

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

CARGA DE VIENTO. MÉTODO DE CALCULO

Wind action on structures. Calculation method

ICS: 91.080.01

1. Edición

Octubre 2003

REPRODUCCION PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.
Teléf.: 830-0835 Fax: (537) 836-8048 E-mail: nc@ncnorma.cu

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La preparación de las Normas Cubanas se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. La aprobación de las Normas Cubanas es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en evidencias de consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el NC/CTN 38 de Cálculo de Estructura de Hormigón en el que están representados los siguientes organismos y entidades:
 - Ministerio de la Construcción
 - Ministerio de Educación Superior
 - Poder Popular Ciudad Habana
 - Oficina Nacional de Normalización
 - Ministerio de la Industria Básica
 - Ministerio de la Industria Azucarera
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
- Para su elaboración se han tenido en cuenta elementos de la ISO 4354: 1997 "*Wind action on structures*" y ASCE 7 – 98. "*Minimum design loads for buildings and other structures*".
- Es una revisión de la NC 53-41: 1990 "*Proyectos de construcción. Carga de viento. Método de cálculo*" a la cual sustituye.

© NC, 2003

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por alguna forma o medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias o microfilmes, sin el permiso previo escrito de:

Oficina Nacional de Normalización (NC).

Calle E No. 261 Ciudad de La Habana, Habana 3. Cuba.

Impreso en Cuba

CARGA DE VIENTO. METODO DE CALCULO

1 Objeto

Esta norma cubana establece el método de calculo para determinar la carga de viento que debe utilizarse en los cálculos estáticos y dinámicos de los edificios y obras de ingeniería, o de sus partes y elementos, para los cuales el viento resulta ser una sobrecarga de uso.

Se aplicará a todas las construcciones terrestres y marítimas, con excepción de edificaciones e instalaciones de forma no usual y no consideradas en la presente norma.

2 Referencias normativas

Las siguientes normas contienen disposiciones que, al ser citadas en este texto, constituyen disposiciones de esta norma Cubana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda aquellos que realicen, acuerdos sobre la base de ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones mas recientes de las normas citadas seguidamente. La Oficina Nacional de Normalización posee la información de las Normas Cubanas en vigencia en todo momento.

NC 46: 1999 Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción.

NC 120: 2001 Hormigón hidráulico. Especificaciones.

3 Consideraciones generales

3.1 Requerimientos de cálculo

Toda construcción, edificación o parte de ella, no soterrada, se proyectará para resistir la acción del viento.

3.2 Dirección del viento

Se supondrá, salvo condiciones excepcionales, que el viento actúa horizontalmente y en cualquier dirección. De estas direcciones se considerará fundamentalmente el efecto del viento, según las direcciones principales de la estructura. En las estructuras especialmente expuestas al viento, tales como faros, torres y otras, se investigará también su acción en la dirección de las diagonales de dichas estructuras.

3.3 Presión del viento

Cuando se tengan observaciones directas de las velocidades básicas del viento, se podrán calcular las presiones básicas características del viento (en lo adelante "presión básica") en una superficie normal a su dirección, mediante la fórmula:

$$q_{10} = \frac{V_{10}^2}{1,6 \times 10^3} \quad [\text{kN/m}^2]$$

donde:

- q_{10} presión básica característica del viento correspondiente a velocidades del aire en terrenos llanos y abiertos a una altura de 10 m sobre el terreno, (kN / m^2)
- V_{10} velocidad característica del viento para un período básico de recurrencia y a una altura de 10 m sobre el terreno, (m/s),
- 1,6 factor empírico

3.4 Períodos de recurrencia media de las velocidades de los vientos

La velocidad básica del viento se tomará con un período básico de recurrencia de 50 años para todas las estructuras permanentes y que además presenten características normales de sensibilidad al viento, importancia económica y duración.

Para estructuras de menor importancia económica, de menor afectación a la vida y a la propiedad en caso de fallo, o de menor duración probable de la vida útil o funcional, ejemplo edificaciones de carácter provisional, puede tomarse un período de recurrencia menor de 50 años.

3.5 Coeficiente de recurrencia

Las presiones de base señaladas para la recurrencia de 50 años, serán afectadas por el coeficiente de recurrencia (C_T) que se establecen en la Tabla 1, para ser utilizado en períodos de recurrencia de 5 a 100 años.

Tabla 1 — Coeficientes de recurrencia

Tiempo de recurrencia Años	Coeficiente de recurrencia C_T
100	1,15
50	1,00
25	0,90
10	0,75
5	0,70

NOTA: Para valores intermedios, el coeficiente de recurrencia se puede interpolar.

4 Coeficientes dependientes de la ubicación de elementos u obras (región , topografía y altura)

La presión básica sobre una superficie, depende de la ubicación del elemento u obra, de la región y topografía del lugar, así como de la altura sobre el nivel medio del terreno circundante. Por lo tanto, en la presente determinación de la presión básica, se tendrá en cuenta el factor de región o provincia, de topografía o sitio y de altura. Los anteriores factores modificarán la presión básica.

4.1 Presiones básicas por provincias o regiones

Las presiones básicas (q_{10}) por provincias o regiones, para una recurrencia de 50 años son :

- **Zona I** - Que comprende las provincias: Pinar del Río, La Habana, Ciudad de la Habana, Isla de la Juventud, Matanzas, Villa Clara y Cienfuegos.

$$q = 1,3 \text{ kN/m}^2 \quad (130 \text{ kgf/m}^2)$$

- **Zona II** - Que comprende las provincias de Sancti Spiritus, Ciego de Avila y Camagüey.

$$q = 1,1 \text{ kN/m}^2 \quad (110 \text{ kgf/m}^2)$$

- **Zona III** - Que comprende las provincias de Las Tunas, Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo.

$$q = 0,9 \text{ kN/m}^2 \quad (90 \text{ kgf/m}^2)$$

Los valores señalados para la presión básica aparecen en el mapa de la figura. 1.



Figura 1 — Regionalización según las presiones básicas del viento

NOTA: No se han considerado los tornados en esta distribución de presiones básicas.

4.2 Coeficiente de topografía o de sitio

La influencia de caracteres topográficos definidos, permitirá variar la presión mediante el coeficiente de topografía o sitio (C_s) que tendrá valores que se establecen en la Tabla 2.

Tabla 2 — Coeficientes de sitio

Topografía	Coeficiente de sitio, C_s
Sitio normal	1,00
Sitio expuesto	1,10

Como ejemplos de posibles sitios expuestos se pueden analizar los cayos, las penínsulas estrechas, valles estrechos donde el viento se encajona, las cimas de promontorios, las montañas aisladas o elevadas y otros. (Como ejemplo de estructura en sitio expuesto están los faros).

Para elementos y proyectos típicos de uso múltiple y nacional se usará el coeficiente correspondiente a sitio normal; excepto en obras cuya ubicación normal es siempre en sitio expuesto.

4.3 Categorías de terreno

La influencia que reflejan las grandes variaciones de la rugosidad del terreno que varía según la topografía natural, la vegetación y edificaciones existentes determina las tres categorías de terreno en la cual el edificio o estructura estará ubicado.

- **Terreno Tipo A:** Estos serán terrenos abiertos (llanuras, costas, orillas de laguna y represas, etc.). También en terrenos con obstáculos y edificaciones que no superen los 10 m. Se considera costa una distancia hasta 500 metros a partir de la línea del mar.
- **Terreno Tipo B:** Estos serán terrenos cubiertos con obstáculos y edificaciones que superen los 10 m. (ciudades, zonas boscosas, etc.). Se considera representativo de este tipo de terreno, cuando las condiciones señaladas se mantengan en una distancia de 500m o más, a partir de la edificación u obra.
- **Terreno Tipo C:** Estos serán los centros de grandes ciudades, en los que al menos el 50 % de las edificaciones tengan una altura promedio mayor de 22 m o más. Esta condición debe prevalecer en la dirección analizada, en al menos una distancia de 800 m de construcciones ó 10 veces la altura del edificio u obra (el mayor de los dos). Se debe tener en cuenta un posible efecto de túnel o incremento de la presión, por un aumento de la velocidad del viento debido a que el edificio o estructura se encuentre ubicado en la zona de excitación o influencia de otros edificios o construcciones adyacentes.

4.4 Variación de la presión básica con la altura. Altura de gradiente. Coeficiente de altura

Altura de gradiente (Z_g). Esta es la altura a la cual la velocidad del viento alcanza su valor máximo, dependiendo la misma de la rugosidad del terreno, manteniéndose constante la velocidad a partir de dicha altura.

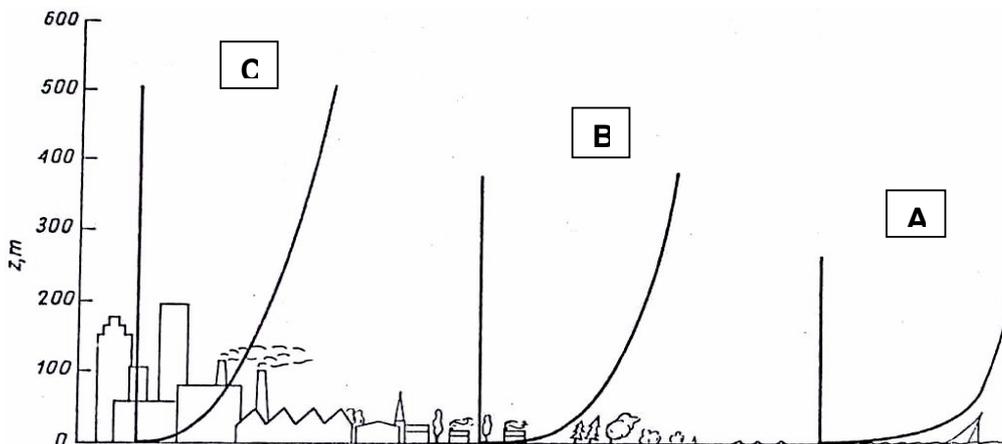


Figura 2 — Gradientes de la velocidad del viento según la categoría de terreno

El coeficiente de altura (C_h), según la categoría del tipo de terreno vendrá dado por las siguientes expresiones:

Tabla 3 — Gradiente del coeficiente de altura

Tipo de Terreno	C_h	Z_g (m)
A	$(Z/10)^{0,32}$	300
B	$0,65 (Z/10)^{0,44}$	400
C	$0,30 (Z/10)^{0,66}$	500

A partir de la altura de gradiente (Z_g) los coeficientes de altura se mantienen constantes. Los anteriores coeficientes de altura son señalados en la Tabla 4 hasta una altura de 200 m.

Tabla 4 — Coeficiente de altura (C_h)

Altura (m)	Tipos de Terreno		
	A	B	C
De 0 a 5	0,80	0,48	0,19
10	1,00	0,65	0,30
20	1,25	0,88	0,47
30	1,42	1,05	0,62
40	1,56	1,20	0,75
50	1,67	1,32	0,87
60	1,77	1,43	0,98
70	1,86	1,53	1,08
80	1,95	1,62	1,18
90	2,02	1,71	1,28
100	2,09	1,79	1,47
125	2,24	1,97	1,59
150	2,38	2,14	1,79
175	2,50	2,29	1,98
200	2,61	2,43	2,17

NOTA: Los valores de altura no señalados en esta Tabla serán interpolados.

4.4.1 Incremento de la velocidad del viento encima de colinas y acantilados

Para estructuras situadas en colinas, terrenos ondulados, acantilados, el incremento de la velocidad normativa del viento sobre colinas y acantilados es un aspecto importante a considerar.

El coeficiente de altura C_h en este caso es igual a su valor definido para el terreno llano de la categoría A multiplicado por un factor $(1+\Delta S_z)^2$ donde ΔS es el factor de incremento de la velocidad normativa del viento.

Esto se puede observar en la figura, cerca de la cresta y a una distancia no mayor que

$|x| < k_{red}L_H$, el coeficiente de altura se modifica y queda como sigue:

$$C_{h,mod} = C_h \left[1 + \Delta S_{z,max} \left(1 - \frac{|x|}{k_{red}L_H} \right) e^{-\left(\frac{a \cdot z}{L_H}\right)} \right]^2$$

donde:

C_h: coeficiente de altura para un terreno llano (categoría A) dado por las expresiones de la tabla que aparecen en el epígrafe 4.4 ó por la tabla 4 de la norma.

ΔS_{z,max}: factor relativo de incremento de la velocidad en la cresta cerca de la superficie;

a: coeficiente de decaimiento del incremento de la velocidad del viento con la altura.

X: distancia (corriente arriba o abajo del viento) medida desde la cresta hasta la fachada del edificio u obra en metros.

Z: altura sobre el nivel del terreno local en metros.

Los valores de **a** y **ΔS_{z,max}** dependen de la forma y la pendiente de la colina o talud. En la tabla 5 se dan valores representativos máximos del factor relativo de incremento de la velocidad sobre las crestas de las colinas y/o acantilados o taludes. Las definiciones de la altura de la colina **H** y de la mitad del ancho de la colina **L_H** aparecen dadas en la figura 3.

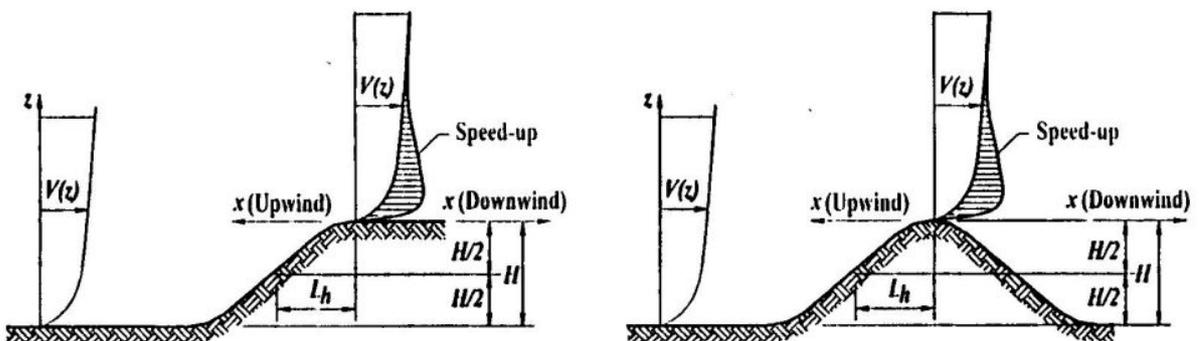


Figura 3 — Variación del coeficiente de altura en colinas y acantilados

Se debe señalar que el factor relativo de incremento de la velocidad afecta principalmente a la velocidad normativa del viento y no a sus efectos de turbulencia.

Tabla 5 — Parámetros que toman en cuenta la forma de las colinas y taludes.

Formas de las colinas y taludes	$\Delta S_{z,max}$	a	k_{red}	
			X < 0	X > 0
Crestas bidimensionales(o valles con H negativa)(Colina continua)	2 H/L _H	3	1,5	1,5
Acantilados o taludes bidimensionales	1,8 H/L _H	2,5	1,5	4
Colinas tridimensionales axial simétricas(Colina aislada)	1,6 H/L _H	4	1,5	1,5

NOTA: Para H/L_H > 0,5 se asume H/L_H = 0,5.

5 Coeficientes de ráfaga (Cr)

Los coeficientes de ráfagas (Cr) son empleados para tener en cuenta la naturaleza fluctuante de los vientos y su interacción con edificaciones y otras construcciones.

El coeficiente de ráfaga (Cr) será utilizado en el cálculo de los elementos resistentes a la carga de viento, tales como tímpanos independientes y acoplados, pórticos, columnas aisladas, estructuras de núcleo tipo cajón que rodean los ascensores, etc. Su valor se determina según la Tabla 6, en función del tipo de terreno y para la altura total del edificio o estructura H.

Para el cálculo de elementos aislados, ventanas, paneles de fachada (fenestración) se determinará el coeficiente de ráfaga Cr (Z) según la misma Tabla 6, pero evaluando para la altura sobre el terreno a la cual se encuentra ubicado el elemento o panel que se está analizando en la estructura.

Para el cálculo y diseño de las cimentaciones, el coeficiente de ráfaga a utilizar tendrá el valor de uno (1).

Tabla 6 — Coeficiente de ráfaga (Cr)

Altura (m)	Tipos de terreno		
	A	B	C
< 10	1,22	1,46	1,90
10	1,18	1,36	1,72
20	1,14	1,28	1,54
30	1,12	1,24	1,44
40	1,10	1,21	1,38
50	1,09	1,18	1,32
60	1,08	1,17	1,30
70	1,07	1,15	1,27
80	1,06	1,14	1,24
90	1,06	1,13	1,22
100	1,05	1,12	1,21
110	1,04	1,11	1,19
120	1,03	1,10	1,18
130	1,02	1,09	1,17
140	1,01	1,08	1,15
150	1,00	1,07	1,14

6 Reducciones de la acción del viento por superficies grandes expuestas

El coeficiente de reducción C_{ra} tendrá un valor único para el edificio u obra correspondiente a la altura máxima del mismo.

6.1 Elementos de la construcción que no intervienen en la verificación de la estabilidad del conjunto de la edificación u obra a la carga de viento

Las presiones del viento que actúan sobre los elementos constituyentes de una edificación u obra (paneles, vigas, columnas y otros), deben ser afectadas de un coeficiente de reducción en función de la mayor dimensión (horizontal o vertical) de la superficie o área que expuesta al viento actúa o trasmite carga sobre el elemento considerado. La reducción sólo se usará cuando la mayor dimensión señalada sea igual o mayor que 15 m. El coeficiente de reducción C_{ra} se obtiene en la figura 4.

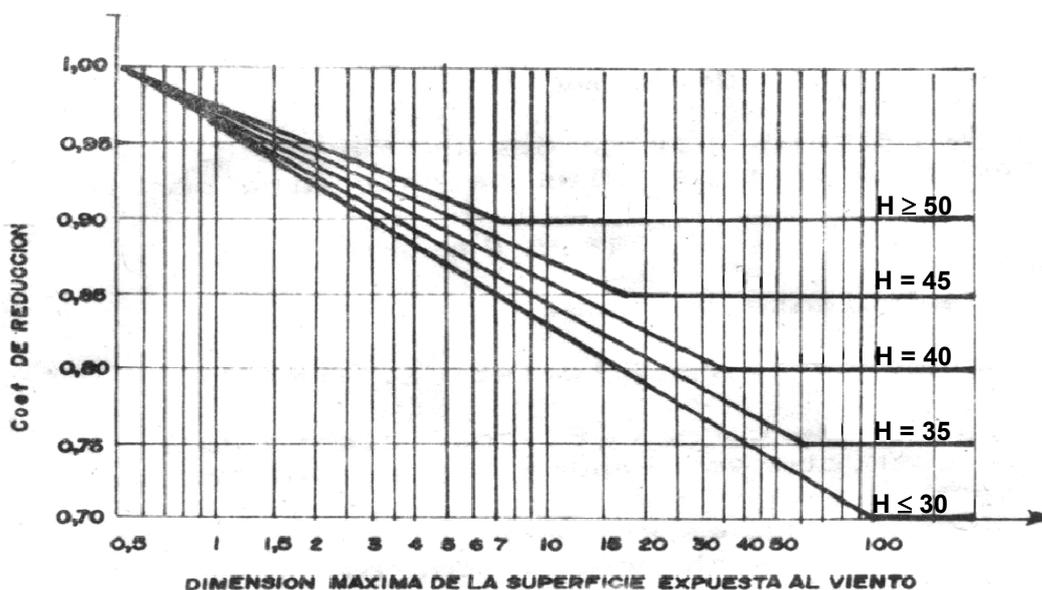


Figura 4 — Coeficiente de reducción por área expuesta.

6.2 Elementos de la edificación o de la obra que intervienen en la verificación de la estabilidad del conjunto

Las presiones que actúan sobre los elementos constituyentes deben ser afectadas del coeficiente de reducción (C_{ra}) determinado en función de la más grande dimensión (horizontal o vertical) de la superficie o área total que expuesta al viento actúa o trasmite carga a todos los elementos estabilizadores considerados.

Para la determinación de la más grande dimensión (horizontal o vertical) de la superficie o área expuesta, se tendrá en consideración la indeformabilidad de los elementos estructurales constitutivos (entrepisos y cubiertas). Los entrepisos y cubiertas constituidos por hormigón celular (Siporex) y láminas de asbesto cemento u otros similares, son considerados deformables. La reducción sólo se usará cuando la mayor dimensión señalada sea igual o mayor que 15 m (véase figura 4).

7 Carga unitaria total

7.1 Carga unitaria característica total. Las cargas unitarias características totales por unidad de área (q) a considerar en los cálculos se determinan por la fórmula:

$$q = q_{10} \cdot C_t \cdot C_s \cdot C_h \cdot C_r \cdot C_{ra} \cdot C_f \quad [\text{kN/m}^2]$$

donde:

- q_{10} : presión básica del viento, [kN/m²]
- C_t : coeficiente de recurrencia
- C_s : coeficiente de topografía o sitio
- C_h : coeficiente de altura
- C_r : coeficiente de ráfaga
- C_{ra} : coeficiente de reducción
- C_f : coeficiente de forma

8 Coeficientes de forma o aerodinámicos de las acciones exteriores de las edificaciones

8.1 Acciones en la superficies

Las presiones básicas de viento están afectadas, según la expresión del capítulo 7, por el coeficiente de forma o aerodinámico (C_f) para tener en cuenta la forma, los volúmenes, el ángulo de las superficies expuestas al viento, es decir, el carácter aerodinámico de la estructura.

