuestos de la estructura. Este efecto produce una carga fluctuante perpendicular a la dirección del viento. Pueden producirse vibraciones estructurales si la frecuencia del desprendimiento es similar a la frecuencia natural de la estructura. Esta condición se alcanza cuando la velocidad del viento es igual a la velocidad crítica del viento definida en el apartado E.1.3.1. Típicamente, la velocidad crítica del viento es una velocidad frecuente, indicando que los fenómenos de fatiga, y por tanto el número de ciclos de carga, pueden ser relevantes para la seguridad de la estructura.

(2) La respuesta de la estructura inducida por el desprendimiento de vórtices se compone de una respuesta de banda ancha, que sucede independientemente de si la estructura se mueve o no por la acción de viento, y una respuesta de banda estrecha, que se origina por el propio movimiento de la estructura inducido por la acción del viento.

NOTA 1 – La respuesta de banda ancha es normalmente la más importante en estructuras de hormigón armado y en estructuras de acero pesadas.

NOTA 2 – La respuesta de banda estrecha es normalmente la más importante en estructuras ligeras de acero.

E.1.2 Criterio para el desprendimiento de vórtices

(1) Se debería investigar el efecto del desprendimiento de vórtices cuando la relación entre las dimensiones más grande y más pequeña de la estructura en la dirección perpendicular al viento supere el valor de 6.

(2) No será necesario analizar el efecto del desprendimiento de vórtices cuando

$$v_{\text{crit},i} > 1,25 \cdot v_m \quad (\text{E.1})$$

donde

$v_{\text{crit},i}$ es la velocidad crítica del viento para el modo i , definida en el apartado E.1.3.1;

v_m es la velocidad media característica del viento correspondiente a 10 min, definida en el punto (1) del apartado 4.3.1 en la sección transversal en la que se producen el desprendimiento de vórtices (véase la figura E.3).

E.1.3 Parámetros básicos para el desprendimientos de vórtices

E.1.3.1 Velocidad crítica del viento $v_{\text{crit},i}$

(1) La velocidad crítica del viento para el modo de vibración de flexión i se define como la velocidad del viento a la cual la frecuencia del desprendimiento de vórtices es igual a la frecuencia natural de la estructura o del elemento estructural, y está definido por la expresión (E.2).

$$v_{\text{crit},i} = \frac{b \cdot n_{i,y}}{St} \quad (\text{E.2})$$

donde

b es la anchura de referencia de la sección transversal en la que tiene lugar el desprendimiento de vórtices resonante y donde la deformación modal es máxima para la estructura o elemento estructural considerado; en cilindros circulares la anchura de referencia es el diámetro exterior;

$n_{i,y}$ es la frecuencia natural del modo de flexión considerado i de la vibración perpendicular al viento; en el capítulo F.2 se dan aproximaciones para la determinación de $n_{1,y}$;

St Número de Strouhal, definido en el apartado E.1.3.2.

(2) La velocidad crítica del viento para el modo de ovalización i en laminas cilíndricas se define como la velocidad del viento a la cual la frecuencia del modo de ovalización i es igual a dos veces la frecuencia de desprendimiento de vórtices y viene definida por la expresión (E.3).

$$v_{crit,i} = \frac{b \cdot n_{i,0}}{2 \cdot St} \quad (E.3)$$

donde

b es el diámetro interior de la lámina;

St es el número de Strouhal, definido en el apartado E.1.3.2;

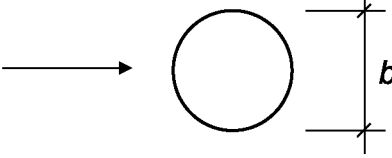
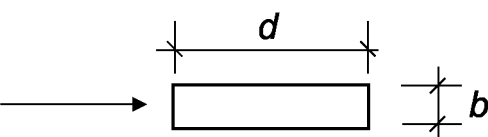
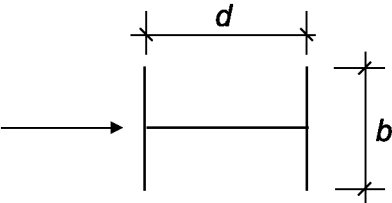
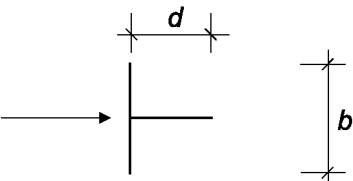
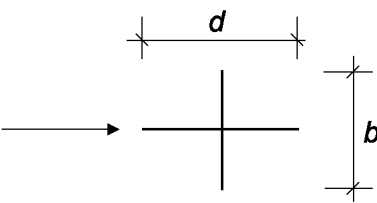
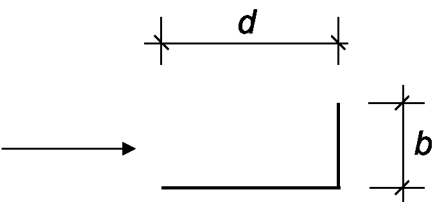
$n_{i,0}$ es la frecuencia natural del modo de ovalización i para la lámina.

NOTA 1 – Para laminas sin anillos de rigidización, n_0 se define en el punto (3) del capítulo F.2.

NOTA 2 – El cálculo de los modos de ovalización no están cubiertos por el anexo E.

E.1.3.2 Número de Strouhal St . El número de Strouhal St para diferentes secciones transversales se puede tomar de la tabla E.1.

Tabla E.1
Números de Strouhal St para diferentes secciones transversales

| Sección transversal | | St |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
|  Para todos los valores del número de Reynolds (Re) | | 0,18 |
|  $0,5 \leq d/b \leq 10$ | | dado en la figura E.1 |
|  Interpolación lineal | $d/b = 1$ $d/b = 1,5$ $d/b = 2$ | 0,11 0,10 0,14 |
|  Interpolación lineal | $d/b = 1$ $d/b = 2$ | 0,13 0,08 |
|  Interpolación lineal | $d/b = 1$ $d/b = 2$ | 0,16 0,12 |
|  Interpolación lineal | $d/b = 1,3$ $d/b = 2,0$ | 0,11 0,07 |
| NOTA – No se permite la extrapolación de números de Strouhal como función de d/b . | | |

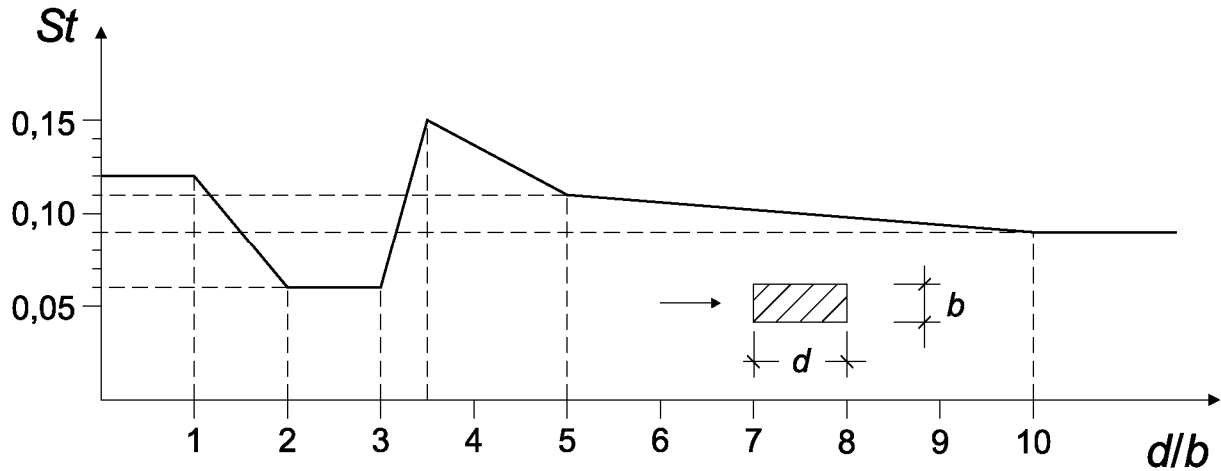


Fig. E.1 – Número de Strouhal (St) para secciones transversales rectangulares con bordes vivos

E.1.3.3 Número de Scruton Sc

(1) La susceptibilidad a las vibraciones depende del amortiguamiento estructural y de la relación de masas de la estructura y el fluido. Esto se expresa mediante el número de Scruton Sc , que se define en la expresión (E.4).

$$Sc = \frac{2 \cdot \delta_s \cdot m_{i,e}}{\rho \cdot b^2} \quad (E.4)$$

donde:

δ_s es el amortiguamiento estructural, expresado por el decremento logarítmico;

ρ es la densidad del aire en condiciones de desprendimiento de vórtices;

$m_{i,e}$ es la masa equivalente m_e por unidad de longitud para el modo i , tal como se define en el punto (1) del capítulo F.4;

b es la anchura de referencia de la sección transversal en la que se produce el desprendimiento de vórtices.

NOTA – El valor de la densidad del aire ρ puede definirse en el anexo nacional. El valor recomendado es $1,25 \text{ kg/m}^3$.

E.1.3.4 Número de Reynolds Re

(1) La acción debida al desprendimiento de vórtices sobre un cilindro circular depende del número de Reynolds Re a la velocidad crítica del viento $v_{crit,i}$. El número de Reynolds está definido por la expresión (E.5).

$$Re(v_{crit,i}) = \frac{b \cdot v_{crit,i}}{\nu} \quad (E.5)$$

donde

b es el diámetro exterior del cilindro circular;

ν es la viscosidad cinemática del aire ($\nu \approx 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$);

$v_{crit,i}$ es la velocidad crítica del viento, véase el apartado E.1.3.1.

