

## Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones

### Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

Esta norma establece la forma en que debe considerarse la acción del viento para el cálculo de construcciones.

En el estudio de esta norma se han tenido a la vista, entre otros documentos los siguientes:

ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN, AIJ Structural Standard.

BUILDING CODE (Lateral Forces), San Francisco, California.

A.C., DAVENPORT, Design Factor for Avaluating the Dynamic Action of Wind on Structures, anexo a las nuevas normas escandinavas sobre empuje del viento.

DEUTSCHER NORMENAUSSCHUSS, DIN 1055 Lastannahmen im Hochbau, Verkehrslasten, Wind Last.

Enciclopedia Larouse.

INSTITUT BELGE DE NORMALISATION, Action du vent sur les constructions.

INSTITUTO HIDROGRAFICO DE LA ARMADA DE CHILE, Boletines.

I.M. LORENTE, Meteorología.

MINISTERE DE LA RECONSTRUCTION ET DE L'URBANISME DE FRANCE, Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions.

El Comité "*Acción del viento*" de la Especialidad "*Arquitectura y Construcción*" inició el estudio en Agosto de 1958 y le dio término en Julio de 1971. Este Comité estuvo integrado durante su funcionamiento por las entidades y personas siguientes:

NCh432

Industria Azucarera Nacional S.A., IANSA

Arturo Cifuentes  
Germán Frugone

Instituto de Investigaciones y Ensayes  
de Materiales de la Universidad de  
Chile, IDIEM  
Instituto Nacional de Investigaciones  
Tecnológicas y Normalización, INDITECNOR  
Laboratorio de Estructuras, Escuela de  
Ingeniería  
Ministerio de Obras Públicas  
Sociedad Industrial Pizarreño S.A.

Ernesto Gómez G.

Julio Ibáñez V.

Joaquín Monge E.  
Mauricio Froimovich  
Luis Matte H.  
Carlos Sinclair U.  
Federico Schmidt

Sociedad Minera El Teniente S.A.

Durante el plazo de consulta de esta norma el Instituto recibió comentarios y observaciones de las entidades y personas siguientes:

Cemento Cerro Blanco de Polpaico S.A.  
Gildemeister S.A.C.  
Soc. Industrial Pizarreño S.A.  
Carlos J. Ambor  
Ing. Carlos Höerning D., Asesor del H. Consejo.

Esta norma ha sido revisada y aceptada por el Director del Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización, INDITECNOR, Ing. Hugo Brangier M., con fecha 22 de Julio de 1971, y aprobada en la sesión del H. Consejo del Instituto, efectuada el 10 de Agosto de 1971, que contó con la asistencia de los señores Consejeros: Alfredo Alvarez; César Caracci; Marcos Cabrales; Jorge Covarrubias; José de Mayo; Mauricio Froimovich; Federico Lastra; Manuel Navarrete; Sergio Nuño y Alfonso Rossel.

Esta norma ha sido declarada norma chilena Oficial de la República, por Decreto N°994, de fecha 8 de Noviembre de 1971, del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Esta norma es una *"reedición sin modificaciones"* de la norma chilena Oficial NCh432.Of71, *"Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones"*, vigente por Decreto N°994, de fecha 08 de Noviembre de 1971, del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

## Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones

### 1 Alcance

1.1 Esta norma establece la forma en que debe considerarse la acción del viento en el cálculo de construcciones.

1.2 Esta norma se aplica en todos los cálculos de resistencia de todo tipo de construcciones dentro del país con exclusión del Territorio Antártico chileno.

### 2 Referencias

NCh431 Cargas de nieve.

### 3 Terminología

**3.1 acción del viento:** la acción no eventual que produce el aire en movimiento sobre los objetos en la que se ejerce.

**3.2 Autoridad Revisora:** Autoridad Fiscal o Municipal encargada de revisar los cálculos de estabilidad de la estructura.

**3.3 centro ciclónico:** espiral ascendente o descendente del aire atmosférico, que se presenta como forma frecuente de su movimiento.

**3.4 construcciones abiertas:** son las que tienen, a lo menos, un tercio de abertura en sus lados.

NCh432

**3.5 construcciones cerradas:** son aquellas construcciones en que no puede entrar el viento a su interior en ninguna circunstancia.

**3.6 edificación en altura:** conjunto de edificios de gran altura que forman una zona o barrio.

**3.7 efecto Venturi:** aumento de la velocidad y presión del viento por estrechamiento de su sección.

**3.8 factor de ráfaga:** factor por el cual se debe multiplicar la presión media para obtener la presión máxima producida por una ráfaga.