Las edificaciones u obras sin ningún tipo de abertura en las paredes y en el techo, (o abertura de fácil y garantizado cierre) y sin posibilidades de tenerlo, se consideran perfectamente impermeables, estancas y no existirán en ellas acciones interiores.

Para las diferentes superficies de las edificaciones y obras con las características señaladas, los coeficientes de forma (C_f) que deben tomar, al determinar la presión básica del viento normal, con respecto a la superficie y que corresponde a la unidad de área de dicha superficie, se establecen en la Tabla 7.

Tabla 7 — Coeficientes de forma o aerodinámicos

<p>Caso 1 Generalidades. Esquema que se utiliza para perfil del edificio u obra.</p> <p>a) Superficies verticales de fachadas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frente al viento - Detrás del viento <p>b) Superficies verticales desplazadas de cubiertas y las que se desvían de la vertical en no más de 15% en edificios con muchas filas de monitores u otro perfil complejo, no incluido en esta tabla.</p> <p>b.1) Superficies extremas e intermedias sobresalientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frente al viento - Detrás del viento <p>b.2) Superficies intermedias normales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frente al viento - Detrás del viento 	<p>Coeficientes de formas o aerodinámicos, C_f</p> <p style="text-align: right;">+ 0,8 - 0,5</p> <p>NOTA: Los valores positivos del coeficiente de forma corresponden a presiones sobre la superficie, y los valores negativos corresponden a succiones desde la superficie</p> <p style="text-align: right;">+ 0,7 - 0,6</p> <p style="text-align: right;">- 0,5 - 0,5</p>
---	---

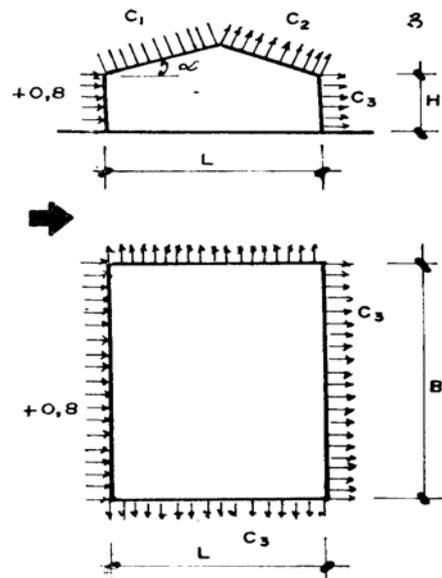
Caso 2 Esquemas que se utilizan para cubiertas a dos aguas.

Valores de C_1 y C_2

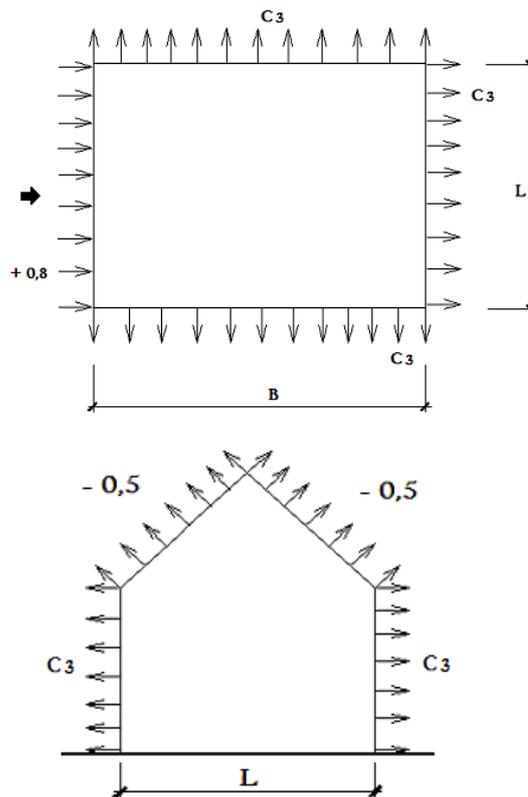
		H/L			
		0	0,5	1	≥ 2
	0	0	-0,6	-0,7	-0,8
	20	+0,2	-0,4	-0,7	-0,8
	40	+0,4	+0,3	-0,2	-0,4
	60	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8
C_2		-0,4	-0,4	-0,5	-0,8

Valores de C_3

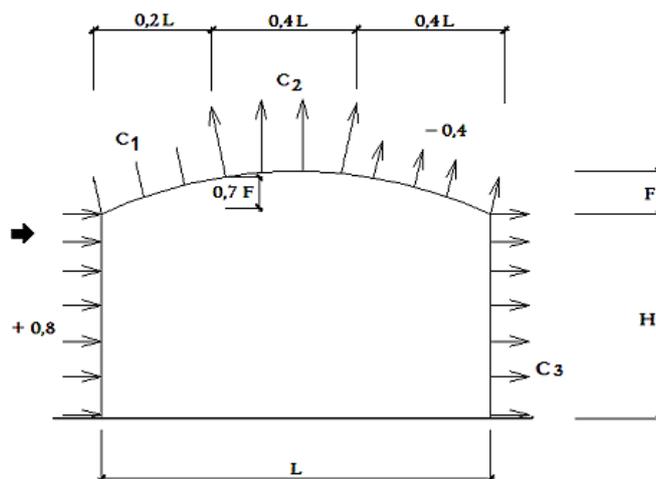
	H/L		
	$\leq 0,5$	1	≥ 2
≤ 1	-0,4	-0,5	-0,6
≥ 2	-0,5	-0,6	-0,6



Caso 3. Los valores de C_3 se toman de acuerdo al caso 2 de esta tabla.



Caso 4. Esquema que se emplea para cubiertas tipo bóveda y similares por la forma (por ejemplo: cerchas de arco).



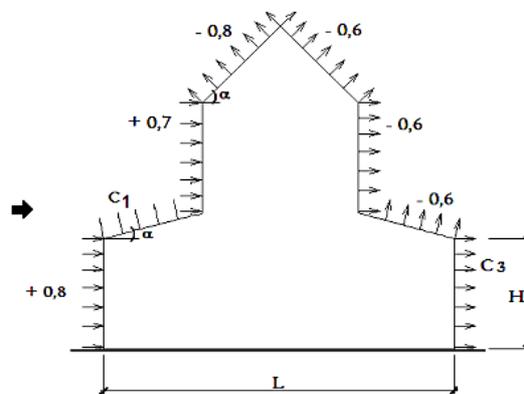
Valores de C_1 y C_2 .

Coef.	H/L	f/L				
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
C_1	0	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,5	+ 0,6	+ 0,7
	0,2	- 0,2	- 0,1	+ 0,2	+ 0,5	+ 0,7
	1	- 0,8	- 0,7	- 0,3	+ 0,3	+ 0,7
C_2		- 0,8	- 0,9	- 1	- 1,1	- 1,2

El valor de C_3 se toma de acuerdo con el esquema del caso 2 de esta tabla 7. La f es la flecha de la bóveda u arco.

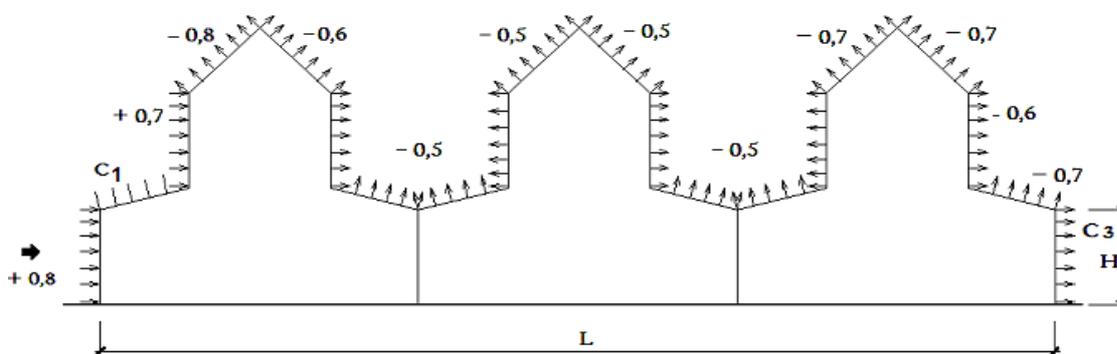
Caso 5. Esquema que se emplean en edificios con monitores longitudinales.

Los valores de C_1 y C_3 se toman de acuerdo a los esquemas del caso 2 de esta tabla.

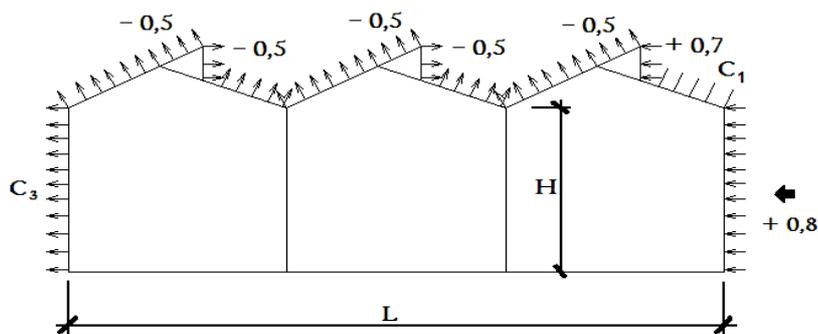
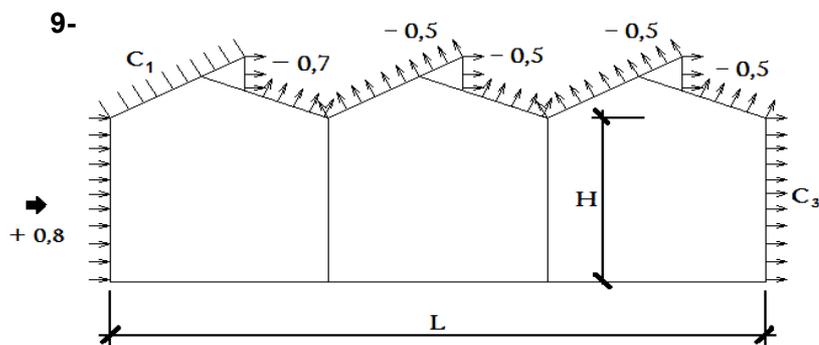
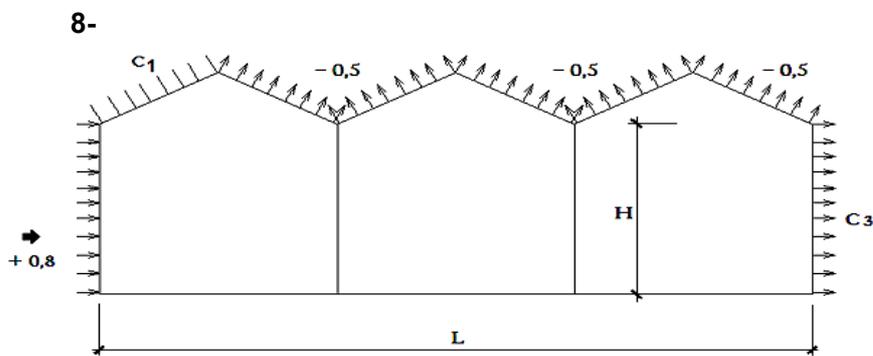
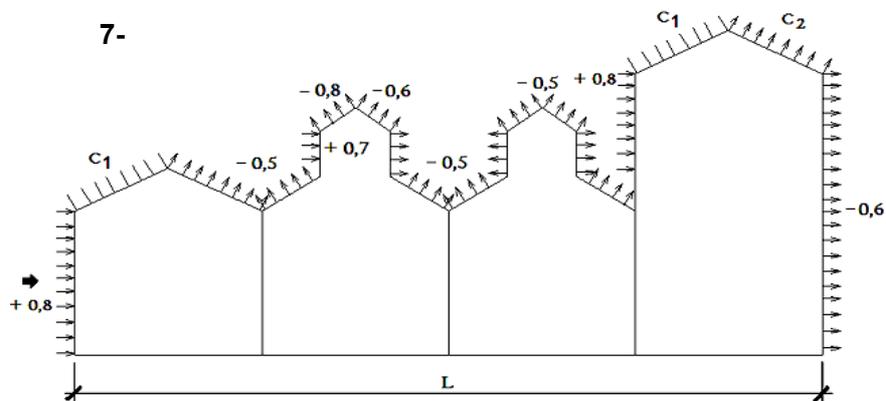


Caso 6. El valor del coeficiente de forma para las culatas de los monitores se toma igual a $C_F = - 0,6$.

El valor del coeficiente de forma $C_F = - 0,8$ para la parte cubierta del monitor expuesta al viento, válido para ángulos de inclinación hasta 20° .

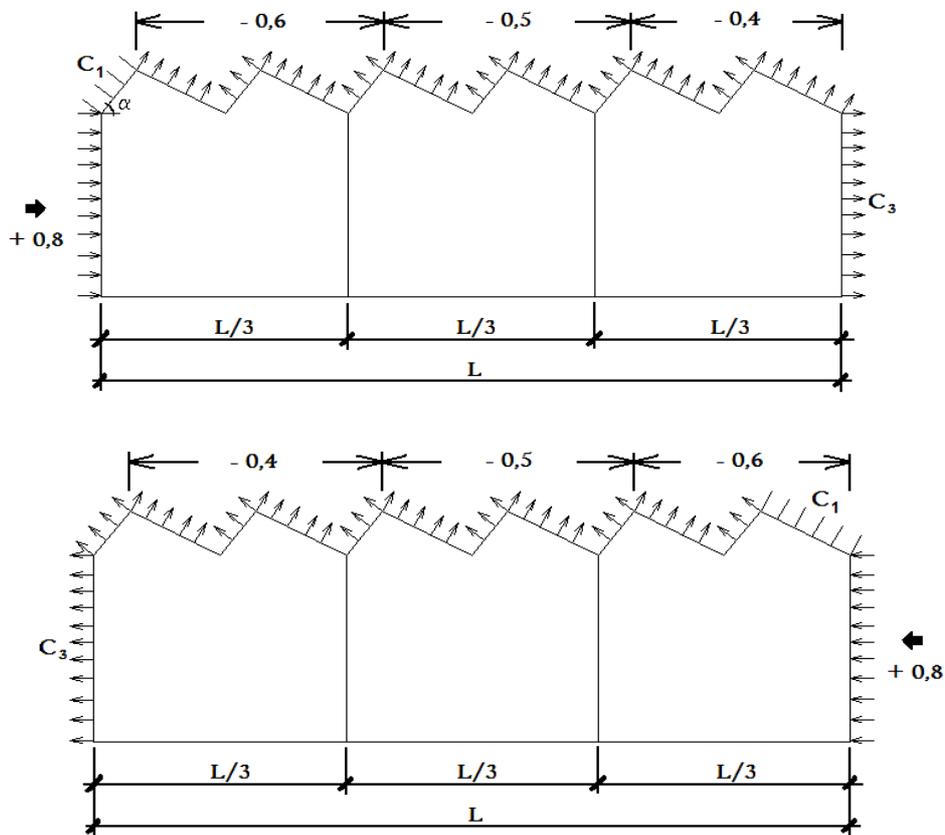


Caso 7, 8 y 9. Los valores de C_1 C_2 C_3 se toman de acuerdo con los esquemas del caso 2 de esta tabla.



Caso 10. Esquemas que se emplean en edificios con cubierta tipo diente de sierra.

Los valores de C_1 y C_3 se toman acorde a los esquemas del caso 2 de esta tabla.



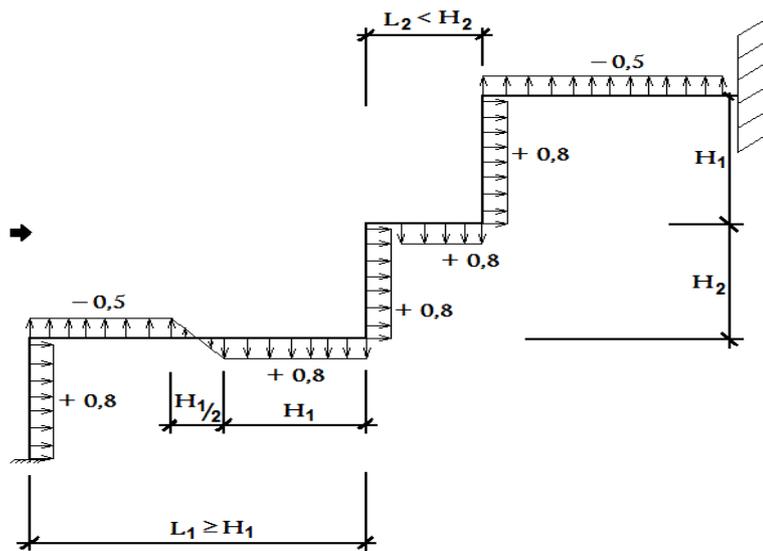
Caso 11. Esquemas que se usan para los edificios escalonados.

En elevación los coeficientes de forma y las presiones sobre las partes horizontales e inclinadas (hasta 15°) son iguales que sobre partes verticales adyacentes y en la misma longitud H_1 y H_2 .

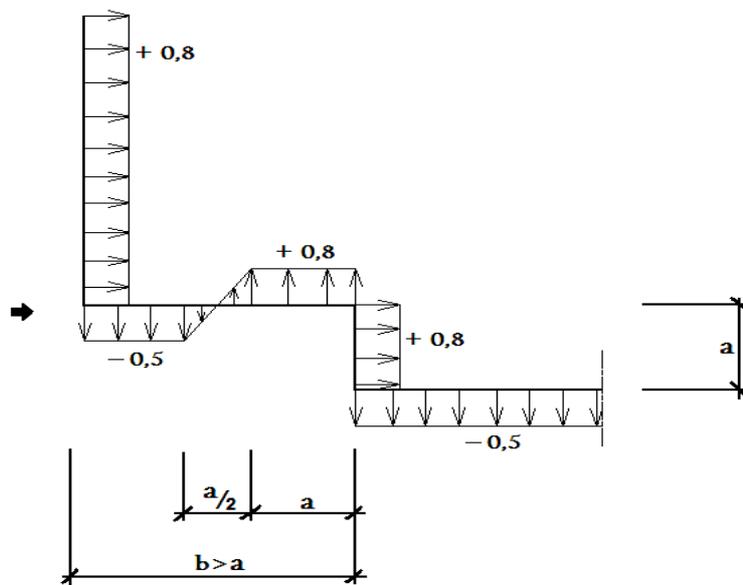
Para $L_1 > H_1$ la longitud de la zona de transición hacia la presión negativa se toma igual a $H_1/2$.

En planta el coeficiente de forma de un entrante en ángulo recto es el mismo en una longitud igual a a .

Para $b > a$ la longitud de la zona de transición se toma igual a $a/2$.