E.1.4 Acción debida al desprendimiento de vórtices

(1) El efecto de las vibraciones inducidas por el desprendimiento de vórtices se debería calcular a partir del efecto de la fuerza de inercia por unidad de longitud $F_w(s)$, actuando perpendicularmente a la dirección del viento en un punto s de la estructura, y definida por la expresión (E.6)

$$F_w(s) = m(s) \cdot (2 \cdot \pi \cdot n_{i,y})^2 \cdot \Phi_{i,y}(s) \cdot y_{F,\text{máx.}} \quad (\text{E.6})$$

donde

$m(s)$ es la masa vibrante de la estructura por unidad de longitud [kg/m];

$n_{i,y}$ es la frecuencia natural de la estructura;

$\Phi_{i,y}(s)$ es la forma modal de la estructura normalizada a 1 en el punto de máximo desplazamiento;

$y_{F,\text{máx}}$ es el valor máximo del desplazamiento a lo largo del tiempo del punto en el que $\Phi_{i,y}(s)$ es igual a 1, véase el apartado E.1.5.

E.1.5 Cálculo de la amplitud del viento transversal

E.1.5.1 Generalidades

(1) Los apartados E.1.5.2 y E.1.5.3 muestran dos métodos diferentes de cálculo de las amplitudes en dirección normal al viento originadas por el desprendimiento de vórtices.

NOTA 1 – La elección del método de cálculo o la especificación de otro método de cálculo puede definirse en el anexo nacional.

NOTA 2 – La comparación directa entre los métodos propuestos en los apartados E.1.5.2 y E.1.5.3 no es posible, debido a que algunos de los parámetros de entrada se han elegido para diferentes condiciones ambientales. El anexo nacional podrá definir el rango de aplicación de cada uno de los métodos propuestos.

NOTA 3 – No se permite mezclar los métodos de los apartados E.1.5.2 y E.1.5.3, excepto si se establece específicamente en el texto.

(2) El método propuesto en el apartado E.1.5.2 puede emplearse para diferentes tipos de estructuras y formas modales. Este tipo de metodología incluye los efectos de la turbulencia y la rugosidad y se puede utilizar con condiciones climáticas normales.

(3) El método propuesto en el apartado E.1.5.3 puede utilizarse para calcular la respuesta de las vibraciones correspondientes al primer modo de las estructuras en voladizo con una distribución uniforme de dimensiones transversales al viento a lo largo del eje principal de la estructura. Estructuras típicas cubiertas por este método son las chimeneas o los mástiles. Este método no es de aplicación a agrupaciones o alineaciones de cilindros. El procedimiento de cálculo permite la consideración de diferentes intensidades de la turbulencia, que pueden variar de acuerdo a las condiciones meteorológicas. En aquellas regiones en las que se esperen unas condiciones ambientales muy frías y estratificadas (por ejemplo, en las zonas costeras del norte de Europa), se puede emplear este tipo de cálculo E.1.5.3.

NOTA – El anexo nacional puede identificar las regiones en las que tienen lugar las condiciones expresadas anteriormente. En estas regiones, el método 2 descrito en el apartado E.1.5.3 es más adecuado y el anexo nacional puede definir los parámetros de entrada adecuados (como por ejemplo K_a o la intensidad de la turbulencia) que deberían utilizarse.

E.1.5.2 Método 1 para el cálculo de las amplitudes del viento transversal

E.1.5.2.1 Cálculo de los desplazamientos

El mayor desplazamiento $y_{F,\text{máx}}$ puede calcularse mediante la expresión (E.7).

$$\frac{y_{F,m\acute{a}x.}}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{1}{Sc} \cdot K \cdot K_w \cdot c_{lat} \quad (E.7)$$

donde

St es el número de Strouhal, definido en la tabla E.1;

Sc es el número de Scruton, definido en el apartado E.1.3.3;

K_w es el factor de longitud efectiva de correlación, definido en el apartado E.1.5.2.4;

K es el factor de la forma modal, definido en el apartado E.1.5.2.5;

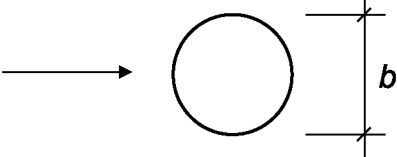
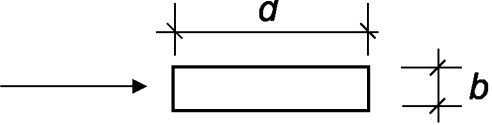
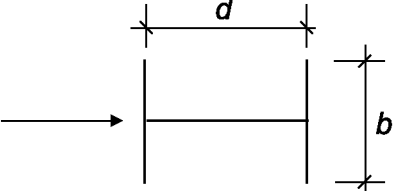
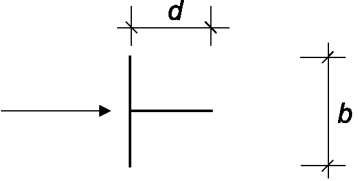
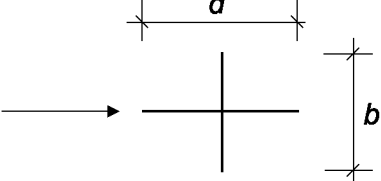
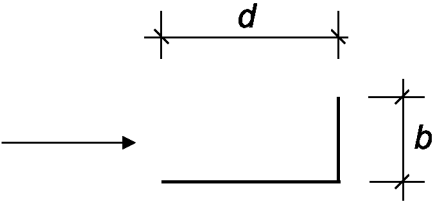
c_{lat} es el coeficiente de fuerza lateral, definido en la tabla E.2.

NOTA – Las fuerzas aeroelásticas se tienen en cuenta mediante el factor correspondiente a la longitud efectiva de correlación K_w .

E.1.5.2.2 Coeficiente de fuerza lateral c_{lat}

(1) El valor básico, $c_{lat,0}$, del coeficiente de fuerza lateral se muestra en la tabla E.2.

Tabla E.2
Valor básico del coeficiente de fuerza lateral, $c_{lat,0}$ para diferentes secciones transversales

| Sección transversal | St |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Para todos los valores del número de Reynolds (Re)</p> | <p>dado en la figura E.2</p> |
|  <p>$0,5 \leq d/b \leq 10$</p> | <p>1,1</p> |
|  <p>Interpolación lineal</p> | <p>$d/b = 1$ 0,8 $d/b = 1,5$ 1,2 $d/b = 2$ 0,3</p> |
|  <p>Interpolación lineal</p> | <p>$d/b = 1$ 1,6 $d/b = 2$ 2,3</p> |
|  <p>Interpolación lineal</p> | <p>$d/b = 1$ 1,4 $d/b = 2$ 1,1</p> |
|  <p>Interpolación lineal</p> | <p>$d/b = 1,3$ 0,8 $d/b = 2,0$ 1,0</p> |
| <p>NOTA – La extrapolación de los coeficientes de fuerza lateral como función de d/b no está permitida</p> | |

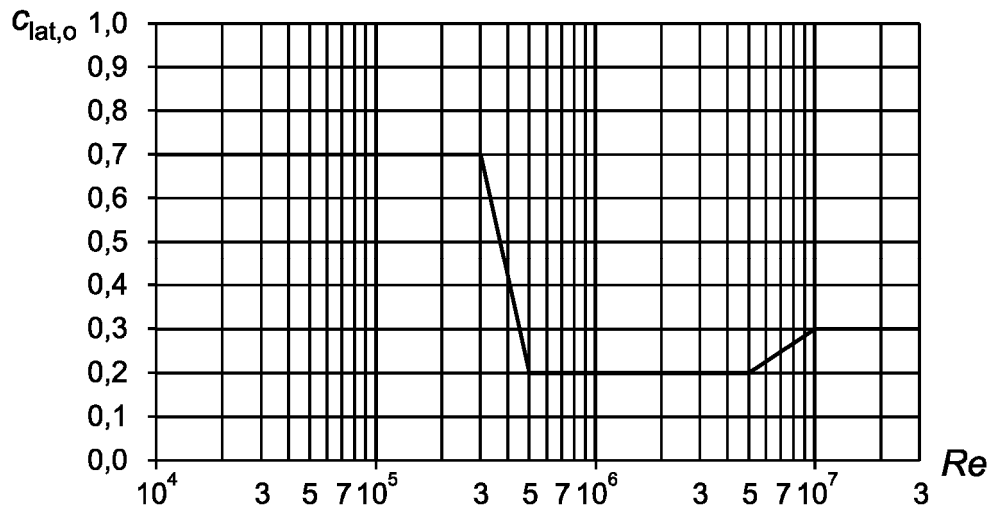


Fig. E.2 –Valor básico del coeficiente de fuerza lateral $c_{lat,0}$ en función del número de Reynolds $Re(v_{crit,i})$ para cilindros circulares, véase el apartado E.1.3.4

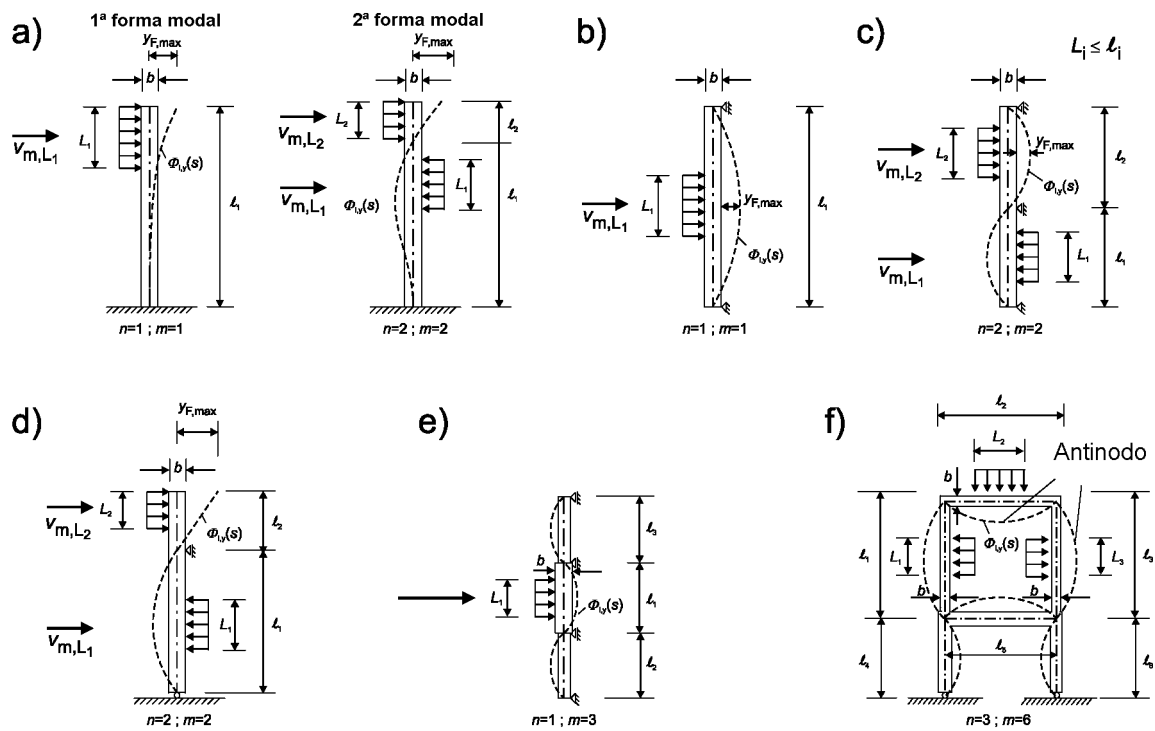
(2) El coeficiente de fuerza lateral, c_{lat} , se define en la tabla E.3.