**3.9 impulso resonante:** impulsos de ráfagas, sincronizadas con el período fundamental de vibración de una estructura.

**3.10 movimiento uniforme del aire:** traslación del aire sin cambios bruscos de velocidad.

**3.11 presión básica:** producto de la presión media por el factor de ráfaga.

**3.12 presión media:** valor medio de la presión del viento, durante una ventisca.

**3.13 ráfaga:** aumento brusco de la velocidad del viento, de muy corta duración.

**3.14 turbulencia:** irregularidad en el escurrimiento del aire.

**3.15 velocidad media del viento:** valor medio de la velocidad del viento durante una "ventisca".

**3.16 ventisca:** golpe de viento que dura varios minutos.

**3.17 viscosidad del aire:** rozamiento del aire con el aire.

**3.18 zona de gradiente de presiones:** zona de variación de la presión con la altura.

**3.19 zona de gradiente de velocidades:** zona en que se manifiestan cambios en la velocidad de traslación del aire por efecto de su rozamiento con la superficie de la tierra y por la viscosidad del aire.

**3.20 zonificación:** división de un territorio en zonas de iguales características en relación con la velocidad del viento.

## 4 Símbolos

En esta norma se usarán los símbolos siguientes:

- a = factor que expresa el grado de aproximación a la resonancia e influencia de la resonancia en la sollicitación de la estructura;
- b = factor de forma de la gradiente de presiones;
- c = factor que depende de la proporción de la zona de gradientes abarcada por H;
- C = factor de forma;
- d = (1) factor que depende de la energía que tiene la parte resonante de la turbulencia; (2) diámetro de los cuerpos cilíndricos o esféricos;
- E = factor que depende del producto de T por  $u_h$ ;
- $F_i$  = fuerza de inercia del aire;
- $F_v$  = fuerza tangencial debida a la viscosidad del aire;
- g = aceleración de la gravedad;
- h = (1) altura a que se mide la presión; (2) altura de la zona de gradiente;
- H = altura del edificio;
- K = coeficiente de recargo del factor de forma, cuando se aplica a una torre de cuatro patas;
- l = dimensión de longitud;
- m = masa de una partícula o de una molécula de aire;
- $P_h$  = presión del viento a la altura h;
- $P_x$  = presión del viento a la altura x;
- $P_{max.}$  = presión máxima instantánea del viento = q;
- $P_1$  = presión del viento en posición inicial;
- $P_2$  = presión del viento en posición final;

## NCh432

- $q$  = presión básica del viento =  $p$ ;
- $R$  = (1) factor de ráfaga; (2) relación entre  $F_i$  y  $F_v$  ( $N^\circ$  de Reynold);
- $S$  = factor que depende de la rigidez del edificio y de la velocidad del viento;
- $t$  = tiempo;
- $T$  = período de resonancia;
- $u$  = velocidad máxima instantánea del viento;
- $u_x$  = velocidad del viento a la altura  $x$  sobre el suelo;
- $u_h$  = velocidad del viento a la altura  $h$  sobre el suelo;
- $V_1$  = velocidad inicial del viento;
- $V_2$  = velocidad final del viento;
- $x$  = altura sobre el nivel del suelo;
- $W$  = empuje del viento sobre una superficie plana;
- $Z_1$  = cota inicial de una partícula de aire en movimiento;
- $Z_2$  = cota final de una partícula de aire en movimiento;
- = (1) coeficiente de rugosidad del suelo; (2) ángulo de ataque del viento a una superficie plana;
  - = factor de amortiguamiento viscoso. Peso específico del aire;
- $\lambda$  = ancho de la base de un edificio en la dirección del viento;
- $\mu$  = coeficiente de viscosidad;
- = densidad del aire;
- $\tau$  = (1) duración de una ventisca; (2) energía perdida por una masa  $m$  de aire en un cierto recorrido;
- $\nu$  = relación entre el coeficiente de viscosidad del aire y la densidad o viscosidad cinemática;

- = sección transversal perpendicular al viento (proyección sobre un plano perpendicular a la dirección del viento).

## 5 Condiciones generales

### 5.1 Efecto del viento

5.1.1 El efecto del viento se considerará, en general, en los dos ejes principales de una construcción.

5.1.2 En casos especiales la Autoridad Revisora podrá exigir que, además de las direcciones según los ejes principales, se considere el efecto del viento según otras direcciones, por ejemplo, según las diagonales en el caso de torres de reticulados poligonales.

5.1.3 Se considerará, de ordinario, que la acción del viento no perturbada se ejerce horizontalmente.

### 5.2 Solicitaciones producidas por el viento

5.2.1 Se considerará que la dirección de la acción del viento que actúa sobre cualquier superficie es perpendicular a ella. Se omitirá, en consecuencia, la consideración de acciones tangenciales.

5.2.2 Las acciones perpendiculares citadas, podrán ser presiones o succiones. Las presiones se considerarán de signo positivo y las succiones, de signo negativo.

5.2.3 Las magnitudes de presiones y succiones se expresarán en  $\text{kg/m}^2$  <sup>1)</sup>

5.2.4 Las presiones y succiones que actúan sobre las superficies envolventes de una construcción dependen de:

- a) la presión básica del viento, (3.11);
- b) la forma total del cuerpo de la construcción y no sólo de la forma del costado que enfrenta directamente al viento.

---

1) En futuras ediciones de esta norma se emplearán las unidades del Sistema Internacional.