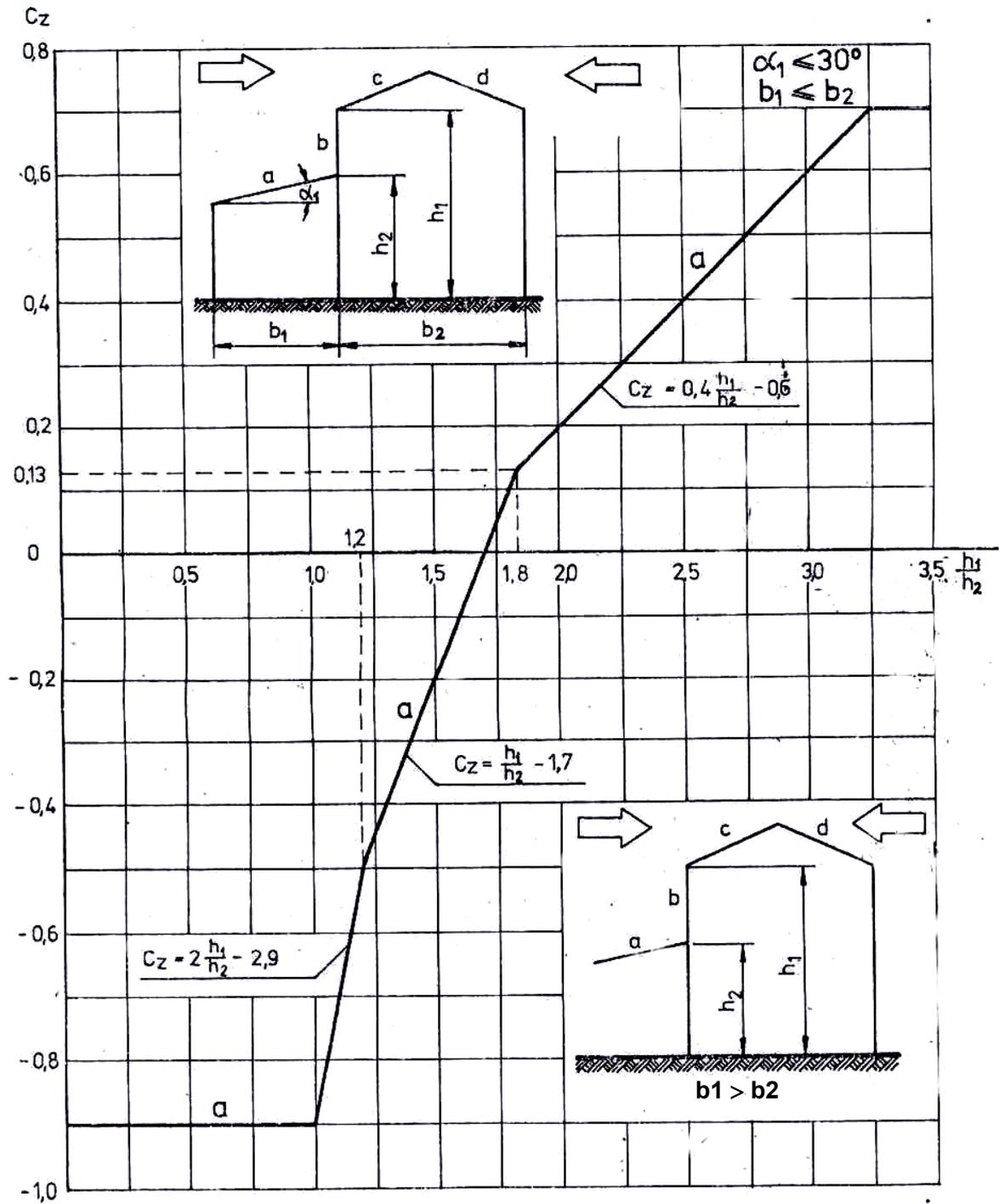


ELEVACIÓN



PLANTA

Caso 12. Gráfico de los coeficientes de forma C_{F1} para naves de diferentes alturas.



Los coeficientes a, b, c y d de la siguiente tabla.

NOTA: Se considera dirección 1 el viento batiendo de izquierda a derecha con relación a la figura, la dirección 2 la opuesta a la dirección 1.

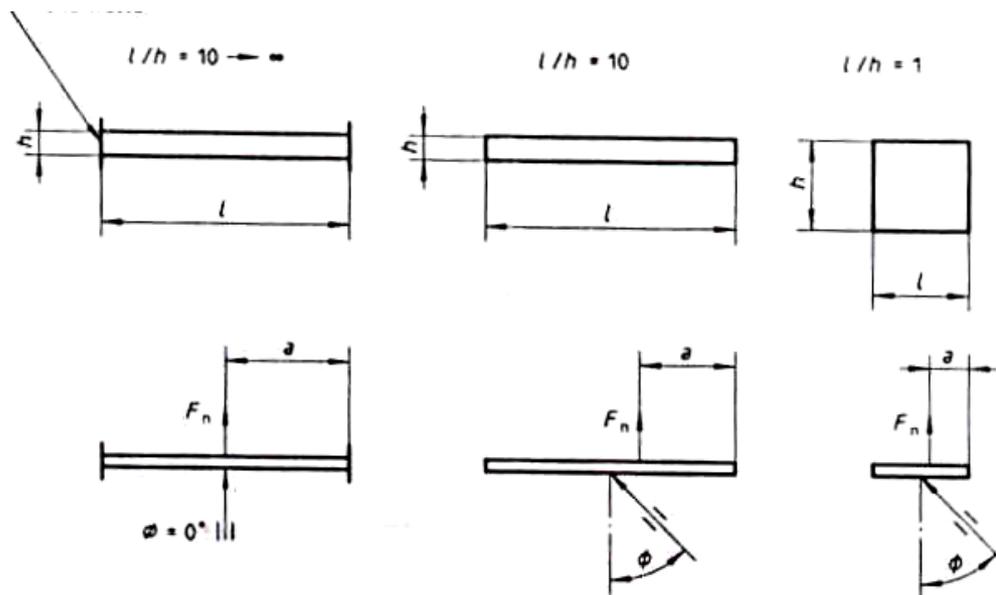
Coefficientes de forma (de las fachadas a, b, c y d de la nave de dos luces)

Fachada	Dirección 1	Dirección 2
a	Del gráfico	- 0,4
b	$C_z = - 0,5$ para $h_1/h_2 \leq 1,5$	
	$C_z = 0,7$ para $h_1/h_2 > 1,5$	
c y d	Del caso 2 de esta tabla 7	

NOTA: Los coeficientes de forma a y b cuando $b_1 > b_2$ toman los siguientes valores: $a = - 0,6$ y $b = + 0,7$. Los valores de c y d son ídem a los coeficientes C_1 y C_2 de las naves con cubiertas a dos aguas (caso 2).

Caso 13. Vallas, muros y paneles libres aislados.

Paredes extremas



Caso 13.a Coeficientes de forma en vallas y paneles libres no apoyados directamente.

$$F_n = \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra} C_f\} h \cdot l$$

donde:

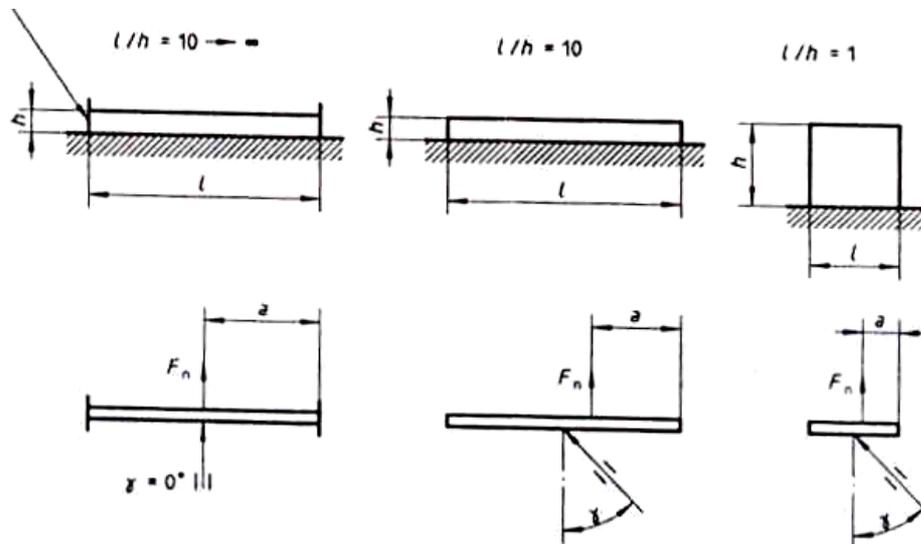
F_n : fuerza resultante sobre el panel o muro.

a : distancia del borde derecho al punto de aplicación de la fuerza resultante.

Coefficientes de forma C_f para paneles no apoyados sobre el terreno.

l/h	$10 \rightarrow \infty$	10	1
$\phi = 0^\circ$ $a = 0,5 l$	2	1,3	1,15
$\phi = 40^\circ$ $a = 0,3 l$	-	1,8	-
$\phi = 50^\circ$ $a = 0,4 l$	-	-	1,8

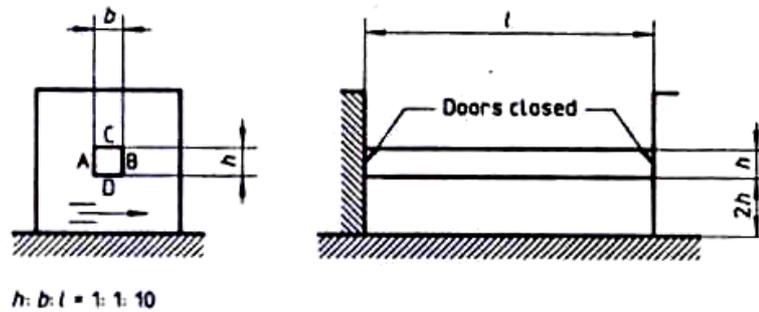
Paredes extremas



Caso 13.b. Coeficientes de forma en muros o paneles apoyados sobre el terreno u otra superficie.

Coefficientes de forma C_f para paneles o muros apoyados sobre el terreno u otra superficie.

l/h	$10 \rightarrow \infty$	10	1
$\phi = 0^\circ$ $a = 0,5 l$	1,2	1,2	1,1
$\phi = 40^\circ$ $a = 0,3 l$	-	1,5	-
$\phi = 50^\circ$ $a = 0,4 l$	-	-	1,5

Caso 14. Pasillos o túneles cerrados entre grandes paredes.**Coefficientes de forma externos $C_{f\ ext}$.**

ϕ	A	B	C	D
0°	+ 0,8	- 1,2	- 1,4	- 1,5

Coefficientes de forma internos $C_{f\ int}$ debido a la presencia de aberturas

Características y ubicación predominante de las aberturas.	$\phi = 0^\circ$
Uniformemente distribuidas	- 0,5
Predominando en el lado A	+ 0,7
Predominando en el lado B	- 1,1
Predominando en el lado C	- 1,3

8.2 En el cálculo de los elementos de cierre en los límites discontinuos de edificaciones: esquinas y a lo largo de la línea exterior de la cubierta y de cualquier cambio de pendiente, se debe tener en cuenta la presión local negativa de succión del viento, distribuida a lo largo de las líneas de encuentro en un ancho a igual al menor valor de:

- 1/10 de la dimensión lineal mínima correspondiente (longitud, anchura, altura del edificio) ó $0,40 h$ (donde h es la altura media del techo, en metros. Puede usarse la altura del puntal de la columna cuando θ es menor que 10°), pero no menor del 4 % del ancho mínimo ó 0,9 m. Para alturas $h \leq 20$ m, a no será mayor de 1,5 m (véase las partes sombreadas y delimitadas en las Figuras 6, 6.a, 6.b y 6.c).

ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE LAS CONSTRUCCIONES

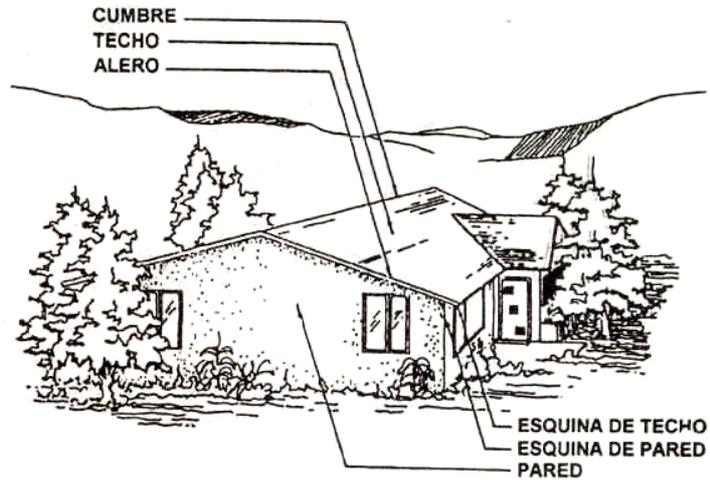


Figura 5 — Terminología de la edificación

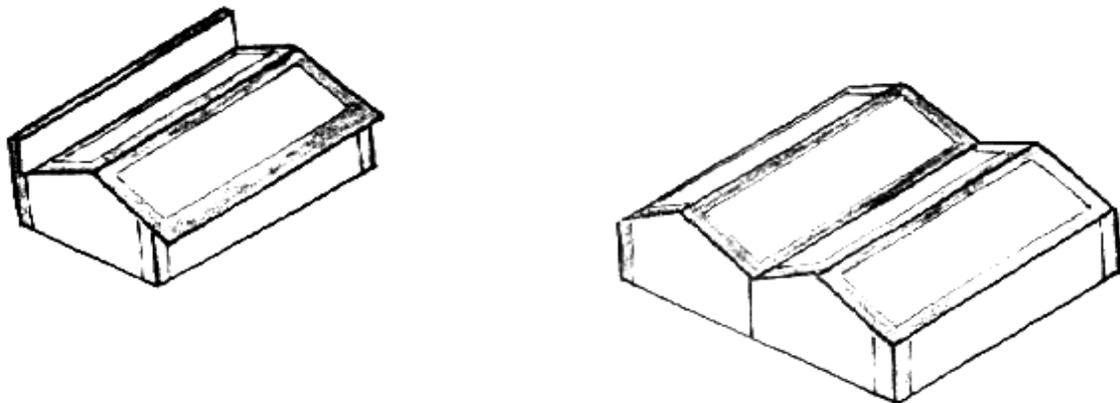


Figura 6 — Zonas críticas en los límites discontinuos de las edificaciones.

El valor del coeficiente de forma o aerodinámico C_f de presión(succión) se toma en este caso de los siguientes gráficos.

NOTA 1: Téngase en cuenta que en los gráficos a, b, c y d, aparece incluidos en el coeficiente de forma, el valor correspondiente a las ráfagas para 20 metros de altura, de ahí que para otras alturas se tengan que tomar las consideraciones adecuadas a la hora de calcular las presiones combinadas(ver epígrafe 7).

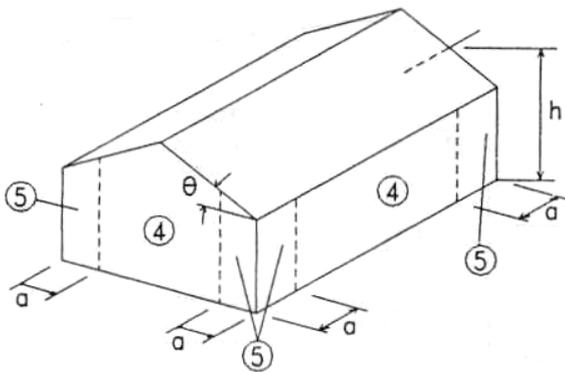
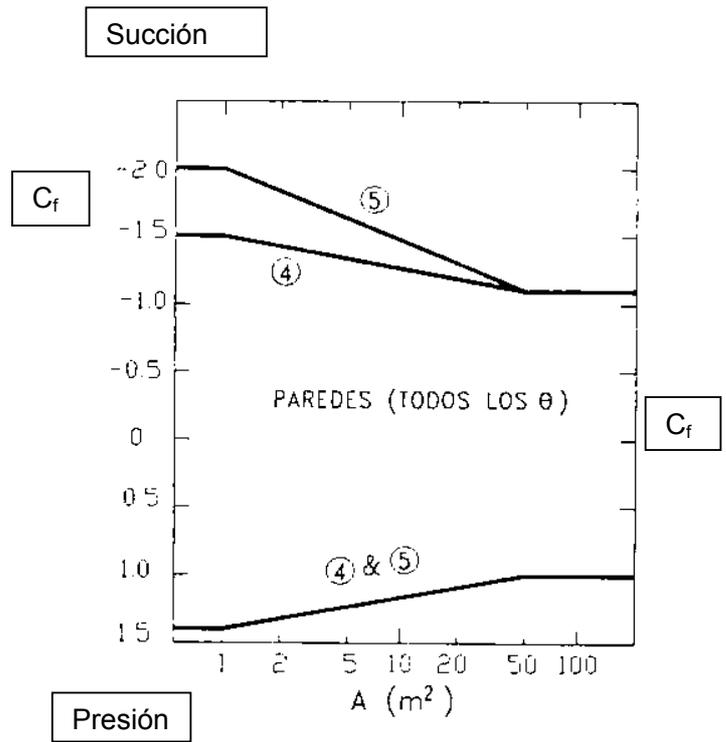


Figura 6.a — Paneles de pared



a) Gráfico de coeficientes de forma.

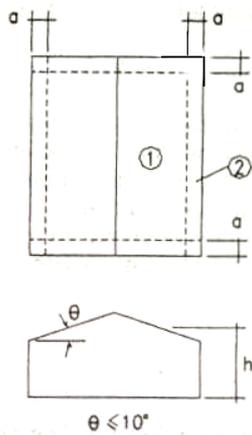
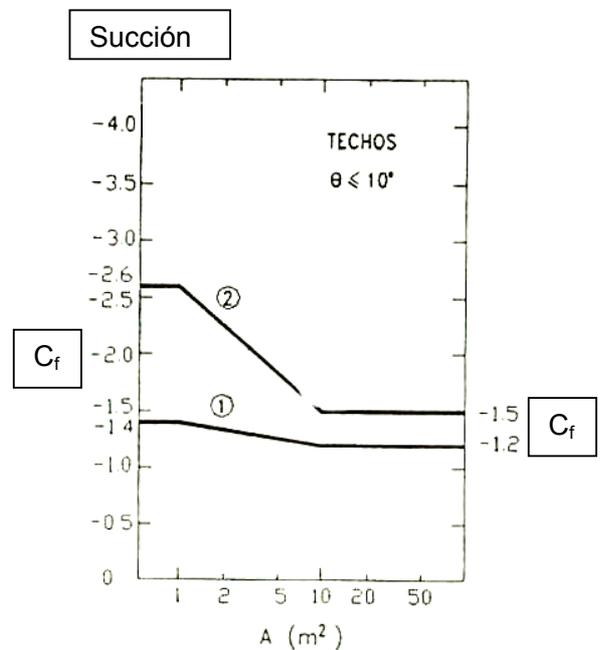


Figura 6.b — Paneles de techo con ángulo de techo, $\theta \leq 10^\circ$



b) Coeficientes de forma C_f.

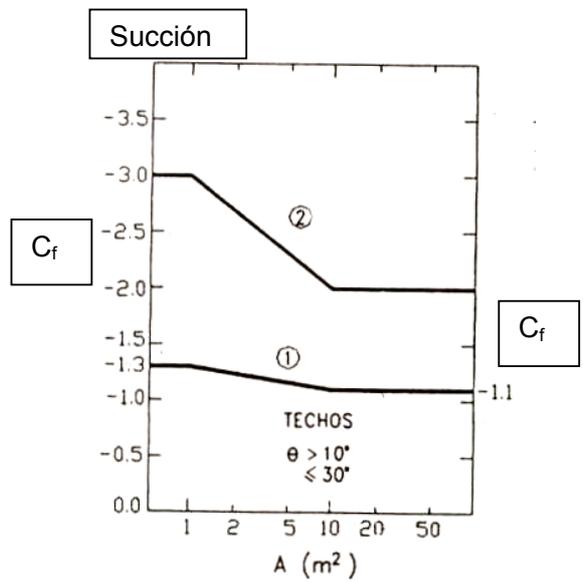
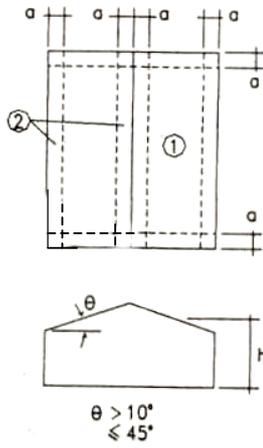
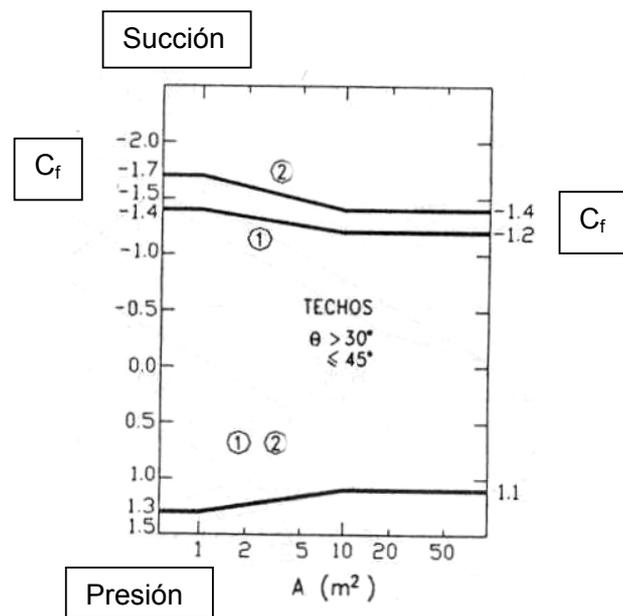


Figura 6.c. — Paneles de techo con $10^\circ < \theta \leq 30^\circ$

c) Gráfico de los coeficientes de forma



d) Gráfico de los coeficientes de forma para los paneles de techo con el ángulo de inclinación $30^\circ < \theta \leq 45^\circ$.

NOTA 2: El área efectiva del viento (A) es igual a la longitud del tramo multiplicada por un ancho efectivo que no debe ser menor que un tercio de la longitud del tramo.

NOTA 3: Los cristales por debajo de los 20 m, en edificios situados en zonas donde pueden aparecer objetos volantes debido al viento, deben ser resistentes a los impactos o protegerse contra estos, en caso contrario dichos cristales que reciben la presión positiva externa del viento se consideraran como si estuvieran abiertos.

9 Coeficiente de forma o aerodinámico de las acciones interiores de edificaciones y obras permeables

En todas las edificaciones permeables se considerarán las acciones interiores (presión o succión).