Tabla E.3
Coeficiente de fuerza lateral c_{lat} en función de la relación de velocidad crítica del viento, $v_{crit,i}/v_{m,Lj}$:

| Relación de velocidad crítica del viento | c_{lat} |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $\frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \leq 0,83$ | $c_{lat} = c_{lat,0}$ |
| $0,83 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} < 1,25$ | $c_{lat} = \left(3 - 2,4 \cdot \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}} \right) \cdot c_{lat,0}$ |
| $1,25 \leq \frac{v_{crit,i}}{v_{m,Lj}}$ | $c_{lat} = 0$ |
| donde $c_{lat,0}$ es el valor básico de c_{lat} tal como se define en la tabla E.2 y, para cilindros circulares, en la figura E.2; $v_{crit,i}$ es la velocidad crítica del viento (véase la expresión (E.1)) $v_{m,Lj}$ es la velocidad media del viento (véase el apartado 4.2) en el centro de la longitud efectiva de correlación, tal como se define en la figura E.3. | |

E.1.5.2.3 Longitud de correlación L

(1) La longitud de correlación L_j , debería situarse entre los antinodos del modo de vibración. La figura E.3 muestra diferentes ejemplos. En el caso de mástiles atirantados y puentes continuos de varios vanos, es necesario asesoramiento especial.



NOTA – En el caso de que se muestre más de una longitud de correlación, es seguro utilizar ambas simultáneamente, y se debería utilizar el valor más alto de C_{lat} .

Fig. E.3 – Ejemplos de aplicación de la longitud de correlación L_j ($j = 1, 2, 3$)

Tabla E.4
Longitud efectiva de correlación, L_j en función
de la amplitud de vibración $y_F(s_j)$

| $y_F(s_j)/b$ | L_j/b |
|--------------|-------------------------------------|
| $< 0,1$ | 6 |
| 0,1 a 0,6 | $4,8 + 12 \cdot \frac{y_F(s_j)}{b}$ |
| $> 0,6$ | 12 |

E.1.5.2.4 Factor correspondiente a la longitud efectiva de correlación K_W

(1) El factor correspondiente a la longitud efectiva de correlación, K_W , se define mediante la expresión (E.8).

$$K_w = \frac{\sum_{j=1}^n \int_{L_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds}{\sum_{j=1}^m \int_{\ell_j} |\Phi_{i,y}(s)| ds} \leq 0,6 \quad (\text{E.8})$$

donde

$\Phi_{i,y}$ es la forma modal i (véase el capítulo F.3);

L_j es la longitud de correlación;

ℓ_j es la longitud de la estructura entre dos nodos (véase la figura E.3); en estructuras en voladizo, es igual a la altura de la estructura;

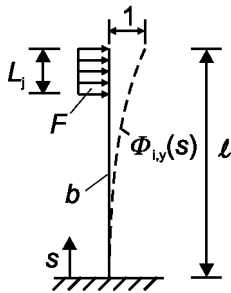
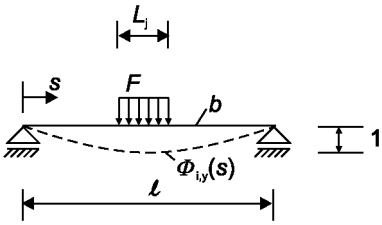
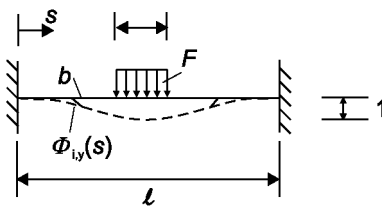
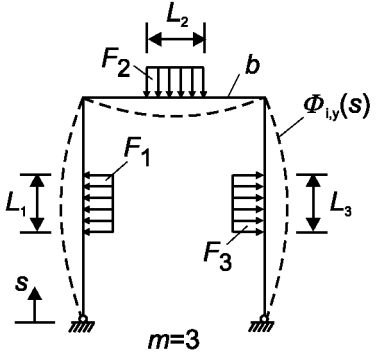
n es el número de regiones en las que la excitación de los vórtices sucede al mismo tiempo (véase la figura E.3);

m es el número de antinodos de la estructura en la forma modal considerada $\Phi_{i,y}$;

s es la coordenada definida en la tabla E.5.

(2) Para algunas estructuras simples que vibren de acuerdo con el modo fundamental perpendicular a la acción del viento, y de acuerdo a la fuerza de excitación definida en la tabla E.5, el factor correspondiente a la longitud efectiva de correlación K_w se puede aproximar mediante las expresiones definidas en la tabla E.5.

Tabla E.5
Factor de longitud de correlación K_W y factor de forma modal K para algunas estructuras simples

| Estructura | Forma modal $\Phi_{i,y}(s)$ | K_W | K |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|  | <p>Véase el capítulo F.3 con $\zeta = 2,0$ $n = 1$; $m = 1$</p> | $3 \cdot \frac{L_j/b}{\lambda} \cdot \left[1 - \frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{L_j/b}{\lambda} \right)^2 \right]$ | 0,13 |
|  | <p>Véase la tabla F.1 $n = 1$; $m = 1$</p> | $\cos \left[\frac{\pi}{2} \cdot \left(1 - \frac{L_j/b}{\pi} \right) \right]$ | 0,10 |
|  | <p>Véase la tabla F.1 $n = 1$; $m = 1$</p> | $\frac{L_j/b}{\lambda} + \frac{1}{\pi} \cdot \text{sen} \left[\pi \cdot \left(1 - \frac{L_j/b}{\lambda} \right) \right]$ | 0,11 |
|  | <p>Análisis modal $n = 3$ $m = 3$</p> | $\frac{\sum_{i=1}^n \int_{L_j} \Phi_{i,y}(s) ds}{\sum_{j=1}^m \int_{\ell_j} \Phi_{i,y}(s) ds}$ | 0,10 |
| <p>NOTA 1 – La forma modal, $\Phi_{i,y}(s)$, se ha tomado del capítulo F.3. Los parámetros n y m se definen en la expresión (E.7) y en la figura E.3.</p> <p>NOTA 2 – $\lambda = \ell/b$.</p> | | | |

E.1.5.2.5 Factor de forma modal

(1) El factor de forma modal K se define mediante la expresión (E.9).

$$K = \frac{\sum_{j=1}^m \int_{\ell_j} |\Phi_{1,y}(s)| ds}{4 \cdot \pi \sum_{j=1}^m \int_{\ell_j} |\Phi_{1,y}^2(s)| ds} \quad (\text{E.9})$$

donde

m se define en el punto (1) del apartado E.1.5.2.4;

$\Phi_{1,y}(s)$ es la forma modal i perpendicular a la acción del viento (véase el capítulo F.3);

ℓ_j es la longitud de la estructura entre dos nodos (véase la figura E.3).

(2) Para algunas estructuras simples que vibren de acuerdo con el modo fundamental perpendicular a la acción del viento se define el factor de forma modal en la tabla E.5.

E.1.5.2.6 Número de ciclos de carga

(1) El número de ciclos de carga N originados por la oscilación de la excitación de los vórtices viene dado por la expresión (E.10).

$$N = 2 \cdot T \cdot n_y \cdot \varepsilon_0 \cdot \left(\frac{v_{\text{crit}}}{v_0} \right)^2 \cdot \exp \left(- \left(\frac{v_{\text{crit}}}{v_0} \right)^2 \right) \quad (\text{E.10})$$

donde

n_y es la frecuencia natural del modo perpendicular a la acción del viento [Hz]. El anexo F recoge aproximaciones para el cálculo de n_y ;

v_{crit} es la velocidad crítica del viento [m/s] definida en el apartado E.1.3.1;

v_0 es $\sqrt{2}$ veces el valor modal de la función de distribución de Weibull supuesta para la velocidad del viento [m/s], véase la nota 2;

T es la vida útil en segundos, que es igual a $3,2 \cdot 10^7$ multiplicada por la vida útil esperada, en años;

ε_0 es el factor de ancho de banda que describe la banda de velocidades del viento que inducen vibraciones en los vórtices, véase la nota 3.

NOTA 1 – El anexo nacional puede especificar un valor mínimo de N . El valor recomendado es $N \geq 10^4$.

NOTA 2 – El valor v_0 se puede tomar como el 20% de la velocidad media característica del viento, especificada en el punto (1) del apartado 4.3.1 a la altura de la sección transversal en la que se produce el desprendimiento de vórtices.

NOTA 3 – El factor de ancho de banda ε_0 se sitúa en el rango (0,1 – 0,3). Se puede tomar un valor de $\varepsilon_0 = 0,3$.

E.1.5.2.7 Resonancia de vórtices para cilindros en fila o agrupados

(1) En una fila o agrupación de cilindros circulares, acoplados o no acoplados (véase la figura E.4), se pueden producir vibraciones originadas por el desprendimiento de vórtices.

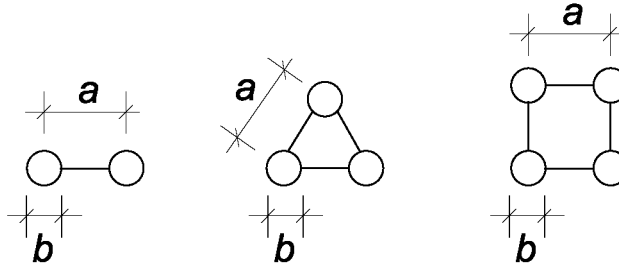


Fig. E.4 – Disposiciones de cilindros en línea y agrupaciones

(2) Las deformaciones máximas de la oscilación se pueden estimar mediante la expresión (E.7) y el procedimiento de cálculo definido en el apartado E.1.5.2 teniendo en cuenta las modificaciones establecidas en las expresiones (E.11) y (E.12).

Para una alineación de cilindros circulares exentos, sin emparejar:

$$\begin{aligned}
 c_{\text{lat}} &= 1,5 \cdot c_{\text{lat}(\text{simple})} & \text{para} & \quad 1 \leq \frac{a}{b} \leq 10 \\
 c_{\text{lat}} &= c_{\text{lat}(\text{simple})} & \text{para} & \quad \frac{a}{b} \geq 15 \\
 \text{interpolación lineal} & & \text{para} & \quad 10 < \frac{a}{b} \leq 15 \\
 St &= 0,1 + 0,085 \cdot \log\left(\frac{a}{b}\right) & \text{para} & \quad 1 \leq \frac{a}{b} \leq 9 \\
 St &= 0,18 & \text{para} & \quad \frac{a}{b} > 9
 \end{aligned} \tag{E.11}$$

donde

$c_{\text{lat}(\text{simple})} = c_{\text{lat}}$ tal y como se define en la tabla E.3.

En cilindros emparejados:

$$c_{\text{lat}} = K_{\text{iv}} \cdot c_{\text{lat}(\text{simple})} \quad \text{para} \quad 1,0 \leq a/b \leq 3,0 \tag{E.12}$$

donde

K_{iv} es el factor de interferencia para la acción del desprendimiento de vórtices (véase la tabla E.8);

St es el número de Strouhal, definido en la tabla E.8;

Sc es el número de Scruton, definido en la tabla E.8;

En cilindros unidos entre sí, con una relación $a/d > 3,0$ se recomienda el asesoramiento de un especialista.

NOTA — El factor $1,5 \cdot c_{lat}$ para cilindros circulares sin uniones entre sí, es una aproximación grosera. Se supone que esta aproximación es conservadora.

E.1.5.3 Método 2, para el cálculo de las amplitudes del viento transversal

(1) El desplazamiento máximo característico en el punto de máximo movimiento, se obtiene mediante la expresión (E.13).

$$y_{\text{máx.}} = \sigma_y \cdot k_p \quad (\text{E.13})$$

donde

σ_y es la desviación típica del desplazamiento, véase el punto (2);

k_p es el factor de pico, véase el punto (6).

(2) La desviación típica σ_y del desplazamiento, referida a la anchura b , en el punto de máxima deformación ($\Phi = 1$) se puede calcular empleando la expresión (E.14).

$$\frac{\sigma_y}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{C_c}{\sqrt{\frac{Sc}{4 \cdot \pi} - K_a \cdot \left(1 - \left(\frac{\sigma_y}{b \cdot a_L}\right)^2\right)}} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot b^2}{m_e}} \cdot \sqrt{\frac{b}{h}} \quad (\text{E.14})$$

donde

C_c es la constante aerodinámica, que depende de la forma de la sección transversal, y que para el caso de cilindros circulares también depende del número de Reynolds Re tal como se define en el punto (1) del apartado E.1.3.4; viene indicado en la tabla E.6;

K_a es el parámetro de amortiguamiento aerodinámico, definido en el punto (4) del apartado E.1.5.3 (4);

a_L es la amplitud límite normalizada de la deformación de estructuras con muy bajo amortiguamiento; viene indicado en la tabla E.6;

St es el número de Strouhal, definido en el apartado E.1.6.2;

ρ es la densidad del aire en condiciones de desprendimiento de vórtices, véase la nota 1;

m_e es la masa efectiva por unidad de longitud; definida en el punto (1) del capítulo F.4;

h, b es la altura y la anchura de la estructura. En estructuras de anchura variable, se utiliza la anchura en la zona de máximo desplazamiento.

NOTA 1 — El valor de la densidad del aire ρ , se puede definir en el anexo nacional. El valor recomendado es $1,25 \text{ kg/m}^3$.

NOTA 2 — La constante aerodinámica C_c depende de la fuerza de sustentación que actúa sobre una estructura estática.

NOTE 3 — El movimiento inducido por las acciones debidas al viento, se tiene en cuenta mediante los parámetros K_a y a_L .

(3) La solución a la expresión (E.14) viene dada por la expresión (E.15).

$$\left(\frac{\sigma_y}{b}\right)^2 = c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2} \quad (\text{E.15})$$

donde las constantes c_1 y c_2 vienen dadas por:

$$c_1 = \frac{a_L^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{Sc}{4 \cdot \pi \cdot K_a} \right); \quad c_2 = \frac{\rho \cdot b^2}{m_e} \cdot \frac{a_L^2}{K_a} \cdot \frac{C_c^2}{St^4} \cdot \frac{b}{h} \quad (\text{E.16})$$

(4) La constante de amortiguamiento aerodinámico K_a disminuye conforme aumenta la intensidad de la turbulencia. Para una intensidad del 0%, la constante de amortiguamiento aerodinámico se puede tomar como $K_a = K_{a,\text{máx.}}$, definida en la tabla E.6.

NOTA – El empleo de $K_{a,\text{máx.}}$ para intensidades de turbulencia superiores al 0% proporciona predicciones de desplazamientos conservadoras. El anexo nacional puede especificar información más detallada acerca de la influencia de la intensidad de la turbulencia sobre K_a .

(5) Los valores de las constantes C_c , $K_{a,\text{máx.}}$ y a_L para cilindros de base circular y secciones transversales cuadradas se definen en la tabla E.6.

Tabla E.6
Constantes para la determinación del efecto de desprendimiento de vórtices

| Constante | Cilindro circular $Re \leq 10^5$ | Cilindro circular $Re = 5 \cdot 10^5$ | Cilindro circular $Re \geq 10^6$ | Sección transversal cuadrada |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| C_c | 0,02 | 0,005 | 0,01 | 0,04 |
| $K_{a,\text{máx.}}$ | 2 | 0,5 | 1 | 6 |
| a_L | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| NOTA – En cilindros circulares, se puede suponer que el valor de las constantes C_c y $K_{a,\text{máx.}}$ varían linealmente con el logaritmo del número de Reynolds para $10^5 < Re < 5 \cdot 10^5$ y $5 \cdot 10^5 < Re < 10^6$, respectivamente. | | | | |

(6) Se debería determinar el factor de pico k_p .

NOTA – El anexo nacional puede definir el factor de pico. La expresión (E.17) proporciona el valor recomendable.

$$k_p = \sqrt{2} \cdot \left(1 + \frac{1,2}{\tan \left(0,75 \cdot \frac{Sc}{(4 \cdot \pi \cdot K_a)} \right)} \right) \quad (\text{E.17})$$

(7) El número de ciclos de carga se puede determinar mediante el apartado E.1.5.2.6 utilizando un factor de ancho de banda de valor $\varepsilon_0 = 0,15$.

E.1.6 Medidas para reducir las vibraciones inducidas por desprendimiento de vórtices

(1) Los movimientos inducidos por el desprendimiento de vórtices se pueden reducir mediante dispositivos aerodinámicos (solamente en condiciones especiales, por ejemplo, con valores del número de Scruton superiores a 8) o mediante dispositivos amortiguadores acoplados a la estructura. El coeficiente de arrastre c_f para una estructura con sección transversal circular y dispositivos aerodinámicos, basado en el diámetro básico b , puede aumentar hasta un valor de 1,4. Ambas aplicaciones requieren un asesoramiento especial.

(2) Para más información véanse los códigos o instrucciones para estructuras especiales.

E.2 Galope

E.2.1 Generalidades

(1) El galope es una vibración autoinducida de una estructura flexible en un modo de flexión perpendicular a la dirección del viento. Las secciones transversales no circulares, incluyendo las de tipo L-, I-, U- y T- son propensas a sufrir galope. El efecto de hielo adherido a la superficie puede convertir una sección transversal estable en inestable.

(2) La oscilación de galope comienza a una velocidad del viento determinada v_{CG} y normalmente las amplitudes aumentan rápidamente con la velocidad del viento.

E.2.2 Velocidad de viento para la iniciación del galope

(1) La velocidad de viento para la iniciación del galope, v_{CG} , se determina mediante la expresión (E.18).

$$v_{CG} = \frac{2 \cdot Sc}{a_G} \cdot n_{1,y} \cdot b \quad (E.18)$$

donde

Sc es el número de Scruton, definido en el punto (1) del apartado E.1.3.3;

$n_{1,y}$ es la frecuencia fundamental de vibración en la dirección perpendicular al viento de la estructura; en el capítulo F.2 se proporcionan aproximaciones para el cálculo de $n_{1,y}$;

b es la anchura, tal como se define en la tabla E.7;

a_G es el factor de inestabilidad por galope (véase la tabla E.7); si no se conoce el factor de inestabilidad por galope, se puede emplear $a_G = 10$.