9.1 Permeabilidad de las paredes. Una pared de una edificación tiene una permeabilidad al viento de μ % si ella tiene aberturas de dimensiones, tales que la suma de las áreas de las mismas representa un por ciento μ de su área total.

Las acciones interiores (coeficientes de forma o aerodinámicos interiores C_i) dependerán en su magnitud de la permeabilidad.

Según el grado de permeabilidad de las paredes, se consideran dos tipos de edificaciones u obras que son las siguientes:

- **Parcialmente abiertas:** Si una de las paredes al menos presenta o puede presentar en ciertos momentos una permeabilidad comprendida entre el 2 y el 35%.
- **Abiertas:** Si una de las paredes al menos presenta o al menos puede presentar en ciertos momentos una permeabilidad igual o mayor al 35%.

En la Tabla 8 se establecen los coeficientes de forma de las acciones interiores (C_i) (presión y succión) de edificaciones u obras aisladas parcialmente abiertas.

Tabla 8 — Coeficientes de presión interna

Permeabilidad μ (%)	Coefficiente de forma interior, C_i .
menor de 2	-
2 a 4	0,2
5 a 10	0,3
11 a 20	0,4
21 a 29	0,5
30 a 35	0,6
mayor de 35	abierto

9.2 Características de la acción interior

La acción interior podrá tener características de presión o succión sobre los elementos estructurales de las edificaciones.

En la Fig. 7 se muestran la representación de las acciones en edificios aislados simples parcialmente abiertos debido a la permeabilidad de los mismos.

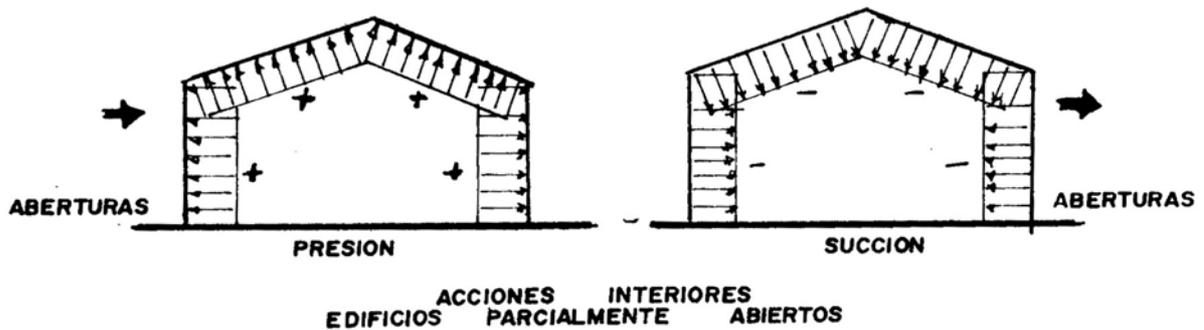


Figura 7 — Acciones interiores alternativas para una misma dirección del viento en edificios parcialmente abiertos.

9.3 Combinación de las acciones interiores y exteriores

La acción interior en edificios parcialmente abiertos se combinará con las acciones exteriores de la forma más desfavorable. Un ejemplo de la combinación anterior para una permeabilidad de $\mu = 5\%$ con un coeficiente interior de $\pm 0,3$. Véase figura 8.

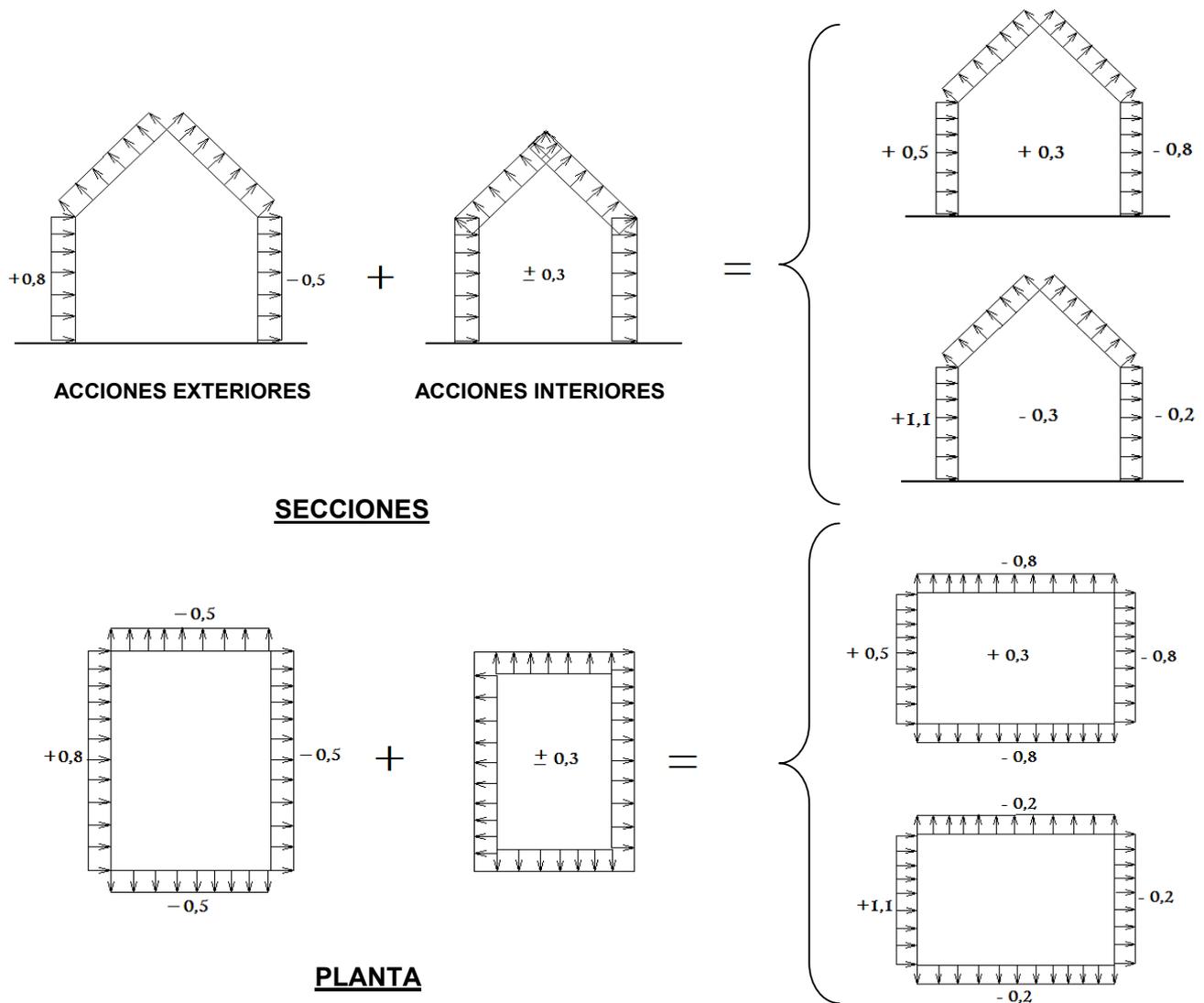


Figura 8 — Combinaciones posibles de las acciones exteriores e interiores debido al viento

9.4 Valores límites de los coeficientes de la combinación de las acciones

Cuando la combinación más desfavorable de las acciones exteriores e interiores conduce a un coeficiente entre - 0,20 y 0, se tomará el valor límite de - 0,20 y si el coeficiente está comprendido entre 0 y + 0,20 se tomará el valor límite de + 0,20.

10 Coeficiente de forma o aerodinámico de las acciones exteriores e interiores de edificios abiertos

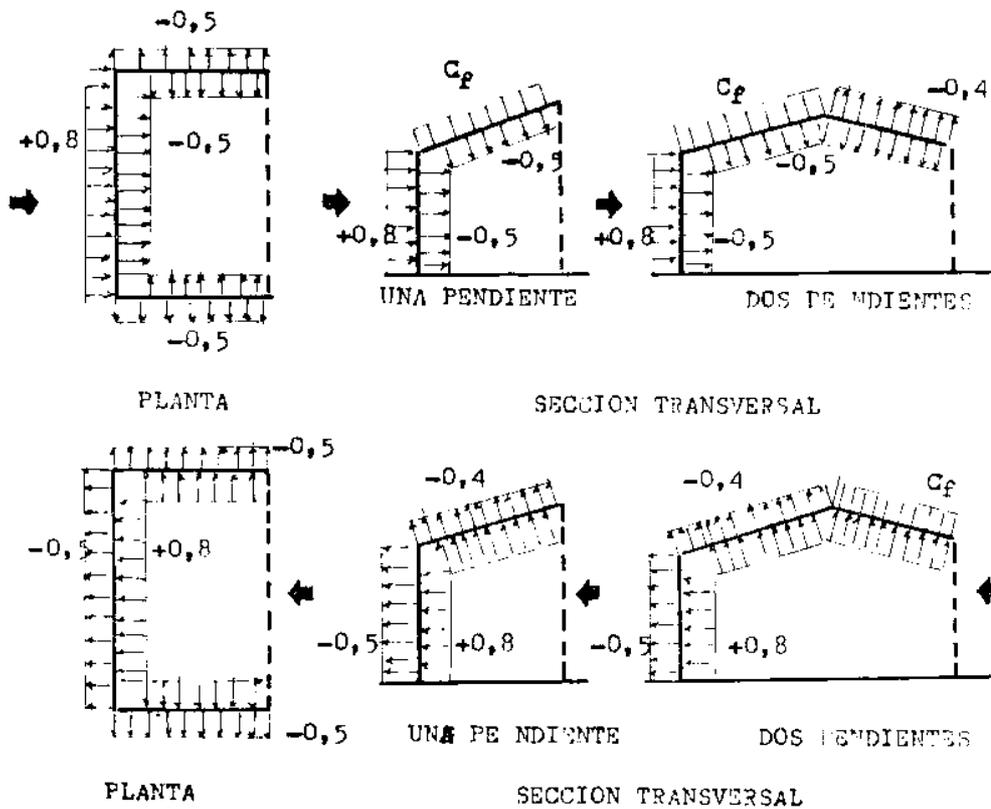
Se señalan los coeficientes de forma y figuras de las acciones exteriores del viento sobre paredes de techos y edificaciones abiertas.

En edificios abiertos la dirección relativa del viento con respecto al lado o lados abiertos es fundamental.

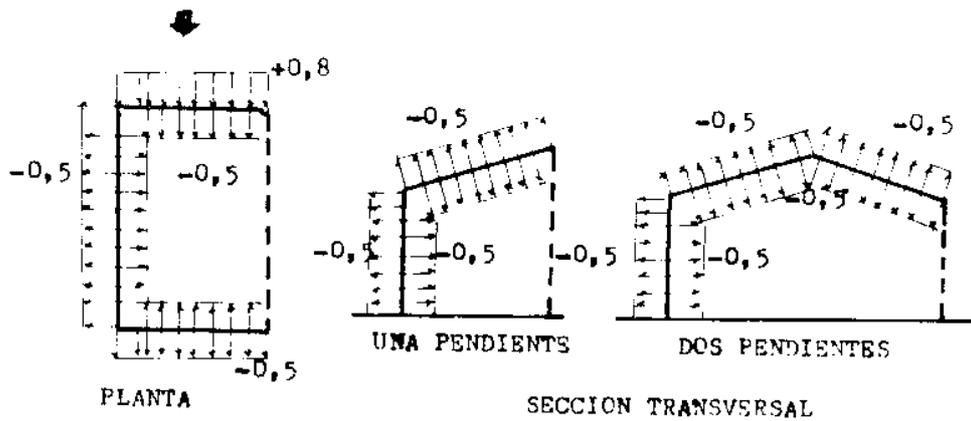
El coeficiente de forma $C_f = C_i$, se tomará del caso 2 de la Tabla 7.

10.1 Edificios abiertos en un lado

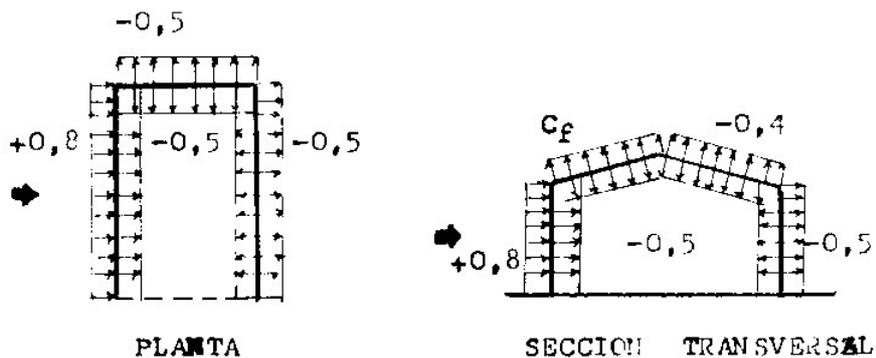
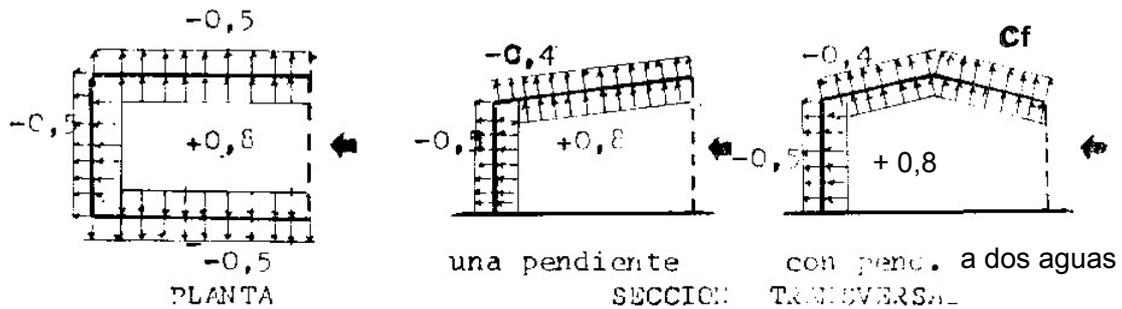
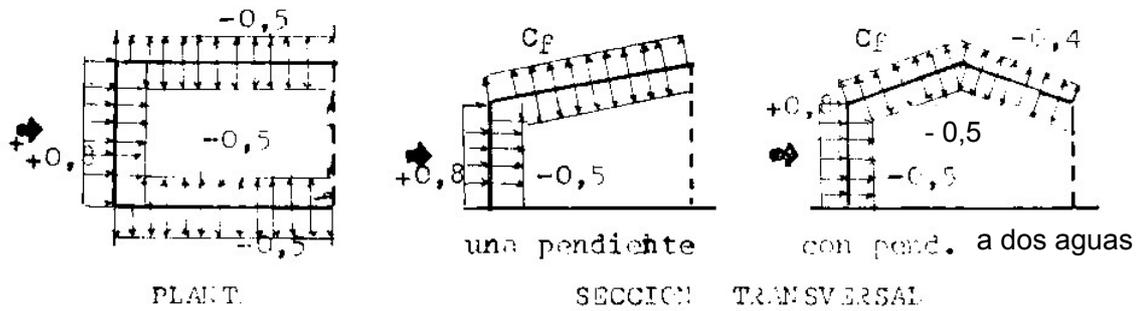
10.1.1 Los coeficientes de forma y figuras de las acciones exteriores e interiores del viento sobre paredes y techos de edificios de una y dos pendientes con una fachada larga y para la acción del viento normal a la dirección de dicha pared abierta, se muestra a continuación.



10.1.2 Los coeficientes de forma y figuras de las acciones exteriores e interiores del viento sobre paredes y techos de edificios de una y dos pendientes con una fachada larga abierta (la fachada de mayor longitud) y para la acción del viento paralela a la dirección de dicha fachada abierta, se muestra a continuación.



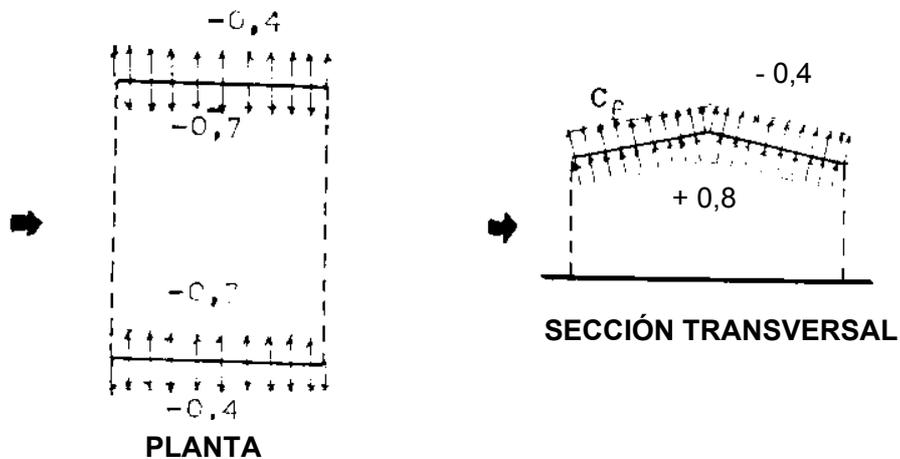
10.1.3 Para las acciones exteriores del viento sobre paredes y techos de edificios de una y dos pendientes con una fachada frontal abierta (la fachada de menor longitud) y para la acción del viento normal y paralela a la dirección de la misma fachada abierta, se utilizarán los mismos coeficientes de forma y figuras que se establecen en los apartados 10.1.1 y 10.1.2 tal como se muestra a continuación.



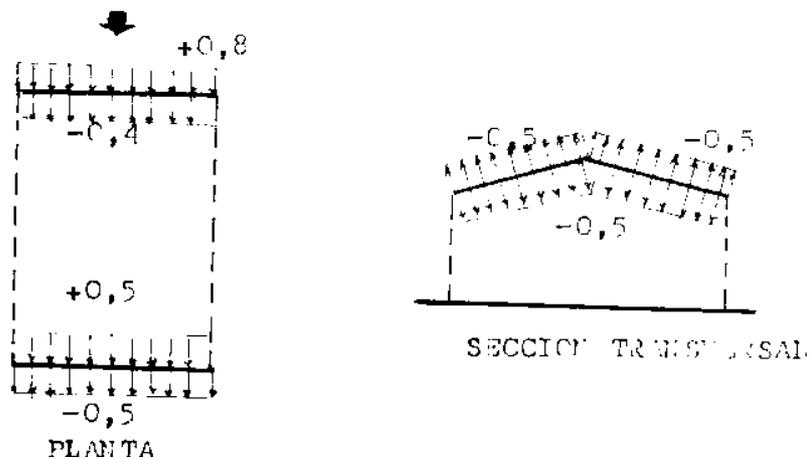
10.2 Edificios abiertos en dos lados

10.2.1 Los coeficientes de forma y figuras de las acciones exteriores e interiores del viento sobre paredes y techos de edificios de dos pendientes con dos fachadas laterales abiertas (las de mayor

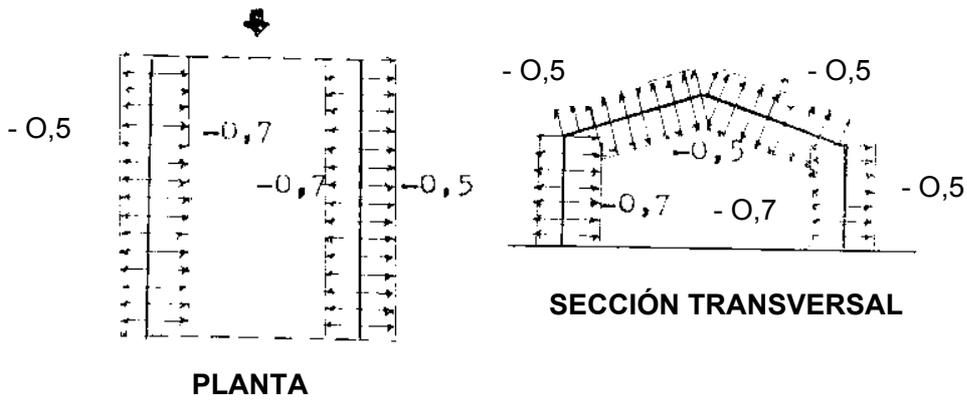
longitud) y para la acción del viento normal a las fachadas abiertas, tal como se muestra a continuación.



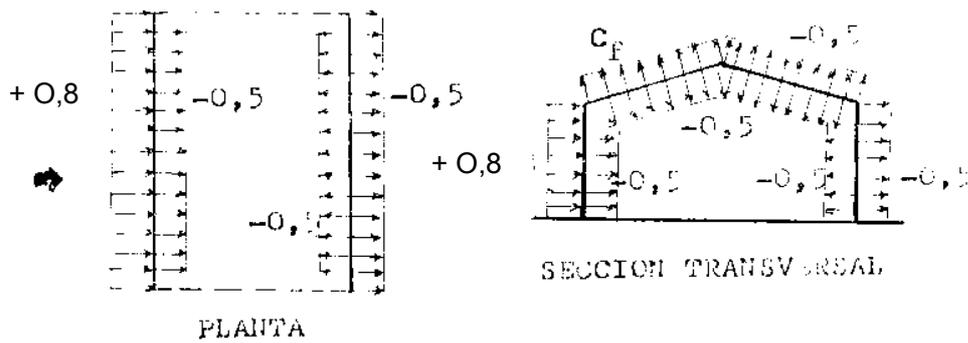
10.2.2 Los coeficientes de forma y figuras de las acciones exteriores e interiores del viento sobre paredes y techos de edificios de dos pendientes con las fachadas frontales abiertas (las de mayor longitud) y la acción del viento paralela a las fachadas abiertas, se muestran a continuación.