(2) Se debería asegurar que:

$$v_{CG} > 1,25 \cdot v_m \quad (E.19)$$

donde

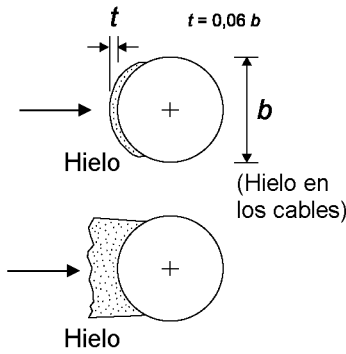
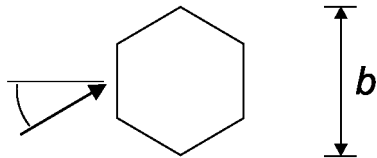
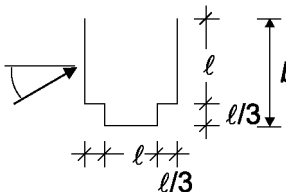
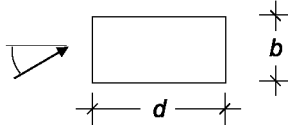
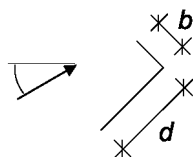
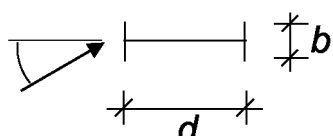
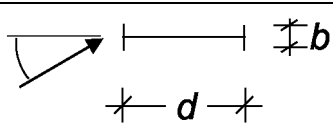
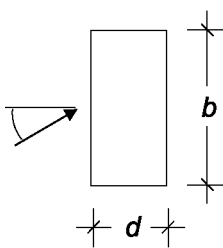
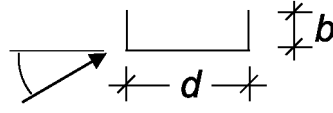
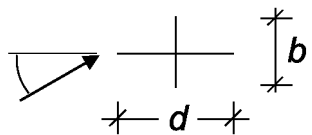
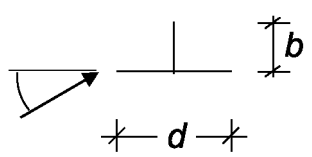
v_m es la velocidad media del viento tal como se define en la expresión (4.3) y calculada a la altura en la que se prevé la aparición del proceso de galope, y que probablemente coincida con el punto de máxima amplitud de oscilación.

(3) Si la velocidad crítica de desprendimiento de vórtices v_{crit} está cerca a la velocidad del viento para la iniciación del galope v_{CG} :

$$0,7 < \frac{v_{CG}}{v_{crit}} < 1,5 \quad (E.20)$$

es posible que aparezcan efectos de interacción entre el desprendimiento de vórtices y el galope. En este caso, se recomienda el asesoramiento de un especialista.

Tabla E.7
Factor de inestabilidad por galope a_G

| Sección transversal | | Factor de inestabilidad por galope | Sección transversal | | Factor de inestabilidad por galope |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|
| | | a_G | | | a_G |
|  | | 1,0 |  | | 1,0 |
| | | |  | | 4 |
|  Interpolación lineal | $d/b = 2$ | 2 |  | $d/b = 2$ | 0,7 |
| | $d/b = 1,5$ | 1,7 |  | $d/b = 2,7$ | 5 |
| | $d/b = 1$ | 1,2 |  | $d/b = 5$ | 7 |
|  Interpolación lineal | $d/b = 2/3$ | 1 |  | $d/b = 3$ | 7,5 |
| | $d/b = 1/2$ | 0,7 |  | $d/b = 3/4$ | 3,2 |
| | $d/b = 1/3$ | 0,4 |  | $d/b = 2$ | 1 |
| NOTA – Las extrapolaciones del factor a_G en función de d/b no están permitidas. | | | | | |

E.2.3 Galope clásico de cilindros emparejados

(1) En cilindros emparejados (véase la figura E.4) puede ocurrir el galope clásico.

(2) La velocidad a la que se produce el galope clásico en cilindros acoplados, v_{CG} , se puede estimar mediante la expresión (E.21)

$$v_{CG} = \frac{2 \cdot Sc}{a_G} \cdot n_{1,y} \cdot b \quad (E.21)$$

donde Sc , a_G y b se definen en la tabla E.8, y $n_{1,y}$ es la frecuencia natural del modo de flexión de la estructura (véase la figura F.2).

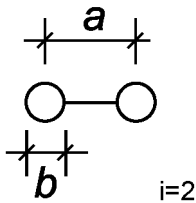
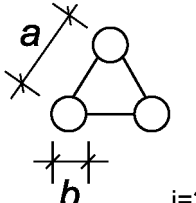
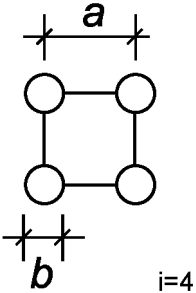
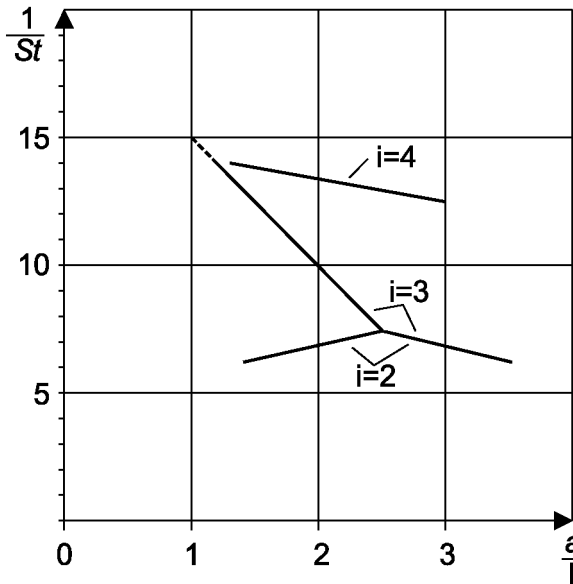
(3) Se debería asegurar que:

$$v_{CG} > 1,25 \cdot v_m(z) \quad (E.22)$$

donde

$v_m(z)$ es la velocidad media del viento definida en la expresión (4.3) y calculada a la altura z en la que se prevé la aparición de la excitación de galope, que generalmente coincide con el punto de máxima amplitud de la oscilación.

Tabla E.8
Datos para la estimación de la respuesta frente a viento transversal de cilindros emparejados dispuestos en línea o agrupados

| Cilindros acoplados | Número de Scruton $Sc = \frac{2 \cdot \delta_s \cdot \Sigma m_{i,y}}{\rho \cdot b^2}$ (comparar con la expresión (E.4)) | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | $a/b = 1$ | $a/b \geq 2$ | $a/b \leq 1,5$ | $a/b \geq 2,5$ |
|  $i=2$ | $K_{iv} = 1,5$ | $K_{iv} = 1,5$ | $a_G = 1,5$ | $a_G = 3,0$ |
|  $i=3$ | $K_{iv} = 4,8$ | $K_{iv} = 3,0$ | $a_G = 6,0$ | $a_G = 3,0$ |
|  $i=4$ | $K_{iv} = 4,8$ | $K_{iv} = 3,0$ | $a_G = 1,0$ | $a_G = 2,0$ |
| Interpolación lineal | | | | |
|  Números de Strouhal recíprocos de cilindros emparejados dispuestos en línea y agrupados | | | | |

E.3 Efecto de galope de interferencia de dos o más cilindros autoestables

(1) En el efecto de galope de interferencia es una oscilación autoexcitada que puede suceder si dos o más cilindros se disponen agrupados cerca sin estar conectados unos a otros.

(2) Si el ángulo de ataque del viento se sitúa en el rango de la dirección crítica del viento β_k y si $a/b < 3$ (véase la figura E.5), la velocidad crítica del viento, v_{CIG} , se puede estimar como

$$v_{CIG} = 3,5 \cdot n_{1,y} \cdot b \sqrt{\frac{a}{b} \cdot \frac{Sc}{a_{IG}}} \quad (E.23)$$

donde

Sc es el número de Scruton definido en el punto (1) del apartado E.1.3.3;

a_{IG} es el parámetro de estabilidad combinada $a_{IG} = 3,0$;

$n_{1,y}$ es la frecuencia fundamental de vibración en dirección perpendicular al viento. El capítulo F.2 proporciona diversas aproximaciones;

a es la separación entre cilindros;

b es el diámetro.

NOTA – El anexo nacional puede proporcionar información adicional sobre el término a_{IG} .

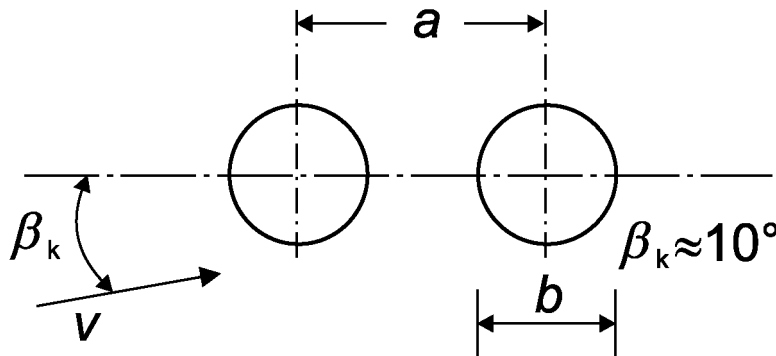


Fig. E.5 – Parámetros geométricos para el efecto de galope de interferencia

(3) El efecto de galope de interferencia se puede evitar mediante el acoplamiento de los cilindros autoestables. En tal caso, puede darse el fenómeno de galope clásico (véase el apartado E.2.3).

E.4 Divergencia y flameo

E.4.1 Generalidades

(1) La divergencia y el flameo son inestabilidades que ocurren en estructuras tipo placa flexibles, tales como paneles de señalización o tableros de puentes colgantes, bajo ciertas condiciones límite de velocidad de viento. La inestabilidad es causada por la deformación de la estructura, que modifica los parámetros aerodinámicos que a su vez alteran la carga del viento sobre la estructura.

(2) Se debería evitar la aparición de divergencias o flameo.

(3) Los procedimientos descritos a continuación proporcionan métodos de evaluación de la susceptibilidad de una estructura en términos de simples criterios estructurales. En el caso de que dichos criterios no se cumplan se recomienda el asesoramiento de un especialista.

E.4.2 Criterio para estructuras tipo placa

(1) Para que se produzca la divergencia o el flameo, la estructura cumplirá los tres criterios especificados a continuación. Los criterios deberían verificarse en el orden especificado (el más sencillo primero) y si uno de los criterios no se satisface, la estructura no será proclive a sufrir divergencia o flameo.