10.2.3 Los coeficientes de forma y figuras de las acciones exteriores e interiores del viento sobre paredes y techos de edificios de dos pendientes con las fachadas frontales abiertas (la de menor longitud) y para la acción del viento normal a las fachadas abiertas, se muestran a continuación.

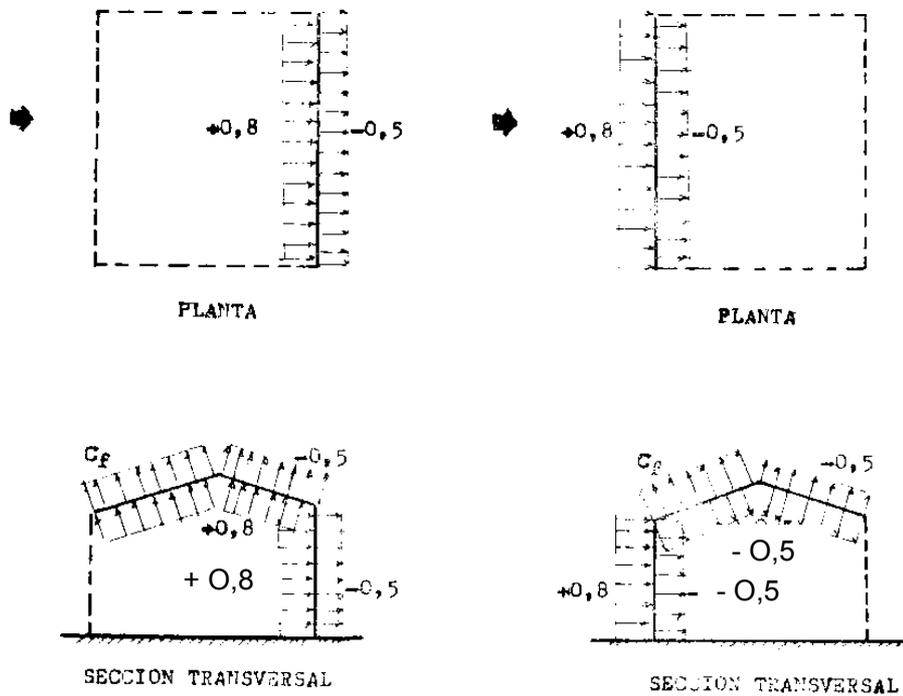


10.2.4 Los coeficientes de forma y figuras de las acciones exteriores e interiores del viento sobre paredes y techos de edificios de dos pendientes con las fachadas frontales abiertas (las de menor longitud) y para la acción del viento paralelo a las fachadas abiertas, se muestran a continuación.



10.3 Edificios abiertos en tres lados

Los coeficientes de forma y figuras de las acciones exteriores e interiores del viento sobre paredes y techos de edificios de dos pendientes con tres fachadas abiertas, se muestran a continuación.



10.4 Edificios abiertos por cuatro lados (techos aislados)

10.4.1 Techos aislados de dos pendientes simétricas. Campo de aplicación

Los coeficientes de forma de los techos que se muestran en la Fig. 9, solo se considerarán para techos cuyo borde inferior horizontal tenga una altura H sobre el nivel del terreno igual o mayor a $0,75$ de la longitud de una pendiente del techo. Se aplicará también a techos aislados de una sola pendiente.

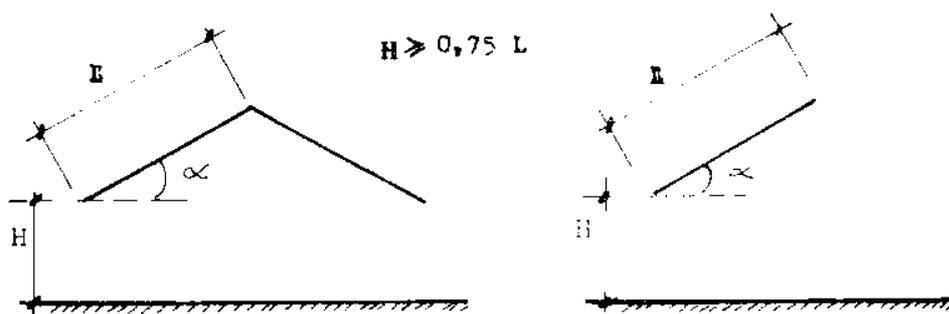


Figura 9 — Generalidades. Techos aislados

Para valores menores de H que los señalados, para techos de poca pendiente, se produce el efecto de Venturi, tanto más acentuado cuanto más cercano se encuentre del suelo. Para estos casos debe realizarse ensayos, sobretodo si los techos considerados son de grandes dimensiones, o si los riesgos en caso de accidente son elevados.

10.4.2 Techos aislados de dos pendientes simétricas (tipo lima tesa y lima hoya).Techos de una pendiente. Coeficientes de forma o aerodinámicos

En la Fig. 10 se muestran los cuatro tipos de techos aislados de dos y una pendiente por la acción del viento normal al borde horizontal del techo. Los valores establecidos son las acciones resultantes, es decir, la suma de la acción sobre cada cara o superficie del techo.

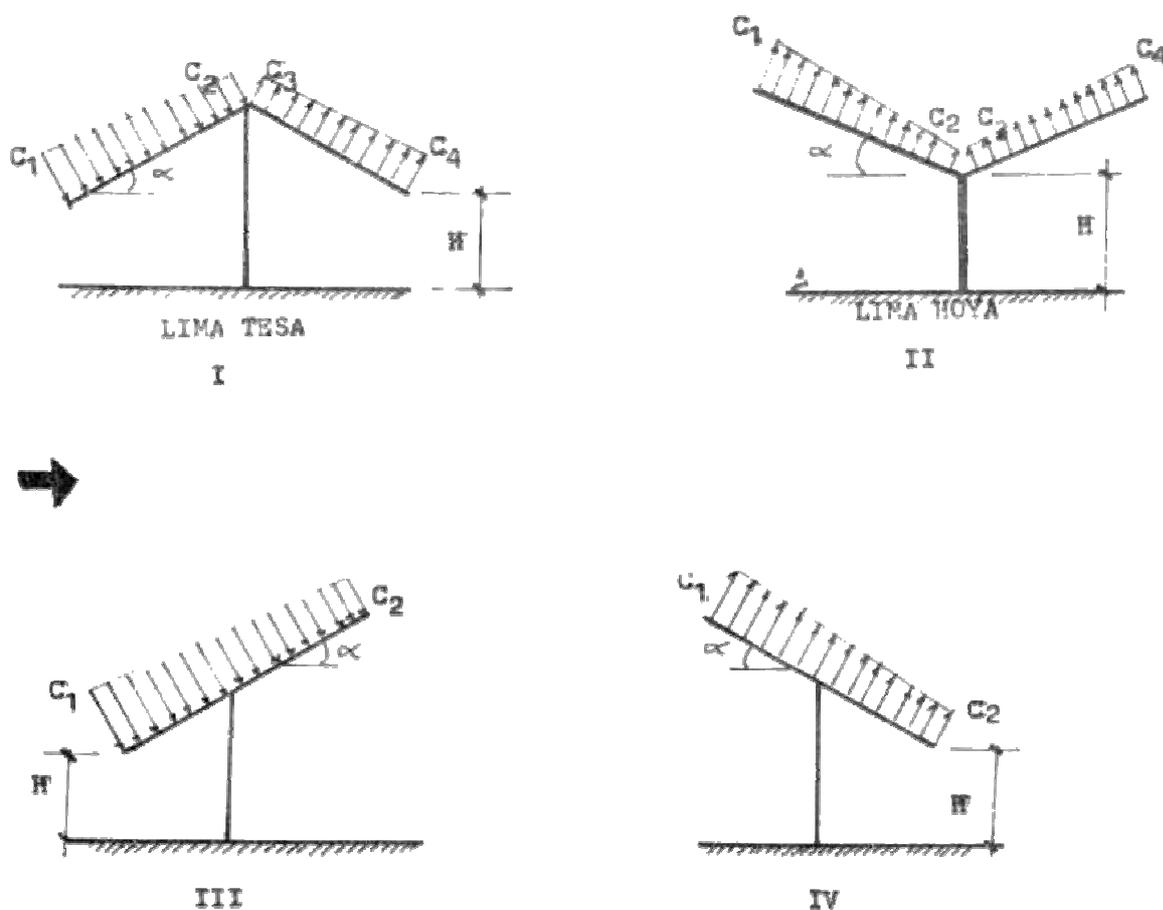


Figura 10 — Coeficientes de forma de techos aislados.

NOTA: Estos techos abiertos en los cuatro lados no tienen elementos intermedios que obstruyan el paso del viento. El elemento vertical mostrado en la figura 10 no es más que un símbolo de apoyo puntual (columna) nunca un muro.

Tabla 9 — Coeficientes de forma para techos aislados

Tipo de Estructura	Ángulo (grados)	Coeficiente de forma			
		C1	C2	C3	C4
I	10	0,70	0,35	- 0,15	- 0,50
	20	0,75	0,57	- 0,33	- 0,50
	30	0,80	0,80	- 0,50	- 0,50
	40	0,97	0,97	- 0,33	- 0,33
II	10	- 0,70	- 0,35	0,15	0,50
	20	- 0,75	- 0,57	0,33	0,50
	30	- 0,80	- 0,80	0,50	0,50
	40	- 0,97	- 0,97	0,33	0,33
III	10	0,80	0,00		
	15	1,05	0,20		
	20	1,30	0,40		
	25	1,55	0,60		
	30	1,80	0,80		
	35	1,76	0,84		
	40	1,72	0,88		
	45	1,68	0,93		
IV	10	- 0,80	- 0,00		
	15	- 1,05	- 0,20		
	20	- 1,30	- 0,40		
	25	- 1,55	- 0,60		
	30	- 1,80	- 0,80		
	35	- 1,76	- 0,84		
	40	- 1,72	- 0,88		
	45	- 1,68	- 0,93		

11 Cálculo de la estabilidad de conjunto

11.1 Fuerza horizontal de arrastre o fricción en las cubiertas

11.1.1 Para un viento paralelo a la generatriz de la cubierta o techo se puede asimilar su acción para el cálculo del equilibrio o estabilidad de las edificaciones u obras en su conjunto, a una fuerza horizontal de fricción o arrastre a la altura de la lima tesa o cresta del techo, determinada por los valores unitarios de fricción siguientes:

$k = 0,01 q$ para la superficie plana o superficie con ondas o pliegues paralelos a la dirección del viento,

$k = 0,02 q$ para superficies con ondas y pliegues normales a la dirección del viento

$k = 0,04 q$ para superficies con nervios normales a la dirección del viento,

q presión básica del viento a la altura de la lima tesa o cresta del techo.

11.1.2 Para los edificios o naves cerradas, la fuerza de fricción horizontal se calculará considerando la superficie de la cubierta más allá de una distancia igual a 4 veces la altura H.(véase figura 11).

$$\text{Fuerza de fricción} = k \cdot (\text{longitud ABC}) \cdot (a - 4H)$$

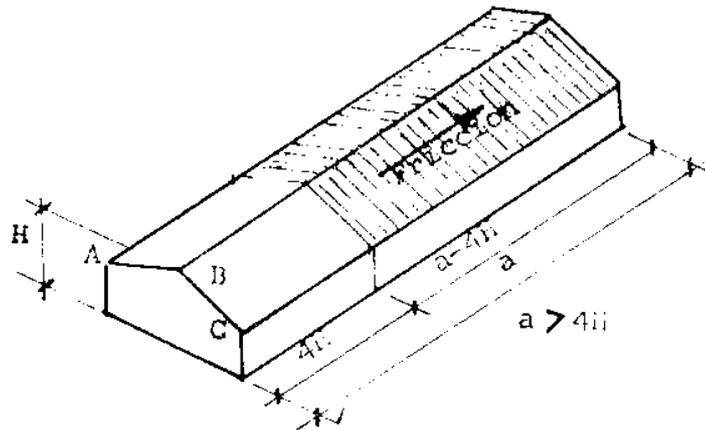


Figura 11 — Fuerza horizontal de arrastre o fricción en las cubiertas

11.1.3 Para techos aislados de edificios abiertos la fuerza de la fricción horizontal se considerará actuando en cada cara de la cubierta, según el tipo de terminación en cada cara.

11.2 Efectos de torsión debido al viento

Los sistemas resistentes principales de los edificios, cuya altura media de la cubierta se encuentre a una altura igual o mayor que 30 m y un ancho de fachada no menor de 40 m, deberán ser diseñados tomando en cuenta los momentos torsores resultantes para la carga de diseño actuando según las combinaciones establecidas en la figura 12 correspondientes a los cuatro casos definidos (1 al 4).

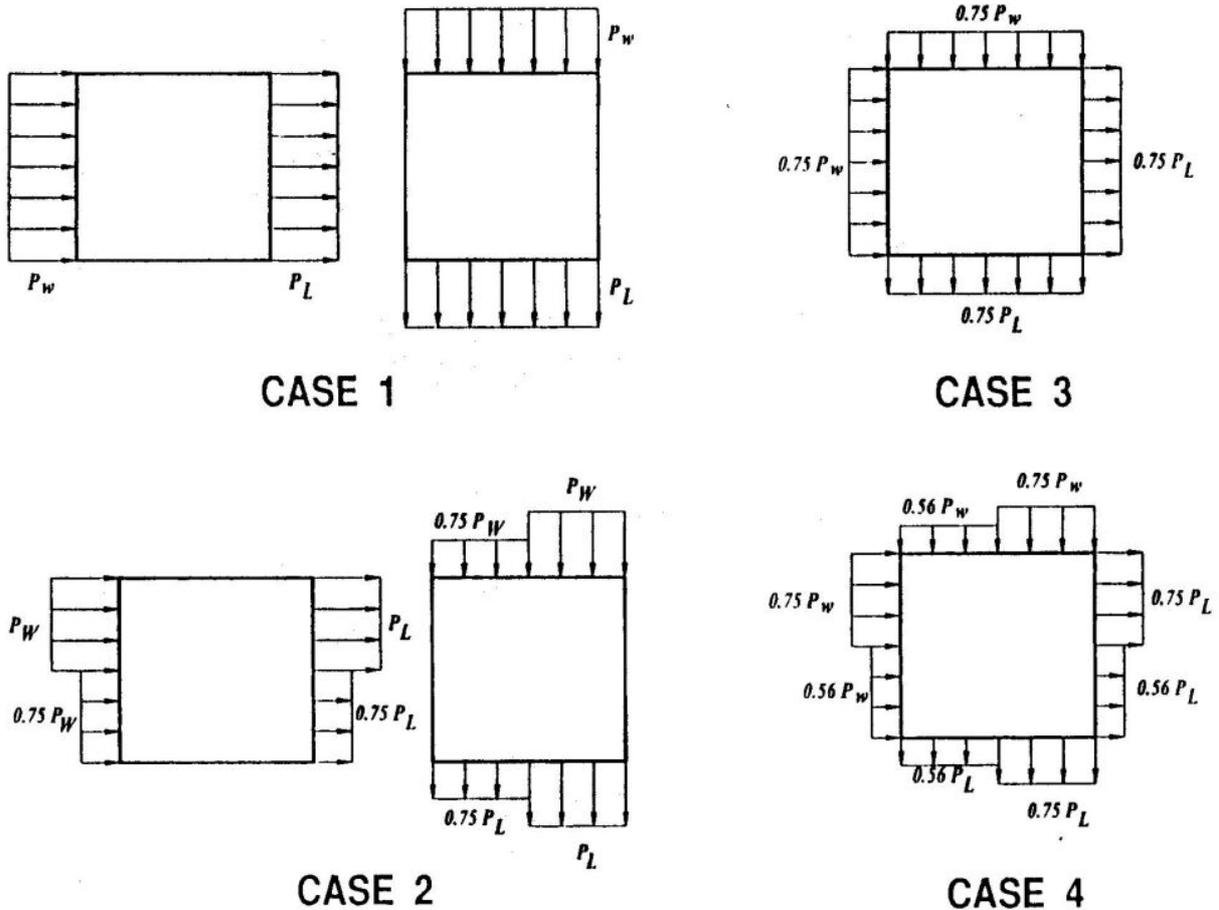


Figura 12 — Vistas en planta de las combinaciones del viento para casos de edificio de más de 30 m de altura

CASO 1: Se utilizarán las presiones de viento de diseño totales, actuando perpendicular sobre las áreas proyectadas en cada dirección ortogonal principal de la estructura de manera independiente.

CASO 2: Las presiones de viento tal y como fueron definidas en el CASO 1, pero con un 25 % de reducción en la presión que actúa sobre el 50 % del área proyectada limitada por el borde proyectado extremo del edificio.

CASO 3: Las presiones de viento tal y como fueron definidas en el CASO 1, pero considerando que actúa simultáneamente en ambas direcciones ortogonales pero al 75 % de su valor.

CASO 4: Las presiones de viento tal y como fueron definidas en el CASO 3, pero con un 25 % de reducción en la presión que actúa sobre el 50 % del área proyectada limitada por el borde proyectado extremo del edificio.

NOTA 1: Las presiones de diseño de barlovento y sotavento consideradas son las obtenidas según el capítulo 7 de esta norma para los sistemas resistentes principales para edificios cuya cubierta se encuentre a una altura media igual o superior a los 30 m.

NOTA 2: Los diagramas muestran una vista en planta del edificio.

NOTA 3: La notación utilizada significa:

P_W : Presión de diseño en la fachada de barlovento

P_L : Presión(Succión) de diseño en la fachada de sotavento

12 Acciones exteriores. Coeficiente de forma o aerodinámicos de estructuras especiales de superficies continuas o cerradas

Dentro de esta sección se incluirán un grupo de estructuras casi siempre de predominio vertical, fundamentalmente industriales y de almacenamiento, con una estructura constituida por superficies continuas de características especiales. Las chimeneas, torres, tanques, silos y estructuras similares caen en la anterior clasificación.

Se contemplan igualmente estructuras de superficies esféricas, por su característica de poseer superficie continua.

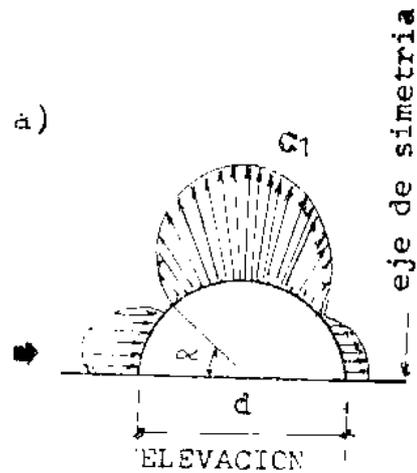
En estas estructuras de carácter generalmente vertical, es importante la relación de altura a diámetro o base, por lo que se señalarán en los coeficientes las variaciones que producen en base a lo anterior.

En estas estructuras hay que tener en cuenta el cálculo por el efecto local sobre la superficie y el efecto por el conjunto de la estructura, para el diseño y cálculo de su resistencia y estabilidad.

Los coeficientes de forma o aerodinámicos se establecen en la Tabla 10.

Tabla 10 — Coeficientes de forma en estructuras especiales

Los esquemas a y b se usan en los cálculos de la superficie de la estructura, así como en todos los casos cuando tiene gran importancia el considerar la acción local del viento. Estos esquemas se emplean: (a) para esferas y (b) para estructura lateral cilíndrica con cubierta o sin cubierta, ejemplo: depósitos, silos, chimeneas, tanques, etc.

Caso 1.a: Esferas. Valores de C_1 :**Sección de esfera**

α°	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
C_1	+1	+0,9	+0,5	-0,1	-0,7	-1,1	-1,2	-1,0	-0,6	-0,2	+0,1	+0,3	+0,4

Caso 1.b: Estructuras lateral cilíndrica:Valores de C_2

H/d	α°												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
1/6	+0,8	+0,7	+0,4	0	-0,4	-0,6	-0,7	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1
1/3	+0,9	+0,7	+0,4	-0,1	-0,6	-0,9	-1,0	-0,9	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3
1	+1,0	+0,8	+0,1	-0,7	-1,2	-1,5	-1,7	-1,2	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4
7	+1,0	+0,8	+0,1	-0,8	-1,7	-2,2	-2,2	-1,7	-0,8	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5
≥ 25	+1,0	+0,8	+0,1	-0,9	-1,9	-2,5	-2,6	-1,9	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6

NOTA 1: Los datos para C_1 y C_2 se toman para $R_E > 4 \cdot 10^5$.

Valores de C_3 :

Tipo de cubierta	H/d		
	1/6	1/3	≥ 1
Plana y cónica($\beta=5^\circ$)	- 0,5	- 0,6	- 1,0
Esféricas $f/d \leq 1/10$	- 0,5	- 0,6	- 1,0
Esféricas $f/d = 1/4$	- 0,4	- 0,5	- 0,8

El coeficiente C_4 se toma en cuenta al no existir la cubierta o bien cubierta flotante.

Valores de C_4 :

H/d	1/6	1/3	≥ 1
C_4	- 0,5	- 0,6	- 0,8

NOTA 2: Número de Reynolds (R_E)

$$R_E = \frac{40 d (\gamma_s q_{10})^{1/2}}{\nu}$$

donde:

d diámetro del elemento en m.

γ_s coeficiente de carga (según NC 120:2001).

q_{10} presión básica de la velocidad del viento que se considera en los cálculos en kN/m^2 .

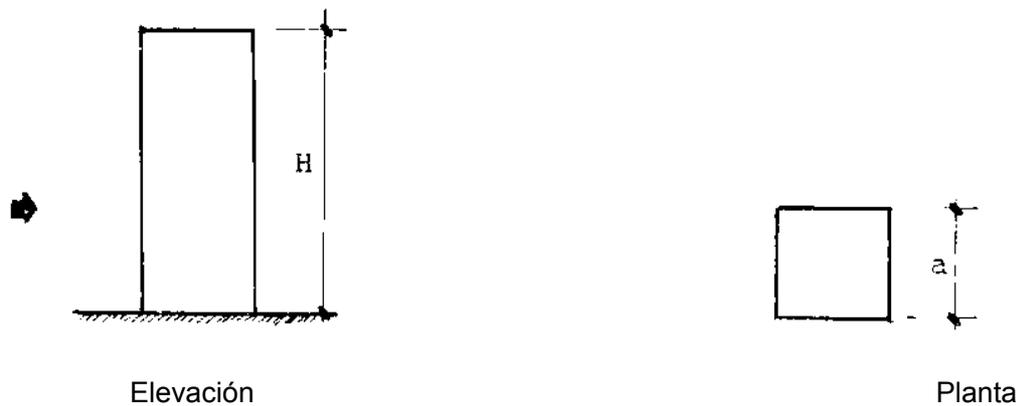
ν viscosidad cinemática del aire(para temperatura igual a + 15 °C y una presión atmosférica de 760 mm de Hg),

$$\nu = 0,145 \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

Caso 2

El coeficiente de forma total para el cálculo de estabilidad de chimeneas, tanques y estructuras similares se toma de la siguiente tabla:

Sección	Dirección del viento	H/a		
		25	7	1
Cuadrada	Perpendicular al lado	2	1,4	1,3
	Por la diagonal	1,5	1,1	1,0
6 a 8 lados regular con $R_E \geq 4 \cdot 10^5$	Cualquiera	1,4	1,2	1,0
10 a 12 lados regular con $R_E \geq 4 \cdot 10^5$	Cualquiera	1,2	1,0	0,8



NOTA 3: Para obras con varios lados en planta (con cualquier dirección del viento), así como con planta cuadrada (con dirección del viento por la diagonal), a: diagonal de la sección.

Para valores no mostrados de H/a se puede interpolar linealmente.

Caso 3

El esquema se utiliza en obras con superficie lateral cilíndrica (depósitos, silos, torres, chimeneas), así como también para elementos redondos tipo tubo y macizos en obras abiertas, conductos, líneas.

En superficies lisas o con poca rugosidad (hormigón, acero, madera y otros) el valor del coeficiente C_f se toma del gráfico siguiente:

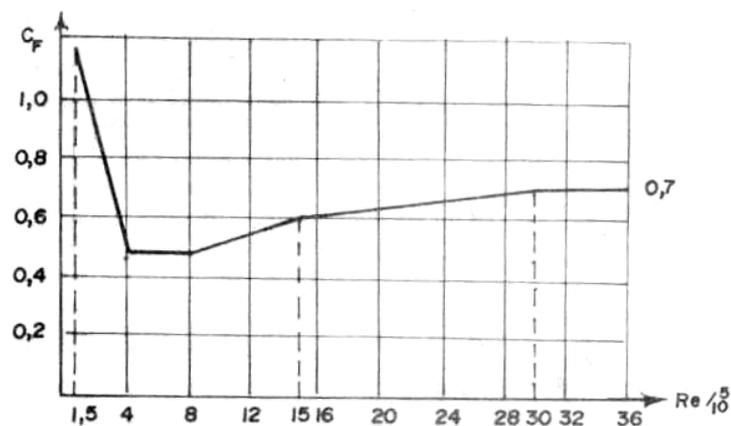
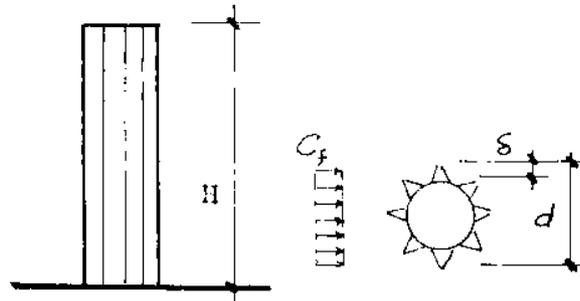


Gráfico para obtener los coeficientes de forma C_f en superficies lisas o con poca rugosidad

En superficies rugosas o muy rugosas los valores del coeficiente C_f para Re mayor de $4 \cdot 10^5$ se toman de la tabla siguiente:



Sección	H/d		
	25	7	1
Círculo con: $\delta \cong 0,02 d$	0,9	0,8	0,7
Círculo con: $\delta \cong 0,08 d$	1,2	1,0	0,8

En las líneas de transmisión eléctrica los valores del coeficiente C_f tomarán los valores siguientes:

- 1,1 para conductos y líneas con $d \geq 20$ mm.
- 1,2 para conductos y líneas con $d < 20$ mm.

Caso 4

Coefficientes de forma C_f validos para $l/D > 100$

Tipo de postes, cables y alambres	$D \sqrt{q_{10} C_h}$	
	$< 0,167$	$> 0,167$
Alambres, postes y tuberías lisas	1,2	0,5
Alambres, postes y tuberías moderadamente lisas	1,2	0,7
Cables de alambres finos	1,2	0,9
Cables de alambres gruesos	1,3	1,1

Fuerza resultante sobre el elemento, F

$$F = \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra} C_f\} A$$

donde:

$$A = D \cdot l$$

NOTA 4: Tener en cuenta lo especificado en la nota del caso 5 de la tabla 11, dado el caso de que estos elementos estén inclinados.

13 Acciones sobre estructuras de armaduras o cerchas, estereocelosis, torres de celosías y otras. Coeficientes de forma o aerodinámicos

Los coeficientes de forma para estos elementos estructurales tienen un campo de variación bastante amplio, pues estas estructuras están en su conjunto constituidas por la unión de elementos estructurales formando elementos con un por ciento generalmente altos de superficies vacías, por lo que es muy importante la relación área neta / área bruta, definida como el cociente de área proyectada de los elementos de un lado o cara de la estructura y el área bruta o contorno proyectado de dicho lado o cara.

En estas estructuras hay que considerar los coeficientes de forma que actúen sobre la estructura en su conjunto, para el diseño de las mismas con su resistencia, estabilidad, deformación y otras y los coeficientes de forma sobre los elementos constituyentes parciales, para el diseño y cálculo de los mismos, de forma individual independientes de la estructura integral.

Las torres de celosía constituyen en realidad una estructura especial de igual forma que las estereocelosis; su señalamiento aparte está determinado por su amplio uso en posición vertical, constituyendo objetos de obra de uso común y repetidos, como antenas, soporte de torres, tanques y otros, por lo que es importante recalcar las particularidades y formas (secciones) más comunes.

En la Tabla 11 se establecen los coeficientes de forma o aerodinámicos y esquemas de estructuras de armaduras o cerchas, estereocelosis, torres de celosías, y otros, en su conjunto de forma integral, así como el de los elementos constituyente individuales.

Tabla 11 — Estructuras de armaduras, cerchas y estereocelosis.

Caso 1: (Para los diferentes perfiles de estructuras de celosía.) Coeficientes de forma para elementos infinitamente largos ($l/h_a > 100$) ver figura 13.

α	$C_{n,=}$	$C_{t,=}$										
0°	+1,9	+0,95	+1,8	+1,8	+1,75	+0,1	+1,6	0	+2,0	0	+2,05	0
45°	+1,8	+0,8	+2,1	+1,8	+0,85	+0,85	+1,5	-0,1	+1,2	+0,9	+1,85	+0,6
90°	+2,0	+1,7	-1,9	-1,0	-0,1	+1,75	-0,95	+0,7	-1,6	+2,15	0	+0,6
135°	-1,8	-0,1	-2,0	+0,3	-0,75	+0,75	-0,5	+1,05	-1,1	+2,4	-1,6	+0,4
180°	-2,0	+0,1	-1,4	-1,4	-1,75	-0,1	-1,5	0	-1,7	$\pm 2,1$	-1,8	0
α	$C_{n,=}$	$C_{t,=}$										
0°	+1,4	0	+2,05	0	+1,6	0	+2	0	+2,1	0	+2	0
45°	+1,2	+1,6	+1,95	+0,6	+1,5	+1,5	+1,8	+0,1	+1,4	+0,7	+1,55	+1,55
90°	0	+2,2	$\pm 0,5$	+0,9	0	+1,9	0	+0,1	0	+0,75	0	+2

Coefficientes de forma normal y tangencial ($C_{n,\infty}$ y $C_{t,\infty}$) para elementos infinitamente largos.

Factor de reducción k_{red} para elementos de esbeltez finita (en general, se usa la longitud completa del elemento no la longitud del panel).

l/h_α	5	10	20	35	50	100	∞
k_{red}	0,60	0,65	0,75	0,85	0,90	0,95	1,0

Para cálculos de esbeltez debe utilizarse h_α .

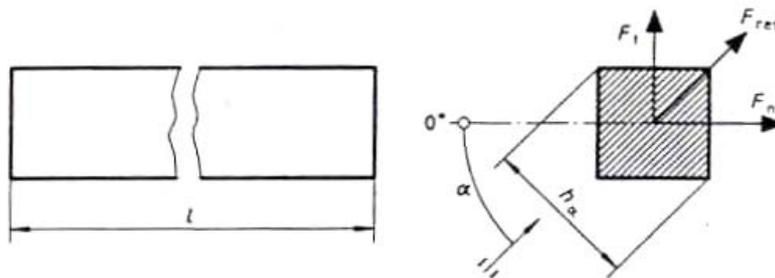


Figura 13 — Elementos con una longitud finita

Longitud del elemento: l

Área: $A = h \cdot l$

Para el viento actuando normal al eje del elemento:

Componente normal de la fuerza del viento:

$$F_n = \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra} C_{n,\infty}\} k_{red} A$$

Componente tangencial de la fuerza del viento:

$$F_t = \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra} C_{t,\infty}\} k_{red} A$$

Caso 2: El coeficiente de forma para una cercha plana se determina por la fórmula:

$$C_f = \frac{\sum C_{fi} a_i}{A}$$

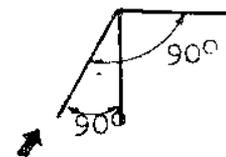
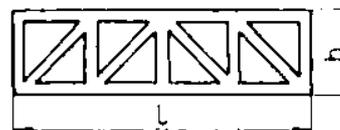


Gráfico de cercha

donde:

a_i : área de proyección del elemento de la cercha sobre su plano (m^2).

C_{fi} : coeficiente de forma del elemento de la cercha, según los datos de la Tabla 10 y 11.

A : área bruta de la cercha, calculada según perímetro exterior, $A = L \cdot h$ (m^2).

Si todos los elementos de la cercha tienen igual coeficiente de forma, C_{fi} , entonces:

$$C_f = C_{fi} \frac{\sum a_i}{A}$$

donde:

$\sum a_i / A$: coeficiente de llenado de la cercha.

Caso 3: En el caso de existir varias cerchas paralelas, la primera se calcula según se mostró anteriormente en caso 2, pero a partir de la segunda y todas las demás si son de perfiles o de tubos con $R_E < 4 \cdot 10^5$ se usará el coeficiente de forma afectado por el coeficiente de reducción N , el cual se determina en función de $\sum a_i / A$ y b/h de la siguiente tabla;

Coeficiente N						
b/h	$\sum a_i / A$					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6 y más
1/2	0,93	0,75	0,56	0,38	0,19	0
1	0,99	0,81	0,65	0,48	0,32	0,15
2	1	0,87	0,73	0,59	0,44	0,30
4	1	0,90	0,78	0,65	0,52	0,40
6	1	0,93	0,83	0,72	0,61	0,50

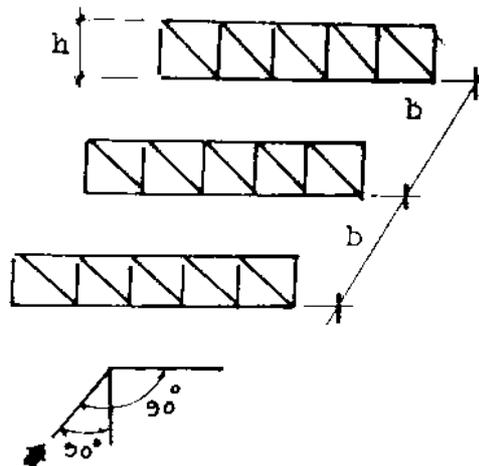


Gráfico de las cerchas continuas

donde:

b: separación entre cerchas en metros.

Para cerchas de tubos con $R_E \geq 4 \cdot 10^5$ significa que $N = 0,95$ en estos casos.

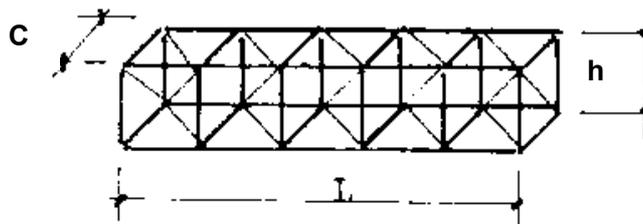
Caso 4: Para cerchas espaciales y torres de celosía el coeficiente de forma C_{fE} se calcula de la fórmula:

$$C_{fE} = C_f (1 + N)$$

donde:

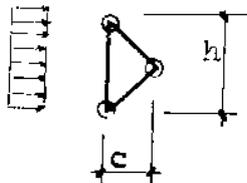
C_f coeficiente determinado según los datos del caso 2 de la tabla 11.

N coeficiente determinado según el caso 3 de la tabla 11.



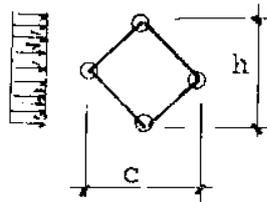
Estereocelosis espacial

Para torres de tres bordes con $\Sigma a_i / A$ mayor o igual a 0,1 el coeficiente C_f se multiplica por 0,9.



Torre de sección triangular en planta

Al calcular C_{fE} los valores de C_f se determinan, en todos los casos, suponiendo que la dirección del viento es perpendicular al plano del borde frente al viento de la cercha (torre).



Torre cuadrada en planta dirección diagonal del viento

Con dirección del viento por la diagonal de una torre cuadrada de cuatro bordes, el coeficiente aerodinámico se determina mediante la multiplicación del valor de C_{FE} por un coeficiente igual a:

- 1,1 para torres de acero de elementos únicos
- 1,2 para torres de hormigón armado, para torres de acero de elementos compuestos
- 1,3 para torres de madera de elementos compuestos.

Caso 5: Esquemas utilizados para retenidas, tensores y elementos tubulares inclinados, situados en el plano del flujo del viento. El coeficiente de forma se determina por la siguiente expresión:

$$C_{FD} = C_f \text{ sen}^2 \alpha$$

donde:

C_f se determina según los datos de la tabla 10.

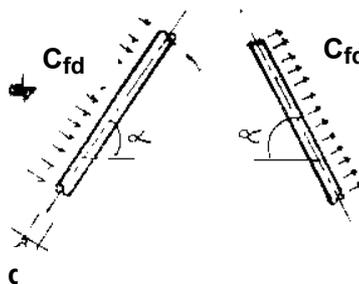


Gráfico de barras inclinadas

Caso 6: Los esquemas se emplean para los equipos tecnológicos de forma tubular:

Caso 6.a: cuando la dirección del viento es normal al extremo del cilindro;

$$C_F = 1$$

a)



Viento actuando por el extremo de un cilindro

Caso 6.b: cuando la dirección del viento es normal a la batería de tubos o conductos.

El coeficiente de forma C_f para el primer conducto se adopta según el caso 3 de la tabla 10, para el segundo y los siguientes será según la fórmula:

$$C_{fi} = C_f \cdot M$$

donde:

M es un coeficiente que se determina por la siguiente tabla:

$\frac{d_{n-1}}{d_n}$	$\frac{a_{n-1}}{d_{n-1}}$			
	1,2	2	4	> 6
$\leq 0,5$	-	1	1	1
0,75	-	0,8	0,95	1
≥ 10	0,5	0,7	0,90	1

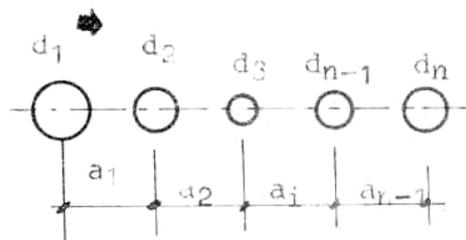


Gráfico de una batería de tubos o conductos

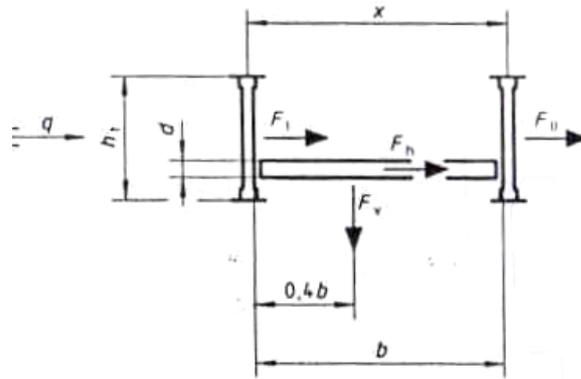
Cuando $d_{n-1} < d_n \leq d_{n-2}$, el coeficiente **M** para el primer cilindro se toma el menor de los dos calculados en dependencia de:

$$\frac{a_{n-1}}{d_{n-1}} \quad \text{y} \quad \frac{(a_{n-2} + a_{n-1})}{d_{n-2}}$$

Para valores intermedios se determina por interpolación lineal.

Caso 7: Puentes de viga losa y armaduras.

Se presentan dos casos:

Caso 7.1: Sin vehículos

El viento sobre un puente sin vehículo

l_B = longitud del puente

b = ancho de la estructura

d = ancho de la losa

k_{red} , $C_{n,\infty}$, $\sum a_i$, N de las tabla siguiente y la correspondiente al punto 3 de la tabla 11 en esta norma

Fuerza sobre la viga del lado que sopla el viento (barlovento):

$$F_I = \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra} C_{n,\infty}\} k_{red} \sum a_i$$

Fuerza sobre la viga del lado de sotavento:

$$F_{II} = \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra} C_{n,\infty}\} k_{red} N \sum a_i$$

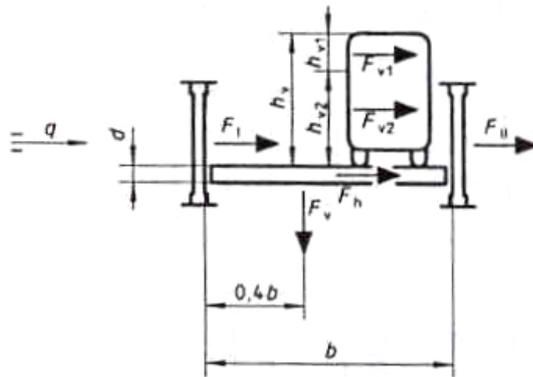
Fuerza horizontal sobre la losa del puente:

$$F_h = 1,0 \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra}\} d \cdot l_B$$

Fuerza vertical sobre la losa del puente:

$$F_v = 0,6 \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra}\} b \cdot l_B$$

Caso 7.2: Con vehículos



Acción del viento sobre un puente con vehículo

l_v = longitud del vehículo

h_{v1} = altura del vehículo sobre el nivel de la armadura

h_{v2} = altura de la armadura sobre el nivel de la losa del puente

$$A_1 = h_{v1} \cdot l_v$$

$$A_2 = h_{v2} \cdot l_v$$

Fuerza sobre la viga del lado que sopla en viento (barlovento):

$$F_I = \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra} C_{n,\infty}\} k_{red} \sum a_l$$

Fuerza sobre la viga del lado se sotavento:

$$F_{II} = \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra} C_{n,\infty}\} k_{red}^N \sum a_l$$

Fuerza horizontal sobre la losa del puente:

$$F_h = 1,2 \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra}\} d \cdot l_B$$

Fuerza vertical sobre la losa del puente:

$$F_v = 0,8 \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_{ra}\} b \cdot l_B$$

Cargas de transporte:

$$F_{v_1} = \{q_{10} C_t C_s C_h C_r C_n\} A_1$$

$$F_{v_2} = \left\{ \frac{2}{3} q_{10} C_t C_s C_h C_r C_n \right\} A_2$$

Tipo de tráfico del puente	h_v (m)	C_n
Ferrovionario	3,8	1,5
Automotor(carretera)	3	1,2
Peatonal	1,7	1,0

14 Cálculo dinámico de la carga de viento

14.1 Requerimientos del cálculo dinámico

La carga de viento sobre edificios y obras debe determinarse como la suma de las componentes estáticas y dinámicas. La componente estática de la carga de viento es la que corresponde al valor medio de la velocidad del viento, la cual es determinada con un intervalo de recurrencia y tiempo de promediación dado, el cual es fijado a partir de estudios estadísticos de la variable extremal considerada.