- La estructura, o una parte importante de ella, tiene una sección transversal alargada (en forma de placa plana) con una relación b/d inferior a 0,25 (véase la figura E.6).
- El eje torsional es paralelo al plano de la placa y normal a la dirección del viento, estando situado el centro de torsión al menos $d/4$ hacia sotavento desde el borde situado a barlovento de la placa, donde b es la anchura de la placa en la dirección del viento, medida de manera perpendicular al eje de torsión. Esta condición incluye el caso común en el que el centro de torsión coincide con el centro geométrico, es decir, carteles de señalización o marquesinas centrados y en el caso en el que el centro de torsión esté situado en el borde a sotavento, es decir, una marquesina en voladizo.
- La frecuencia natural más baja corresponde a un modo de torsión, o bien la frecuencia natural más baja del modo de torsión es inferior a dos veces la frecuencia natural transnacional más baja.

E.4.3 Velocidad de divergencia

(1) La velocidad crítica del viento que produce la divergencia viene dada por la expresión (E.24)

$$v_{\text{div}} = \left[\frac{2 \cdot k_{\Theta}}{\rho \cdot d^2 \cdot \frac{dc_M}{d\Theta}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{E.24})$$

donde

k_{Θ} es la rigidez torsional;

c_M es el coeficiente de momento aerodinámico, definido por la expresión (E.25):

$$c_M = \frac{M}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot d^2} \quad (\text{E.25})$$

$dc_M/d\Theta$ es la velocidad de cambio del coeficiente de momento aerodinámico con respecto a la rotación a lo largo del centro torsional, Θ se expresa en radianes;

M es el momento aerodinámico de una unidad de longitud de la estructura;

ρ es la densidad del aire, dada en el apartado 4.5;

d es el canto de la estructura en la dirección del viento (véase la figura E.6);

b es la anchura de la estructura, definida en la figura E.6.

(2) Los valores medidos del término $dc_M/d\Theta$ respecto al centro geométrico, para diferentes secciones rectangulares, se definen en la figura E.6.

(3) Se debería asegurar que:

$$v_{\text{div}} > 2 \cdot v_m(z_s) \quad (\text{E.26})$$

donde

$v_m(z_s)$ es la velocidad media del viento, definida en la expresión (4.3) a una altura z_s (definida en la figura 6.1)

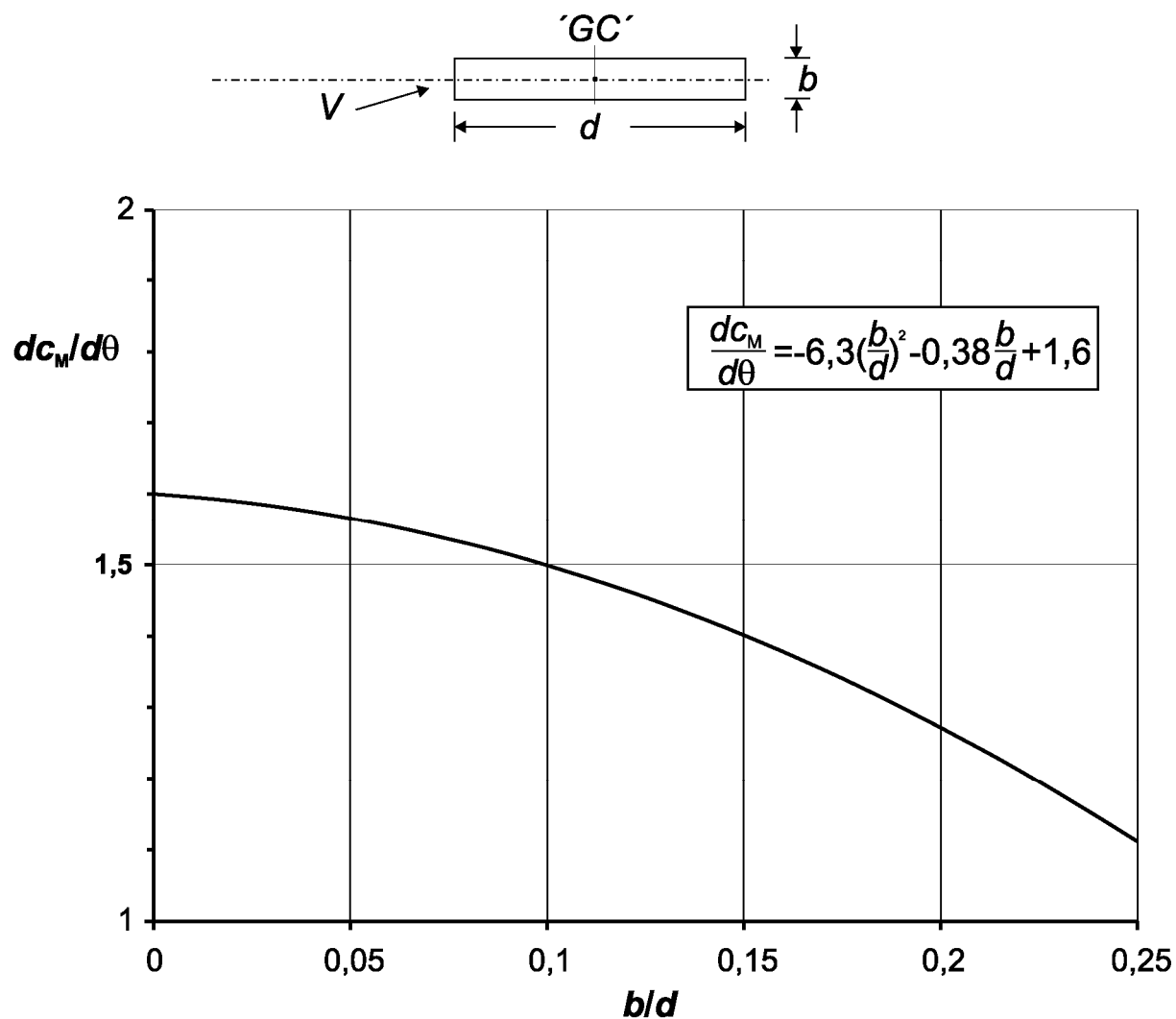


Fig. E.6 – Tasa de variación del coeficiente de momento aerodinámico, $dc_M/d\theta$, de una sección rectangular respecto a un centro geométrico "GC"

ANEXO F (Informativo)**CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS****F.1 Generalidades**

(1) Los procedimientos de cálculo recomendados en este capítulo suponen que la estructura tiene un comportamiento elástico lineal y modos clásicos de vibración. Las propiedades dinámicas de la estructura se caracterizan por tanto mediante:

- frecuencias naturales;
- formas modales;
- masas equivalentes;
- decrementos logarítmicos de amortiguamiento.

(2) Se deberían de evaluar las frecuencias naturales, las formas modales, las masas equivalentes y los decrementos logarítmicos de amortiguamiento, bien teórica o experimentalmente, mediante la aplicación de métodos de dinámica estructural.

(3) Las propiedades dinámicas fundamentales se pueden evaluar en términos aproximados, mediante ecuaciones analíticas simplificadas, semiempíricas o empíricas, siempre y cuando estén demostradas adecuadamente. Algunas de estas ecuaciones se muestran en los capítulos F.2 a F.5.

F.2 Frecuencia fundamental

(1) Para voladizos con una masa situada en su borde, la expresión (F.1) muestra una expresión simplificada para el cálculo de la frecuencia fundamental de flexión n_1 :

$$n_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{x_1}} \quad (\text{F.1})$$

donde

g es la aceleración de la gravedad = 9,81 m/s²;

x_1 es el desplazamiento máximo debido a la acción del peso propio aplicado en la dirección de la vibración, en m.

(2) La frecuencia fundamental de flexión, n_1 , para edificios de varias plantas con una altura superior a 50 m se puede estimar mediante la expresión (F.2):

$$n_1 = \frac{46}{h} [\text{Hz}] \quad (\text{F.2})$$

donde

h es la altura de la estructura, en m.

La misma expresión proporciona una aproximación para edificios de una sola planta y torres.

(3) La frecuencia fundamental de flexión, n_1 , para chimeneas se puede estimar mediante la expresión (F.3):

$$n_1 = \frac{\varepsilon_1 \cdot b}{h_{\text{eff}}^2} \cdot \sqrt{\frac{W_s}{W_t}} \text{ [Hz]} \quad (\text{F.3})$$

con

$$h_{\text{eff}} = h_1 + \frac{h_2}{3} \quad (\text{F.4})$$

donde

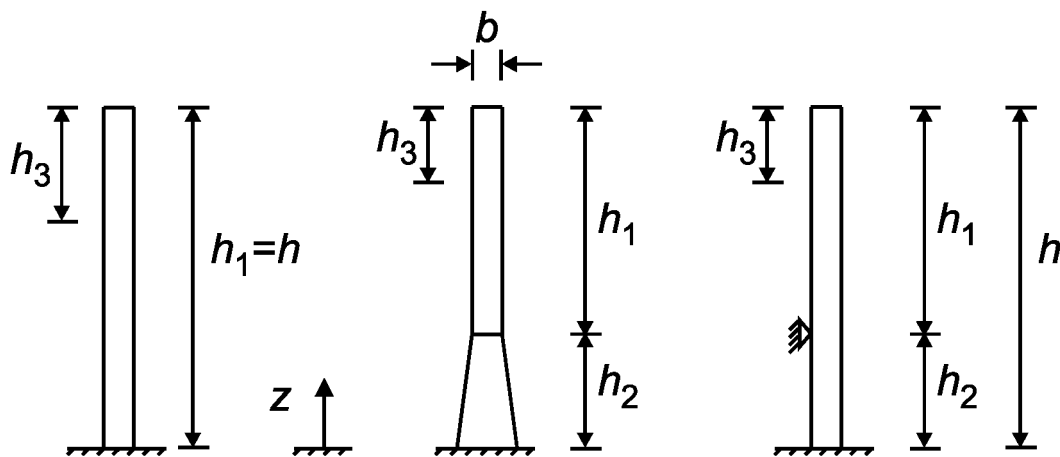
b es el diámetro superior de la chimenea [m];

h_{eff} es la altura efectiva de la chimenea [m], h_1 y h_2 se definen en la figura F.1;

W_s es el peso de las partes estructurales que contribuyen a la rigidez de la chimenea;

W_t es el peso total de la chimenea;

ε_1 es igual a 1 000 en chimeneas de acero, y 700 en chimeneas de ladrillo, o de hormigón.