La componente estática de la carga de viento debe ser considerada en todos los casos.

La componente dinámica de la carga de viento es la que corresponde al valor de la componente fluctuante de la velocidad del viento. Su magnitud depende en gran medida a la respuesta dinámica de la estructura debido a las pulsaciones provocadas por el viento.

Teóricamente, la componente dinámica de la carga de viento es necesaria considerarla en el cálculo de todas las construcciones. Sin embargo, teniendo en cuenta los resultados alcanzados en investigaciones desarrolladas en diferentes países, se puede concluir que:

La componente dinámica de la carga de viento debe ser considerada en obras y estructuras con períodos de oscilaciones propias mayores de **T= 1,0 s**, como ocurre en: torres, chimeneas, postes de transmisión, mástiles; en edificios altos.

14.2 Cálculo de comprobación para resonancia

Para obras altas de forma cilíndrica (chimeneas, mástiles y otras) debido a las turbulencias que se producen en los alrededores de estas, se hace necesario realizar una comprobación ante el efecto de la resonancia, que surge cuando la frecuencia de las velocidades de los vientos que actúan sobre la estructura, coincide con la frecuencia de las oscilaciones propias de la obra que tienen lugar en la dirección transversal a la corriente del viento.

NOTA: En estructuras prismáticas esbeltas con determinadas velocidades del viento pueden surgir oscilaciones transversales a la corriente, relacionadas con el fenómeno de la inestabilidad aerodinámica. Las indicaciones en cuanto al cálculo y las medidas para disminuir las oscilaciones de tales estructuras, se deben establecer en base a los resultados de los ensayos aerodinámicos desarrollados en túnel de viento.

14.3 Cálculo dinámico

14.3.1 Los valores normativos de la componente dinámica de la carga de viento deben determinarse para cada forma de oscilación de la obra a partir de un esquema de fuerzas inerciales aplicadas sobre las masas concentradas en las cuales se haya subdividido la obra según el método adoptado. (véase la Figura 14).

NOTA: El esquema b de la figura 14 se recomienda utilizar en estructuras tipo chimeneas o torres y el esquema c para el caso de edificios.

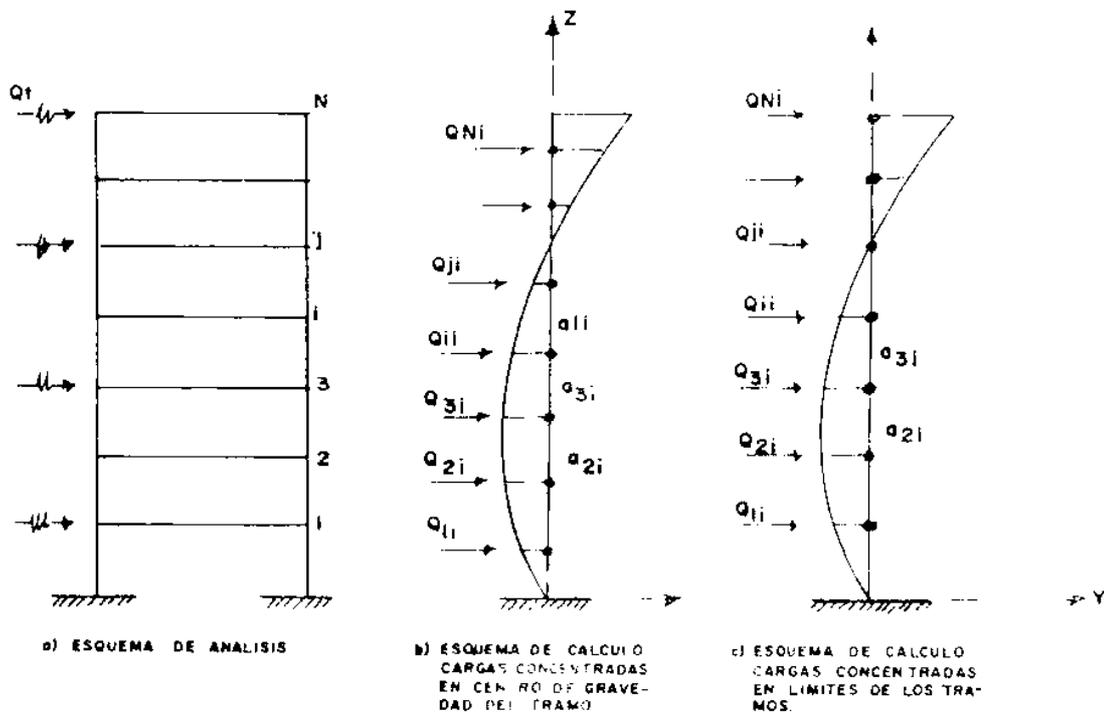


Figura 14 — Algunos esquemas utilizados en el cálculo dinámico debido al viento

14.3.1.1 En la tabla 12 se establece la clasificación de los sistemas estructurales para el caso de cargas laterales debido al viento. A partir de esta clasificación se seleccionan las fórmulas empíricas para la determinación del período fundamental de oscilaciones en edificios según el tipo de sistema estructural.

Tabla 12 — Clasificación de los sistemas estructurales

TIPO	SISTEMA ESTRUCTURAL
I	<ul style="list-style-type: none"> Estructuras de hormigón armado cuyos pórticos dúctiles espaciales en ambas direcciones (X,Y) resistan el 100% de la fuerza horizontal considerándose que actúan independientemente de cualquier otro elemento rígido. Estructuras de pórticos de acero
II	<p>Estructuras de hormigón armado con pórticos dúctiles espaciales y diafragmas de rigidez espaciales en ambas direcciones (X,Y) diseñados según los siguientes criterios:</p> <p>a) Los pórticos y diafragmas de rigidez resistirán la fuerza considerando la interacción entre pórticos y diafragmas de rigidez.</p> <p>b) los pórticos tendrán una capacidad para resistir no menos del 25% de la fuerza horizontal, actuando independientemente.</p>
III	<ul style="list-style-type: none"> Estructuras de hormigón armado constituidas por diafragmas de rigidez ó pórticos diagonalizados que resisten el 100 % de la fuerza horizontal. Estructuras del tipo II cuyos pórticos no tienen capacidad para resistir el 25 % de la fuerza horizontal pero contribuyen a resistir las cargas gravitacionales. Estructuras de madera ó acero no incluidos en otros casos
IV	Estructuras de grandes paneles.
V	Estructuras de muros de mampostería reforzada.
VI	Estructura de muros de mampostería confinada con refuerzo interior.
VII	<ul style="list-style-type: none"> Estructura de muros de mampostería sin confinar, construcciones de adobe y otras no contempladas en esta clasificación. Estructuras que actúan esencialmente como voladizos aislados, libres o articulados en su extremo superior y empotrado en la base que resisten la fuerza lateral con una o varias columnas tales como tanques elevados chimeneas y silos. Estructuras que no posean diafragmas horizontales con la rigidez y resistencia necesarias para distribuir eficazmente las fuerzas sísmicas entre los diversos miembros verticales. Estructuras cuyo sistema sismo resistente consiste en pórticos rígidos formados por elementos prefabricados que no tengan secciones capaces de deformarse inelásticamente en ambas direcciones (X,Y). Otras estructuras no contempladas en esta clasificación.

La fuerza de inercia aplicada sobre la “j” ésima masa en el “i” ésimo modo de oscilaciones propias de la obra, se determina por la fórmula:

$$Q^N = M_J \cdot C_1^D \cdot C_{CE} \cdot N_{Ji} \quad [kN]$$

donde:

M_j "j" ésima masa concentrada en kg.

C_i^D coeficiente dinámico del modo "i" ésimo.

N_{ji} aceleración reducida de la "j" ésima masa, m/s^2 .

C_{CE} Coeficiente que tienen en cuenta la correlación espacial de las pulsaciones según la altura y fachada del edificio.

14.3.2 El coeficiente dinámico C_i^D se determinará de acuerdo al gráfico de la figura 15 ó Tabla 14 y es función del período adimensional E_i y del decremento logarítmico d_L que depende del tipo de obra.

$$E_i = \frac{T_i \cdot V}{1200}$$

donde:

T_i período de la "i" ésima forma de oscilaciones propias, el cual se calcula según los métodos de la dinámica de las estructuras o por fórmulas empíricas aquí establecidas, en segundos.

V la velocidad de cálculo del viento (m/s), según la siguiente expresión:

$$V = 40 \sqrt{\gamma_s q_{10}^D C_t}$$

donde:

C_t coeficiente de recurrencia

γ_s coeficiente de carga según la norma de hormigón.

q_{10}^D presión básica del viento en kN/m^2 para un intervalo de promediación de una hora (3600 s), el cual es función del tipo de terreno y de la zona en la cual va a estar situada la obra, según la tabla 13.

Tabla 13 — Presiones básicas dinámicas kN/m^2 (kgf/m^2)

Tipos de terreno	Zona I	Zona II	Zona III
A	0,95(95)	0,50(50)	0,45(45)
B	0,80(80)	0,45(45)	0,45(45)
C	0,75(75)	0,45(45)	0,45(45)

14.3.2.1 Período fundamental de vibración del edificio

El valor del período fundamental de vibración del edificio **T** debe obtenerse a partir de las propiedades del sistema estructural de resistencia lateral del mismo en la dirección de análisis de acuerdo a los principios de la dinámica estructural, suponiendo que el edificio está empotrado en la base (ó articulado con vigas de arriostre) y con un comportamiento linealmente elástico de la estructura. El valor de **T** no puede ser mayor de 1.2Ta donde **Ta** es el período fundamental de vibración aproximado el cual se determina por las siguientes fórmulas:

a) Para estructuras Tipo I

- Pórticos de Acero simétricamente arriostros.

$$T_a = 0.085 h_n^{3/4}$$

- Pórticos de Hormigón y pórticos de acero excéntricamente arriostros.

$$T_a = 0.073 h_n^{3/4}$$

b) Para estructuras Tipo II, III

$$T_a = \frac{0.09 h_n}{\sqrt{L}}$$

c) Para estructuras Tipo IV, V, VI, VII

$$T_a = \frac{0.05 h_n}{\sqrt{L}}$$

donde:

h_n : altura del edificio medida desde el nivel de base, hasta el último nivel significativo, en metros

L : mayor dimensión de la planta en la dirección analizada en metros

Para verificar si el período fundamental de vibración del edificio **T** no es mayor en un 20% que el período fundamental de vibración aproximado **Ta** recomendamos la siguiente fórmula que introduce las propiedades de la estructura y las características deformacionales de sus elementos resistentes.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \delta_i}} \quad \text{donde: } F_i = \frac{(Q - F_t) \cdot W_i h_i}{\sum_{k=1}^n W_k h_k}$$

W_i, W_k = peso del nivel "i" ó "k" respectivamente en kN, según los criterios establecidos en el apartado 6.3.1 de la NC 46.

δ_i = desplazamiento lateral del nivel i producidas por las fuerzas F_i en metros

F_i = fuerza lateral en el nivel i determinada mediante una fuerza cortante en la base arbitraria en kN.

g = aceleración de la gravedad en $m / seg.^2$ ($9.81 m / seg.^2$)

n = número de niveles.

Q = es la fuerza cortante arbitraria de la base en kN

h_i, h_k = alturas medidas desde la base al nivel "i" ó "k" respectivamente en m.

F_t = fuerza horizontal adicional concentrada en el último nivel del edificio que se determina mediante la siguiente fórmula:

$$F_t = 0,07 T Q$$

El valor de F_t no será mayor de $0,25 Q$ y será nulo cuando el período fundamental de vibración sea menor o igual a 0,7 segundos.

Período para chimeneas de sección variable (fórmula aproximada)

$$T = K \cdot H^2 \sqrt{\frac{G}{g \cdot E \cdot I}}$$

donde:

T: período fundamental de la chimenea de sección variable, s.

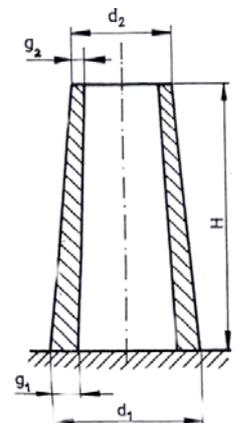
G: peso por unidad de longitud, kN/m.

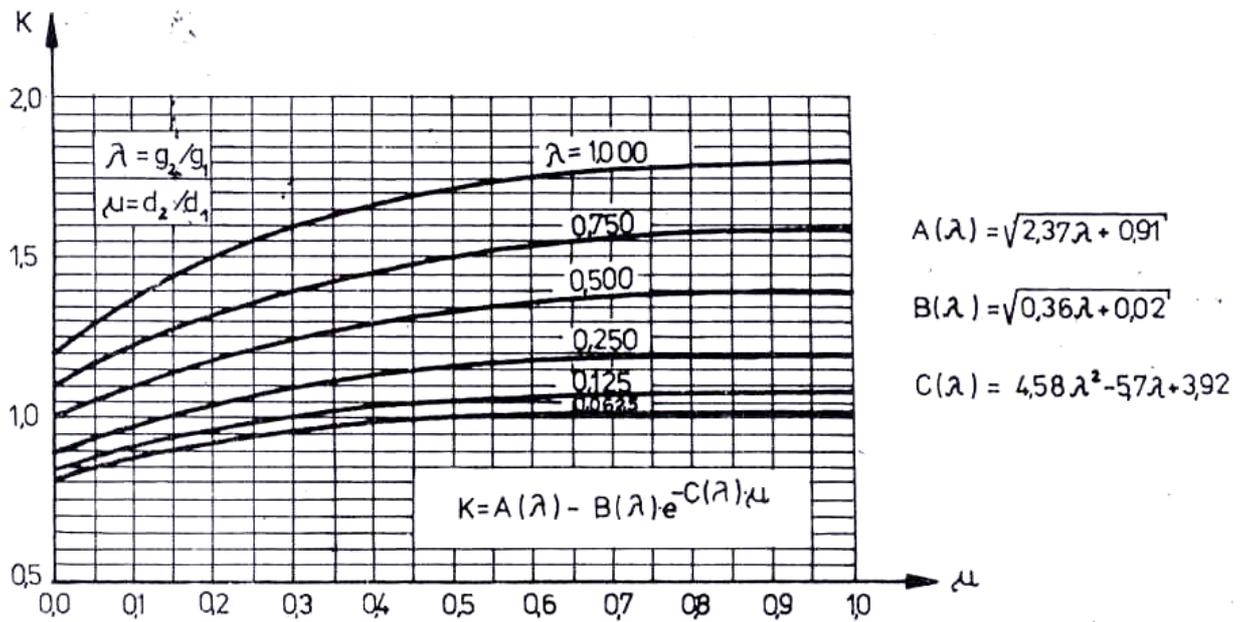
I: momento de inercia de la sección de la base en m^4 .

g = $9,81 m/s^2$ (aceleración de la gravedad).

K: coeficiente que se obtiene del siguiente gráfico en función de los espesores y diámetros de la chimenea (λ, μ).

E: módulo de elasticidad, kN/m^2





Para $d_1 = d_2$ y $g_1 = g_2$ la expresión toma la siguiente forma simplificada:

$$T = 1,79 \cdot H^2 \sqrt{\frac{G}{g \cdot E \cdot I}}$$

Tabla 14 — Valores del coeficiente dinámico para $E_1 > 0,2$

E_1	C_1^D		
	$d_L=0,05$	$d_L=0,15$	$d_L=0,30$
0,25	4,96	2,93	2,13
0,30	5,17	3,04	2,20
0,40	5,44	3,18	2,28
0,45	5,52	3,21	2,30
0,50	5,57	3,23	2,30

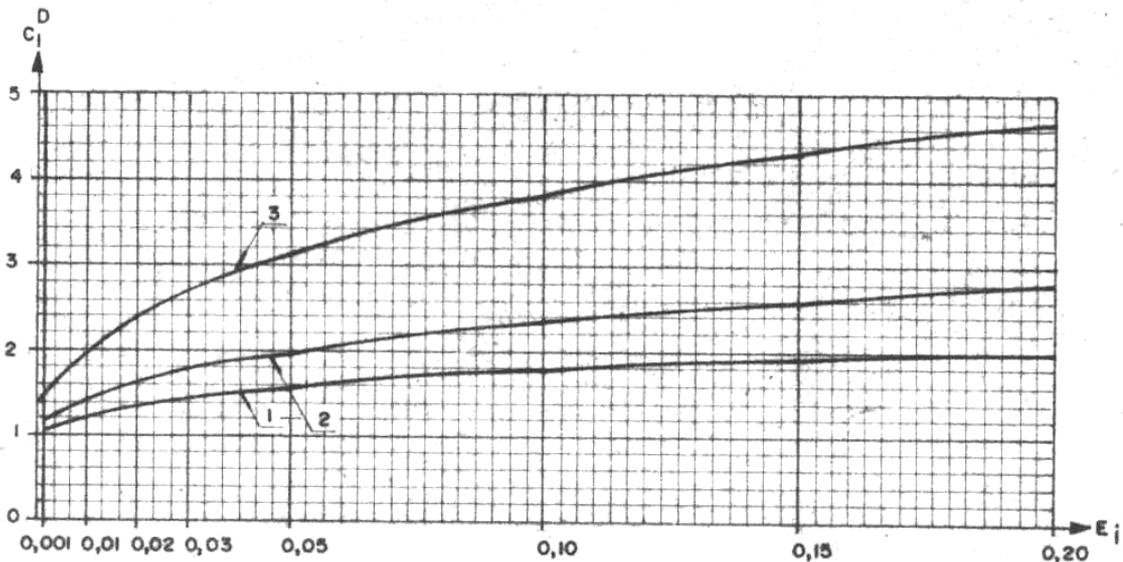


Figura 15 — Coeficiente dinámico (c_i^d)

NOTA: Curva 1: para obras de hormigón armado y de mampostería, así como también para edificios con un armazón de acero en caso de existir estructuras de cierre, con un decremento logarítmico, d_L igual a 0,30.

Curva 2: para torres de acero, mástiles, chimeneas, instalaciones tipo columnas, incluyendo las situadas sobre una base de hormigón armado, con d_L igual a 0,15.

Curva 3: para elementos aislados de estructuras de acero teniendo al mismo tiempo en cuenta las oscilaciones de resonancia en concordancia con los señalamientos de los apartados 14.5.3; 14.5.4 y la componente dinámica de la carga del viento en la dirección del viento, con d_L igual a 0,05.

14.3.3 La aceleración reducida N_{JI} se calculará según la fórmula:

$$N_{JI} = \frac{a_{JI} \sum_{k=1}^n a_{kI} \cdot Q^E \cdot d_k}{\sum_{k=1}^n a_{kI}^2 \cdot M_k} \quad [m/s^2]$$

donde:

M_k masa de la parte k, en kg.

a_{JI}, a_{kI} ordenadas relativas correspondientes a las masas concentradas "j" y "k" en el "i" ésimo modo de oscilación propia.

- Q^E carga estática normativa concentrada aplicada sobre la masa M_k , calculada utilizando las q_{10}^D de la tabla 13 y de acuerdo con el capítulo 7, sin considerar el coeficiente de ráfaga, en kN.
- n número de partes (masas) en que se divide la obra.
- d_k coeficiente de las pulsaciones de la velocidad del viento en la altura z , de la masa "k", según la tabla 15.

Tabla 15 — Coeficientes de las pulsaciones de la velocidad del viento

Tipos de terreno	Altura sobre el terreno, en metros.						
	Hasta 10	20	40	60	100	200	≥ 350
A	0,60	0,55	0,48	0,46	0,42	0,38	0,35
B	0,88	0,75	0,65	0,60	0,54	0,46	0,40
C	1,75	1,40	1,10	0,97	0,82	0,65	0,54

14.3.4 El coeficiente que tiene en cuenta la correlación espacial del viento C_{CE} , se toma de acuerdo a la tabla 16 para las construcciones tipo voladizo, considerándose sólo para la primera forma de oscilaciones propias. En aquellos casos cuando para las construcciones de tipo torre se hace necesario considerar formas superiores de oscilaciones propias el coeficiente C_{CE} , se toma con el valor de uno (1), ya que el aporte de las formas superiores en semejantes construcciones es poco en comparación con el de las formas propias fundamentales.

Tabla 16 — Primera tabla del coeficiente de correlación espacial.

E_i	Altura de la obra en metros.						
	30	45	60	120	150	300	≥ 450
0,01	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,45	0,40
0,05	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,45	0,40
0,10	0,85	0,80	0,75	0,65	0,60	0,50	0,40
0,20	0,90	0,85	0,85	0,75	0,70	0,60	0,50

Para los edificios de planta rectangular y cuadrada tipo torre con núcleos rígidos coincidentes con el centro de masa, la correlación espacial de las pulsaciones longitudinales debe considerarse no sólo según la altura del edificio, sino también a lo largo de la fachada.

En este caso el coeficiente C_{CE} , que toma en cuenta la correlación de la pulsación de la velocidad del viento según la altura y frente del edificio se toma de las tablas 17 ó 18 según la relación B/H. En el caso de que el edificio tenga una relación B/H < 0,20 se considera el coeficiente de correlación de las pulsaciones C_{CE} según la tabla 17.

Tabla 17 — Segunda tabla del coeficiente de correlación espacial

E_i	Altura del edificio en metros.		
	50	90	120
0,05	0,68	0,63	0,60
0,10	0,75	0,70	0,65
0,20	-	-	0,75

En el caso en que $0,20 \leq B/H \leq 0,50$ el coeficiente C_{CE} se tomará de la tabla 18.

Tabla 18 — Tercera tabla del coeficiente de correlación espacial

Relación de la longitud de la zona de Barlovento (B) con la altura (H)	E_i	Altura del edificio en metros.				
		30	40	50	90	130
0,20	0,01	-	-	0,57	0,51	0,48
	0,05	-	-	0,53	0,44	0,40
	0,10	-	-	0,59	0,48	0,42
0,50	0,01	0,57	0,54	0,52	0,46	0,42
	0,05	0,53	0,48	0,46	0,38	0,35
	0,10	0,59	0,53	0,50	0,39	0,35

Para edificios alargados en planta, en calidad de esquema de cálculo se toma un sistema de barras (pórticos de entramados, combinados) cuya rigidez total es igual a la suma de las rigideces de los sistemas planos que componen el piso o nivel. La masa M_j concentrada en los nudos de la fila "j" del sistema, es igual a la masa del entrepiso "j" incluyendo en su masa todas las instalaciones distribuidas en el entrepiso y además la semisuma de las masas de las columnas del nivel "j" y el "k".

La carga de viento en edificios alargados, pisos abiertos y semiabiertos (con los pisos inferiores cerrados) con instalaciones tecnológicas distribuidas sobre ellos, se determinará como se plantea en los apartados 14.3.1 a 14.3.4 para las direcciones del viento perpendicular al eje longitudinal de los pisos y coincidente con su eje longitudinal. El coeficiente de correlación C_{CE} se toma de la tabla 19.

Tabla 19 — Cuarta tabla del coeficiente de correlación espacial

B/H	E_i	Altura del edificio en metros.				
		30	40	50	90	120
1	0,01	0,53	0,49	0,47	0,40	0,36
	0,05 ó más	0,47	0,42	0,40	0,33	0,30
2	0,01	0,47	0,43	0,41	0,33	0,30
	0,05 ó más	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24
3	0,01	0,43	0,39	0,37	0,29	0,26
	0,05 ó más	0,36	0,32	0,30	0,24	0,21

Si las masas de los pisos y las rigideces de las columnas no se diferencian en más de un 20 % , se permite determinar la carga del viento sobre los pisos por la fórmula del epígrafe 14.3.7 considerándose el coeficiente C_{CE} de la tabla 19 y K_V por la tabla 20.

Naves Industriales donde se requiera cálculo dinámico

Para el caso de naves industriales de una planta y de una luz el esquema de análisis se tomará como una barra en voladizo empotrada en su base con la masa de la cubierta, M concentrada en su extremo superior (centro de gravedad de la cubierta) y la masa de las columnas y paredes, vigas de puente grúas y plataformas unidas a las columnas, distribuidas según la altura de la nave.

La masa concentrada de las vigas de puente grúa en el nivel de la vía de la grúa, así como la masa concentrada de las superficies unidas a las columnas de la nave se lleva a una masa equivalente distribuida m_E , en toda la altura del puntal.

En este caso, sobre la masa M de la cubierta actúa de forma concentrada la componente dinámica de la carga de viento determinada por la fórmula :

$$Q_n^D = \frac{0,4 M H q^E(H) C_{CE} C^D d_k}{M + m_E (H/3)}$$

Y además a lo largo de la barra actúa una carga lineal distribuida triangular de la componente dinámica de la carga de viento, cuya ordenada en el nivel de la masa M puede ser determinada por la fórmula anterior, sustituyendo en el numerador la masa M , por la masa equivalente m_E , aquí $q^E(H)$ y d_k es el valor correspondiente a la componente estática normativa de la carga de viento y el coeficiente de la pulsación de la velocidad del viento al nivel del extremo superior del edificio industrial, los mismos se obtienen de las tablas 13 y 15 respectivamente. El coeficiente de correlación C_{CE} de la tabla 18.

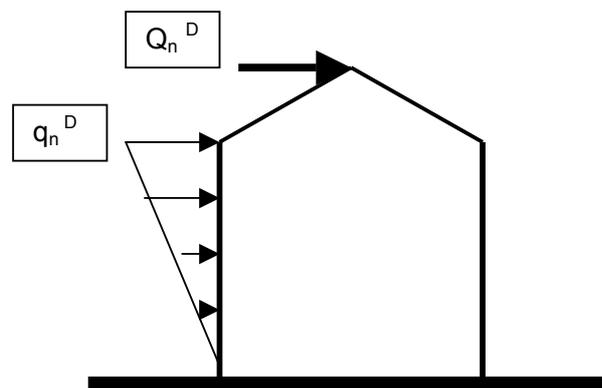


Figura 16 — Cargas dinámicas equivalentes en una nave industrial

El coeficiente C_f para $q^E(H)$ se tomará igual a + 0,8.

14.3.5 En la determinación de la carga de viento en construcciones de tipo torres, chimeneas, instalaciones tipo columna y niveles abiertos se permite tener en cuenta solamente la primera forma de oscilaciones propias.

La necesidad de considerar las formas superiores de las construcciones altas tipo voladizo, se establece en cada caso en dependencia del esquema de cálculo tomado y de la distribución de las masas y rigideces según la altura de la construcción.

14.3.6 El valor normativo de la componente dinámica de la carga de viento Q^D para las obras con la masa y la carga de viento reducida a su punto superior (tanques de agua elevados, galerías de transportación y otras) se definirá por la siguiente fórmula:

$$Q^D = Q^E \cdot C_{CE} \cdot C^D \cdot d_K \quad [\text{kN}]$$

donde:

Q^E componente estática de la carga de viento reducida al punto superior sin considerar el coeficiente de ráfaga, en kN.

C_{CE} , C^D , d_K tienen los mismos significados que para los apartados anteriores determinados para el extremo superior de la obra, según las tablas 15, 16 y la figura 15 ó tabla 14 respectivamente.

14.3.7 El valor normativo de la componente dinámica de la carga de viento q^D en kN/m^2 para construcciones con una distribución uniforme de la masa y una rigidez constante, según la altura y bajo la consideración de sólo la primera forma de oscilaciones propias, se calculará por la fórmula:

$$q^D = q^E(H) \cdot K_V \cdot C_{CE} \cdot C^D \cdot d_K \quad [\text{kN/m}^2]$$

donde:

$q^E(H)$ valor de la componente estática de la carga de viento a nivel de la parte superior de la obra, sin considerar el coeficiente de ráfaga, en kN/m^2 .

K_V coeficiente que tienen en cuenta la forma de oscilaciones propias de la estructura y carácter de la variación del coeficiente de pulsaciones, según la altura y los valores se toman de la tabla 20.

C_{CE} , C^D , d_K tienen los mismos significados que para el apartado 14.3.6.

Tabla 20 — Coeficientes K_v

Z/H	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Para obras	0,04	0,12	0,23	0,35	0,52	0,69	0,88	1,09	1,32	1,56
Edificios	0,34	0,52	0,66	0,79	0,90	1,00	1,10	1,19	1,28	1,36

NOTA: En esta tabla **H** representa la altura del edificio (obras) y **Z** la distancia desde la superficie del terreno hasta la sección que se analiza.

14.4 Cálculo de las solicitaciones y desplazamientos.

Las solicitaciones y los desplazamientos de la estructura bajo la acción de las cargas de viento, se determinan de forma independiente, debido a la componente estática y la dinámica, correspondiente a cada una de las formas de oscilaciones y se suman para encontrar las resultantes.

Los desplazamientos dinámicos de cálculo de las construcciones altas se pueden determinar aproximadamente por la siguiente fórmula:

$$y^D = \left(\frac{\sum_{i=1}^S N_{JI}^2 C_I^{D^2} C_{CE}^2}{\omega_I^4} \right)^{1/2}$$

donde:

ω_i "i" ésima frecuencia de oscilaciones propias de la estructura ($\omega_i = 2 \pi / T_i$)

T_i y los restantes coeficientes tienen el mismo significado que en el apartado 14.3.

Las solicitaciones de cálculo totales (momentos, cortantes y otras) de la estructura sometida a las cargas de viento se determinan por la fórmula:

$$X_v^* = \gamma_s X^E + \left[\sum_{i=1}^S (X_i^D)^2 \right]^{1/2}$$

donde:

X_v^* valor de la solicitación (momento flector, fuerza cortante, fuerza axial y otras) de cálculo total debido al efecto de las cargas de viento.

X^E valor de la solicitación debido a la componente estática de la carga de viento según el apartado 7.2.

X^D valor de la solicitación debido a la componente dinámica de la carga de viento según el apartado 14.3.

S número de modos de oscilaciones que se tienen en cuenta en el cálculo.

γ_s coeficiente de mayoración según la norma de hormigón estructural.

14.4.1 Las solicitaciones de cálculo debido al viento se combinan con las restantes solicitaciones de cálculo en una sección de interés, según la norma de hormigón estructural.

14.4.2 Cargas parciales y cargas torsionales

Para tomar en cuenta los efectos de las cargas no uniformes y/o torsionales debido a las ráfagas pasajeras del viento en algunos edificios, estos deberán ser diseñados tanto para los casos de cargas parciales como para las cargas completas. Pues algunas estructuras, tales como algunos tipos de sistemas de cubierta en forma de arco, experimentan grandes tensiones bajo cargas parciales. Los edificios deberán ser chequeados contra cargas parciales que puedan producir efectos de torsión. Los efectos torsionales se amplifican cuando el centro de torsión tiene una excentricidad con relación al centro de gravedad (cargas inerciales) o con relación al centroide (carga de viento, completa o parcial).

Normalmente las cargas de viento se consideran actuando en un plano medio a lo largo de los ejes principales. Sin embargo, en algunos sistemas estructurales, se pueden inducir efectos más severos cuando la resultante de las cargas de viento actúa próxima a la diagonal del edificio. Para tomar en cuenta esto, así como también, la tendencia adicional de las estructuras a oscilar lateralmente a la dirección del viento, deberán analizarse según lo establecido en el apartado 11.2 de esta norma.

14.5 Comprobación de la resonancia.

14.5.1 Cuando las obras de sección transversal de forma circular se encuentran en un flujo de viento, en el sentido perpendicular a la dirección del viento, se producen oscilaciones que pueden ser de un orden tal que pueden producir el fenómeno de la resonancia en la misma. Las oscilaciones producidas pueden ser interpretadas como una carga dinámica que repercute sobre la obra en forma de deformaciones y solicitaciones.

Esta oscilación de resonancia aparece durante la velocidad crítica del viento V_{CRI} , correspondiente a la "i" ésima forma de oscilación de la estructura, dicha velocidad se determina por la siguiente fórmula:

$$V_{CRI}(i) = \frac{d}{T_i S_N} = \frac{5 d}{T_i}$$

donde:

T_i período de oscilaciones propias de la obra según la "i" ésima forma de oscilación, s.

S_N número de Strouhal de la sección transversal (para sección circular $S_N = 0,2$).

d es el diámetro o lado de la estructura, (m).

Para estructuras con pequeña conicidad (con inclinación no mayor de 0,01) se tomará el diámetro de su sección a una distancia de 2/3 de su altura.

14.5.2 El chequeo de la estructura a la resonancia se realizará si la V_{CRI} se encuentra en el intervalo de 5 m/s hasta 25 m/s.

Las estructuras con forma cilíndrica cuya sección transversal no es circular necesitan un chequeo especial en túnel de viento.

14.5.3 La carga dinámica equivalente, producto de las oscilaciones resonantes en el sentido perpendicular de la dirección del viento, en la "i" ésima forma de vibración, $u_T(i)$, se establece como una carga variable y continua que actúa horizontalmente a todo lo largo del objeto.

El valor normativo de la carga aerodinámica $Q_T(z,i)$ en el nivel z se determina por la fórmula:

$$Q_T(z,i) = \frac{V_{CRI}^2(i)}{1,6 \cdot 10^3} C_f \cdot d \cdot \frac{u(z,i)}{U(i) \max} \quad [\text{kN/m}]$$

donde:

$V_{CRI}(i)$ según el apartado 14.5.1 en m/s.

C_f coeficiente de forma de la presión transversal (succión) cuyos valores se encuentran entre 1,0 y 0,2 en dependencia del número de Reynolds, según la figura 17.

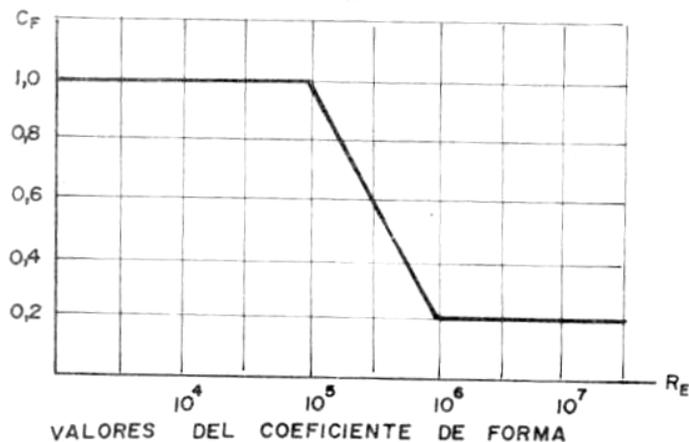


Figura 17— Valores del coeficiente de forma transversal

El número de Reynolds viene dado por la expresión:

$$R_E = 0,687 \cdot V_{CRI}(i) \cdot d \cdot 10^5$$

d diámetro de la estructura en metros.

$U(z,i)$ valor del desplazamiento horizontal de la obra durante la "i" ésima forma de oscilación en el

nivel z, se determina mediante un cálculo dinámico de la estructura.

U(i) max valor máximo del desplazamiento horizontal de la obra en la “i” ésima forma de oscilación, por lo que:

$$a(z,i) = \frac{U(z,i)}{U(i) \max}$$

es la ordenada relativa en el nivel z en la “i” ésima forma de oscilaciones propias.

La carga establecida de esta forma es necesario considerarla como la amplitud de una carga armónica variable que actúa en resonancia en la “i” ésima forma de oscilaciones propias.

14.5.4 Las solicitaciones y desplazamientos de la obra debido al fenómeno de la resonancia en el nivel z para la “i” ésima forma de oscilaciones propias se determina por la fórmula:

$$S_{RES}(z,i) = \frac{\pi \cdot 10^3}{d_L} \cdot \frac{S_T(z,i)}{\omega_i^2} \cdot \frac{\int_{z_1}^{z_2} Q_T(z,i) \cdot u(z,i) \cdot dz}{m_i}$$

donde:

S_T(z,i) valor de la solicitación buscada durante las oscilaciones en la “i” ésima forma en el nivel z, para los desplazamientos horizontales se toma S_T(z,i) = u(z,i).

z₁ nivel de la parte inferior cilíndrica de la obra.

z₂ nivel de la parte superior cilíndrica de la obra.

Q_T(z,i) · u(z,i) tienen el mismo significado que en el apartado 14.5.3

d_L decremento logarítmico en las oscilaciones de la estructura según la tabla 21:

Tabla 21 — Valores del decremento logarítmico según el tipo de construcción

Tipo de construcción	Decremento logarítmico (d _i)
a) para obras de hormigón armado y mampostería.	0,30
b) para estructuras de hormigón pretensado.	0,20
c) para mástiles y chimeneas de acero revestidas con ladrillos, estructuras remachadas, atornilladas y revestidas.	0,10 hasta 0,15
d) para estructuras de acero aisladas.	0,025 hasta 0,05
e) para obras y estructuras de acero.	0,05

ω_i frecuencia circular de las oscilaciones libres de la estructura en la “i” ésima forma de oscilación según apartado 14.4.

m_i es la masa reducida según el caso por las siguientes expresiones:

$m_i = \int \int_{HB} m(x,z) \cdot u^2(x,z,i) \cdot dx \cdot dz$ para el caso que la masa de la estructura venga distribuida por unidad de área (t/m^2).

$m_i = \int^H m(z) \cdot u^2(z,i) \cdot dz$ para el caso que la masa de la estructura está distribuida por unidad de longitud (t/m).

$m_i = \sum_{j=1}^N M_j \cdot u^2(z,i)$ para el caso que la masa de la estructura está concentrada en N tramos. M_j tiene el mismo significado que en el apartado 14.3.3 en toneladas

14.5.5 La componente estática normativa de la carga de viento Q^E (kN/m^2) correspondiente a la velocidad crítica del viento V_{CRI} , durante la "i" ésima forma de oscilación propia se considera constante para toda la altura de la obra y se determina por la fórmula:

$$Q^E = \frac{V_{CRI}^2}{1,6 \cdot 10^3} \cdot C_f$$

donde:

V_{CRI} tiene el mismo significado que en el apartado 14.5.1.

C_f el coeficiente de forma según el gráfico de la tabla 10, caso 3 en función del número de Reynolds (R_E).

14.5.6 La componente dinámica normativa de la carga de viento Q^D correspondiente a la velocidad crítica del viento V_{CRI} durante la "i" ésima forma de oscilaciones de la obra se determinará según los apartados del 14.3.1 hasta el 14.3.7 considerando la velocidad de cálculo del viento como la velocidad crítica. En este caso el coeficiente dinámico C_i^D se tomará según la curva 2 de la figura 15.

14.5.7 Las solicitaciones de cálculo resultantes de la obra debido a la acción conjunta de las componentes estáticas y dinámicas de las cargas de viento en el nivel z durante la resonancia debido a las oscilaciones transversales se determinan según la fórmula:

$$S(z) = \{ [S_{RES}(z)]^2 + [S_{EST}(z) + S_{DIN}(z)]^2 \}^{1/2}$$

donde:

$S(z)$ sollicitación resultante (momento flector, cortante, desplazamiento y otros) en el nivel z en la "i" ésima forma de oscilaciones.

- $S_{RES}(Z)$ solicitud debido a la oscilación transversal según apartado 14.5.4.
- $S_{EST}(Z)$ solicitud debido a la componente estática de la carga de viento durante la velocidad crítica según apartado 14.5.5.
- $S_{DIN}(Z)$ solicitud debido a la componente dinámica de la carga de viento durante la acción de la velocidad crítica según apartado 14.5.6.

14.5.8 Las solicitudes obtenidas según el apartado 14.5.7 se comparan con las obtenidas según los apartados 14.3 y 14.4 y se determina cual es la más desfavorable. Nunca podrán ser combinadas pues cada una define un fenómeno físico distinto.

15 Vientos no extremos

Los vientos no huracanados, que no corresponden a los extremos generados durante la ocurrencia de ciclones, huracanes y tornados son los que se consideran como vientos no extremos.

Las causas de dichos vientos no extremos pueden ser diversas como por ejemplo, turbonadas de verano, frentes fríos y otras, se pueden considerar con un período de recurrencia pequeño, menos de 25 años y están presentes con mayor o menor intensidad durante un por ciento grande de los días del año, no destacándose por su traslación atmosférica, tal como sucede con los ciclones y huracanes.

15.1 Utilización

Los proyectistas analizarán la combinación de los vientos no extremos con otras cargas de uso, como por ejemplo: cargas de puente grúa, grúas torres en servicio y otras.

Lo anterior no exime del análisis de la combinación con el viento extremo de las cargas del puente grúa parado o en servicio, según la tecnología particular.

15.2 La presión básica total de los vientos no extremos será la única carga de viento a utilizar para edificaciones y obras con características bien definidas de provisionalidad.

15.3 Presión básica total

La presión básica total será constante para cualquier altura, sitio y topografía e igual a **0,50 kN/m² (50 kgf/m²)**.

Al utilizar este valor para determinar las cargas de viento solamente se considerará el coeficiente de forma y ningún otro más, pues están incluidos en la misma. Tampoco se considerará el coeficiente de reducción por área expuesta.

Bibliografia

- ISO 4354: 1997 Wind action on structures.
- E.U.A, ASCE 7 – 98. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- Polonia, PN /B – 02011