NOTA – $h_3 = h_1/3$, véase el punto (2) del capítulo F.4.

Fig. F.1 – Parámetros geométricos para chimeneas

(4) La frecuencia fundamental de ovalización $n_{1,0}$ para una lamina cilíndrica larga sin anillos de rigidización, se puede calcular mediante la expresión (F.5).

$$n_{1,0} = 0,492 \cdot \sqrt{\frac{t^3 \cdot E}{\mu_s \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^4}} \quad (\text{F.5})$$

donde

E es el modulo de Young, en $[N/m^2]$;

t es el espesor de la lámina, en $[m]$;

ν es el modulo de Poisson;

μ_s es la masa de la lámina por unidad de área, en $[kg/m^2]$;

b es el diámetro de la lamina, en $[m]$;

La expresión (F.5) proporciona la frecuencia natural más baja de la lámina. Los anillos de rigidización aumentan el valor de n_0 .

(5) La frecuencia fundamental de flexión vertical $n_{1,B}$ de un tablero o de un puente con vigas en cajón, se puede aproximar mediante la expresión (F.6).

$$n_{1,B} = \frac{K^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{El_b}{m}} \quad (F.6)$$

donde:

L es la longitud del vano principal, en m ;

E es el modulo de Young, en N/m^2 ;

I_b es el momento de inercia de la sección transversal correspondiente a la flexión vertical, de la sección de centro de vano, en m^4 ;

m es la masa por unidad de longitud de la sección transversal completa en el centro de vano (incluidas las cargas muertas) en kg/m ;

K es un factor adimensional que depende de la distribución de vanos definida a continuación.

a) En puentes de un solo vano:

$K = \pi$ en elementos simplemente apoyados

$K = 3,9$ contruidos en ménsula;

$K = 4,7$ para elementos biempotrados

b) En puentes continuos de dos vanos:

K se determina mediante la figura F.2, utilizando la curva correspondiente a puentes de dos vanos, donde:

L_1 es la longitud del vano lateral y $L > L_1$.

c) En puentes continuos de tres vanos:

K se determina mediante la figura F.2, utilizando la curva correspondiente a puentes de tres vanos, donde:

L_1 es la longitud del vano lateral más largo;

L_2 es la longitud del otro vano lateral y $L > L_1 > L_2$.

Esta formulación también es aplicable a puentes de tres vanos con un vano principal en voladizo/suspendido.

Si $L_1 > L$ entonces K se puede determinar mediante la curva para puentes de dos vanos, despreciando el vano lateral más corto y tratando el vano lateral más largo como el vano principal de un puente equivalente de dos vanos.

d) En puentes continuos simétricos de cuatro vanos (es decir, puentes simétricos con respecto al apoyo central):

K se puede obtener de la curva para puentes de dos vanos de la figura F.2 tratando cada mitad del puente como un puente equivalente de dos vanos.

e) En puentes continuos asimétricos de cuatro vanos y puentes continuos de más de cuatro vanos:

K se puede obtener mediante la figura F.2 utilizando la curva correspondiente a puentes de tres vanos, eligiendo como vano principal el vano interno más largo.

NOTA 1 – Si el valor de $\sqrt{\frac{El_b}{m}}$ en la sección de apoyo es mayor del doble del valor en la sección en centro de vano, o si es inferior al 80% del valor de centro de vano, entonces no debería utilizarse la expresión (F.6) a no ser que sean suficientes valores aproximados.

NOTA 2 – Se deberían emplear unidades coherentes para obtener el valor de $n_{1,B}$ en ciclos por segundo.

(6) La frecuencia fundamental de torsión de un puente de alma llena es igual a la frecuencia fundamental de flexión calculada mediante la expresión (F.6), siempre y cuando la inercia longitudinal de flexión media por unidad de anchura no sea inferior a 100 veces la inercia transversal media de flexión por unidad de longitud.

(7) La frecuencia fundamental de torsión en un puente con vigas en cajón se puede aproximar mediante la expresión (F.7):

$$n_{1,T} = n_{1,B} \cdot \sqrt{P_1 \cdot (P_2 + P_3)} \quad (F.7)$$

con

$$P_1 = \frac{m \cdot b^2}{l_p} \quad (F.8)$$

$$P_2 = \frac{\sum r_j^2 \cdot l_j}{b^2 \cdot l_p} \quad (F.9)$$

$$P_3 = \frac{L^2 \cdot \sum J_j}{2 \cdot K_2 \cdot b^2 \cdot l_p \cdot (1 + \nu)} \quad (F.10)$$

donde

$n_{1,B}$ es la frecuencia fundamental de flexión, en Hz;

b es la anchura total del puente;

m es la masa por unidad de longitud, definida en el punto (5) del capítulo F.2;

ν es el módulo de Poisson del material del tablero;

r_j es la distancia entre el eje del cajón individual y el eje del puente;

I_j es el momento de inercia de la masa por unidad de longitud del cajón individual para flexión vertical en el centro de vano, incluyendo la anchura efectiva asociada del tablero;

I_p es el momento de inercia de la masa por unidad de longitud de la sección transversal en el centro de vano. Está definido por la expresión (F.11).

$$I_p = \frac{m_d \cdot b^2}{12} + \sum (I_{pj} + m_j \cdot r_j^2) \quad (F.11)$$

donde

m_d es la masa por unidad de longitud del tablero exclusivamente, en el centro de vano;

I_{pj} es el momento de inercia de la masa de un cajón individual en el centro de vano;

m_j es la masa por unidad de longitud del cajón individual únicamente, en el centro de vano, sin la parte asociada de tablero;

J_j es la constante de torsión del cajón individual en el centro de vano. Viene dada por la expresión (F.12).

$$J_j = \frac{4 \cdot A_j^2}{\oint \frac{ds}{t}} \quad (F.12)$$

donde

A_j es el área de la superficie delimitada por el cajón en el centro de vano;

$\oint \frac{ds}{t}$ es la integral a lo largo del perímetro del cajón de la relación longitud/espesor para cada porción de la pared del cajón en el centro de vano.

NOTA — Se puede producir una ligera pérdida de precisión si la expresión (F.12) se aplica a puentes con varios cajones cuya relación de aspecto en planta (vano/anchura) sea mayor de 6.

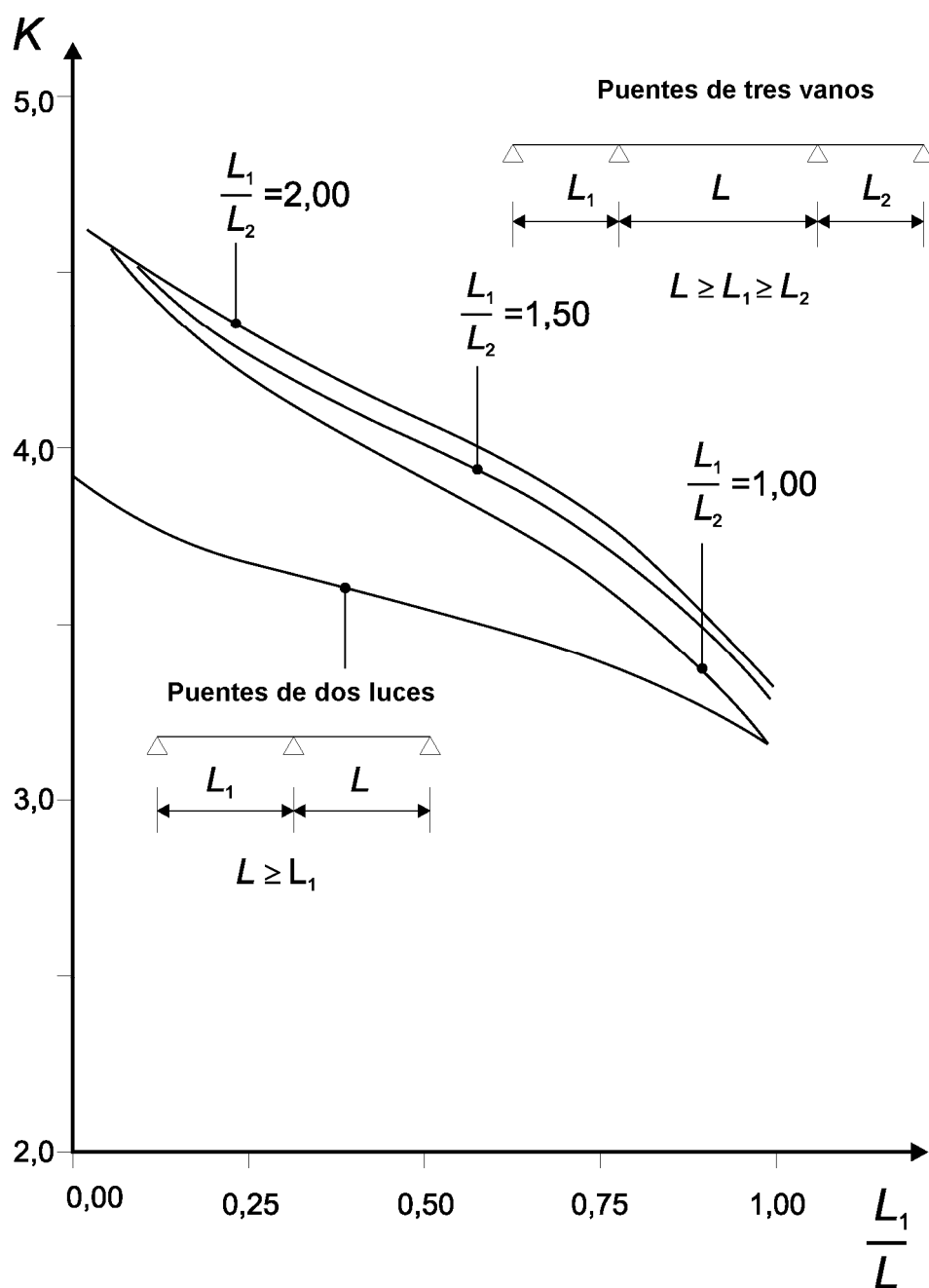


Fig. F.2 – Factor K utilizado para el cálculo de la frecuencia fundamental de flexión

F.3 Forma modal fundamental

(1) El modo fundamental de flexión $\phi_1(z)$ de edificios, torres y chimeneas en voladizo desde el suelo, se puede estimar mediante la expresión (F.13), véase la figura F.3.

$$\Phi_1(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^\zeta \quad (\text{F.13})$$

donde

- $\zeta = 0,6$ para estructuras tipo pórtico esbeltas, con muros sin rigidez o revestimiento;
- $\zeta = 1,0$ para edificios con un núcleo central de rigidización y pilares periféricos, o pilares más largos con arriostramientos transversales;
- $\zeta = 1,5$ para edificios en voladizo esbeltos y edificios con un núcleo central de hormigón armado;
- $\zeta = 2,0$ para torres y chimeneas;
- $\zeta = 2,5$ para torres metálicas de celosía.

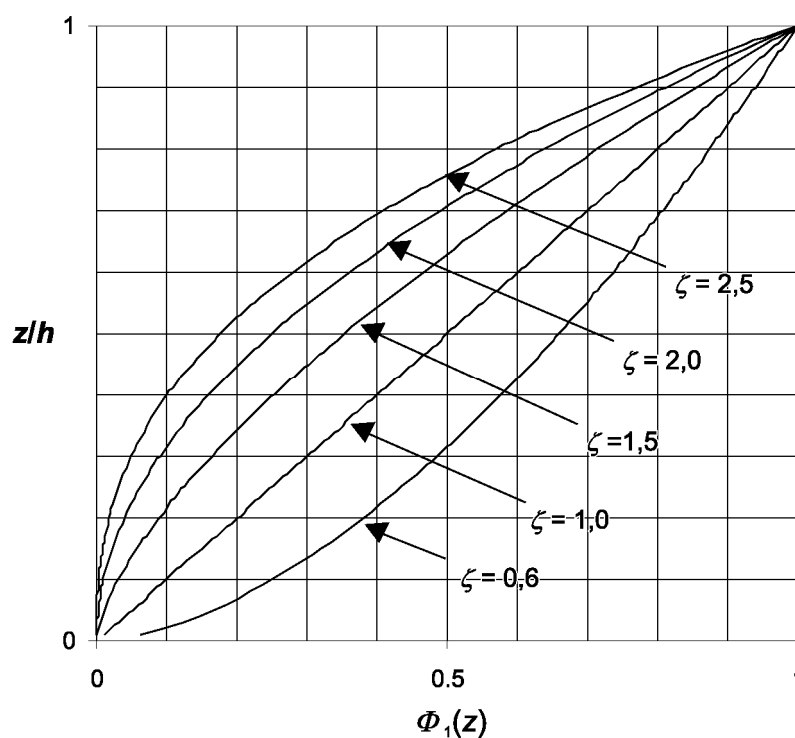
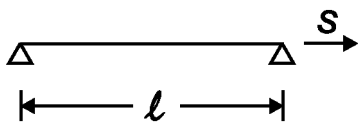
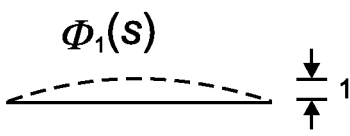
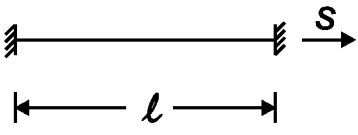
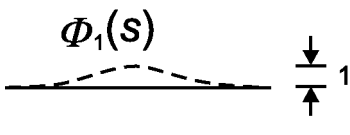


Fig. F.3 – Forma modal fundamental de flexión para edificios, torres y chimeneas en voladizo

(2) El modo vertical fundamental de flexión $\Phi_1(s)$ en puentes se puede estimar tal como muestra la tabla F.1.

Tabla F.1
Forma modal fundamental de flexión vertical para estructuras o elementos estructurales simplemente apoyados y empotrados

| Esquema | Forma modal | $\Phi_1(s)$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | $\text{sen}\left(\pi \cdot \frac{s}{\ell}\right)$ |
|  |  | $\frac{1}{2} \cdot \left[1 - \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{s}{\ell}\right)\right]$ |

F.4 Masa equivalente

(1) La masa equivalente por unidad de longitud m_e del modo fundamental viene dada por la expresión (F.14).

$$m_e = \frac{\int_0^{\ell} m(s) \cdot \Phi_1^2(s) ds}{\int_0^{\ell} \Phi_1^2(s) ds} \quad (\text{F.14})$$

donde

m es la masa por unidad de longitud;

ℓ es la altura o la luz de la estructura o elemento estructural;

$i = 1$ es el número del modo.

(2) En estructuras en voladizo con una distribución de masas no uniforme, el valor de m_e se puede aproximar por el valor medio de m sobre del tercio superior de la estructura h_3 (véase la figura F.1).

(3) En estructuras apoyadas en ambos extremos, con una luz ℓ y una distribución de masas no uniforme por unidad de longitud, el valor de m_e puede aproximarse mediante un valor medio de m sobre una longitud de $\ell/3$ centrada en un punto de la estructura en el que el valor de $\Phi(s)$ es máximo (véase la tabla F.1).

F.5 Decremento logarítmico del amortiguamiento

(1) El decremento logarítmico del amortiguamiento δ para el modo fundamental de flexión se puede estimar mediante la expresión (F.15).

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \quad (\text{F.15})$$

donde

δ_s es el decremento logarítmico del amortiguamiento estructural;

δ_a es el decremento logarítmico del amortiguamiento aerodinámico para el modo fundamental;

δ_d es el decremento logarítmico del amortiguamiento producido por dispositivos especiales (amortiguadores de masas acopladas, tanques de agua con disipación por oleaje, etc.).

(2) La tabla F.2 muestra valores aproximados del decremento logarítmico del amortiguamiento estructural, δ_s .

(3) El decremento logarítmico del amortiguamiento aerodinámico δ_a , para el modo fundamental de flexión paralelo a la acción del viento, se puede estimar mediante la expresión (F.16).

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot \mu_e} \quad (\text{F.16})$$

donde:

c_f es el coeficiente de fuerza de la acción del viento en la dirección del viento, definido en el capítulo 7;

μ_e es la masa equivalente por unidad de área de la estructura, que para secciones rectangulares viene dada por la expresión (F.17).

$$\mu_e = \frac{\int_0^h \int_0^b \mu(y, z) \cdot \Phi_1^2(y, z) dy dz}{\int_0^h \int_0^b \Phi_1^2(y, z) dy dz} \quad (\text{F.17})$$

donde

$\mu(y, z)$ es la masa por unidad de área de la estructura;

$\Phi_1(y, z)$ es la forma modal.

La masa por unidad de área de la estructura en el punto de amplitud máxima de la forma modal normalmente es una buena aproximación del valor μ_e .

(4) En muchos casos las deformaciones modales $\Phi(y, z)$ son constantes para cada altura z y en lugar de la expresión (F.16) el decremento logarítmico del amortiguamiento aerodinámico δ_a , para las vibraciones producidas en la dirección del viento se puede estimar mediante la expresión (F.18).

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e} \quad (\text{F.18})$$

(5) Si se emplean dispositivos disipadores especiales en la estructura, el valor de δ_d se debería determinar mediante técnicas teóricas o experimentales.

Tabla F.2
Valores aproximados del decremento logarítmico del amortiguamiento estructural para la forma modal fundamental, δ_s

| Tipo de estructura | | Amortiguamiento estructural, δ_s |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|
| Edificios de hormigón armado | | 0,10 |
| Edificios de acero | | 0,05 |
| Estructuras mixtas: acero + hormigón | | 0,08 |
| Torres y chimeneas de hormigón armado | | 0,03 |
| Pilas de acero estructural soldadas no alineadas sin aislamiento térmico exterior | | 0,012 |
| Pilas de acero estructural soldadas no alineadas con aislamiento térmico exterior | | 0,020 |
| Pila de acero con una camisa de rigidización y aislamiento térmico exterior ^a | $h/b < 18$ | 0,020 |
| | $20 \leq h/b < 24$ | 0,040 |
| | $h/b \geq 26$ | 0,014 |
| Pila de acero con dos o más camisas de rigidización y aislamiento térmico exterior ^a | $h/b < 18$ | 0,020 |
| | $20 \leq h/b < 24$ | 0,040 |
| | $h/b \geq 26$ | 0,025 |
| Pilas de acero con camisa interior enladrillada | | 0,070 |
| Pilas de acero gunitadas interiormente | | 0,030 |
| Pilas arriostradas sin camisas de rigidización interiores | | 0,015 |
| Pilas de acero atirantadas sin camisa de rigidización interior | | 0,04 |
| Puentes de acero + torres de celosía metálica | Soldados | 0,02 |
| | Tornillos de alta resistencia | 0,03 |
| | Tornillos ordinarios | 0,05 |
| Puentes mixtos | | 0,04 |
| Puentes de hormigón | Pretensados y no fisurados | 0,04 |
| | Fisurados | 0,10 |
| Puentes de madera | | 0,06 – 0,12 |
| Puentes de aleaciones de aluminio | | 0,02 |
| Puentes de fibra de vidrio o carbono | | 0,04 – 0,08 |
| Cables | Cables en paralelo | 0,006 |
| | Cables en espiral | 0,020 |
| <p>NOTA 1 – Los valores de puentes de madera y fibra de carbono o vidrio únicamente son indicativos. En aquellos casos en los que los efectos aerodinámicos puedan ser significativos en el diseño, se necesita un análisis especial para la determinación de los valores adecuados (sujeto a acuerdo con la autoridad competente si fuera apropiado).</p> <p>NOTA 2 – En puentes atirantados o colgados es necesario que los valores mostrados en la tabla F.2 se multipliquen por un factor 0,75.</p> | | |
| ^a Para valores intermedios de h/b , se puede emplear la interpolación lineal | | |

BIBLIOGRAFÍA

ISO 2394 – *Principios generales sobre fiabilidad de estructuras.*

ISO 3898 – *Principios generales sobre fiabilidad de estructuras.*

ISO 8930 – *Principios generales sobre fiabilidad de estructuras. Lista de términos equivalentes.*

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32