## 6 Presión básica del viento

6.1 Los valores de las presiones y succiones serán considerados proporcionales a una magnitud denominada "*presión básica del viento*" a la que se le puede aplicar la fórmula:

$$q = \frac{u^2}{16}$$

en que:

$q$  = es la presión básica, en kg/m<sup>2</sup>;

$u$  = es la velocidad máxima instantánea del viento, en m/s.

6.2 Para establecer la presión a alturas distintas a la en que fue medida, se puede usar la ecuación siguiente:

$$p_x = p_h \left( \frac{x}{h} \right)^{2\alpha} \quad 1)$$

en que:

$p_x$  = es la presión a la altura  $x$ ;

$h$  = es la altura a que se midió la presión  $P_h$  y  $\alpha$  el coeficiente de rugosidad, que se toma igual a 0,16 a campo abierto o frente al mar o en condiciones similares y 0,28 en la ciudad o lugares asimilables a la ciudad en cuanto a rugosidad del terreno para los efectos del viento.

6.3 La velocidad  $u$ , máxima instantánea del viento, que se considerará para el cálculo de la presión básica, deberá obtenerse de una estadística directa o indirecta, que abarque un período no inferior a 20 años y aceptada por la Autoridad Revisora.

6.4 En caso de que no se cuente con la estadística a que se refiere en 6.3, en construcciones hasta de 100 m de altura, podrán usarse los siguientes valores para la "*presión básica*" que se indican en la tabla 1 <sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Ver A.3.1 de anexo, ecuación 3.

<sup>2)</sup> Los valores dados en esta tabla para alturas mayores de 100 m sólo tienen aplicación en la fijación de los límites a que pueden alcanzar las presiones básicas calculadas por el método dinámico referido más adelante (6.4.1) o los que lo sustituyan.

Tabla 1 - Presión básica para diferentes alturas sobre el suelo <sup>3)</sup>

Construcciones situadas en la ciudad o lugares de rugosidad comparable, a juicio de la Autoridad Revisora		Construcciones situadas en campo abierto, ante el mar, o en sitios asimilables a estas condiciones, a juicio de la Autoridad Revisora	
Altura sobre el suelo, m	Presión básica, q, en kg/m <sup>2</sup> *)	Altura sobre el suelo, m	Presión básica, q, en kg/m <sup>2</sup> *)
0	55	0	70
15	75	4	70
20	85	7	95
30	95	10	106
40	103	15	118
50	108	20	126
75	121	30	137
100	131	40	145
150	149	50	151
200	162	75	163
300	186	100	170
		150	182
		200	191
		300	209

\*) Para valores intermedios se interpola.

3) *Ejemplo.* En un edificio de 20 pisos, de 3,5 m de altura el primer piso y 2,70 m los restantes, la presión básica del viento, resultante de la aplicación de estas tablas, al centro de cada piso, es:

Número del piso	Altura del piso, m	Presión básica del viento en ciudades o en su equivalente, kg/m <sup>2</sup>	Presión básica del viento en campo abierto o frente al mar, kg/m <sup>2</sup>
1	1,75	57,32	70,00
2	4,85	61,47	77,10
3	7,55	65,06	98,85
4	10,25	68,66	106,60
5	12,95	72,26	113,10
6	15,65	76,30	119,04

(Continúa)

(Conclusión)

Número del piso	Altura del piso, m	Presión básica del viento en ciudades o en su equivalente, kg/m <sup>2</sup>	Presión básica del viento en campo abierto o frente al mar, kg/m <sup>2</sup>
7	18,35	81,61	123,35
8	21,05	86,05	127,15
9	23,75	88,75	130,12
10	26,45	91,45	133,10
11	29,15	94,15	136,06
12	31,85	96,48	138,48
13	34,55	98,64	140,64
14	37,25	100,80	142,80
15	39,95	102,96	144,96
16	42,65	104,32	146,59
17	45,35	105,67	148,21
18	48,05	107,02	149,83
19	50,75	108,39	151,36
20	53,45	109,79	152,66

**6.4.2** En construcciones de más de 100 m de altura la presión básica se podrá determinar por las fórmulas siguientes:

$$P_{\text{máx.}} = R \cdot P_x = q$$

en que:

$$R = 1 + a \cdot b \cdot \sqrt{c + d} \quad 4)$$

Los valores de a, b, c y d se determinarán mediante las curvas de las figuras A.2 a A.6 de A.3 de anexo, conforme al procedimiento ahí indicado.

**6.4.3** Podrá emplearse otro método de cálculo, basado en estudios avanzados cuando la importancia de la construcción o la complejidad de su estructura lo justifique, a juicio de la Autoridad Revisora. En este caso deberá acompañarse, in extenso, el estudio justificativo.

**6.4.4** En ningún caso la presión básica determinada por algún método dinámico será inferior al 85% de la presión básica que resultaría de emplear la tabla 1 para presiones básicas. Tampoco necesita ser superior al 120% de esos valores.

<sup>4)</sup> Ver A.3.2 de anexo, ecuaciones (4) y (5).

6.5 Los valores anteriores se aumentarán en 20% en los casos siguientes:

En gargantas de cerros, en que el viento pueda presentar efectos "*Venturi*" que incrementen su velocidad; en cimas de cerros o promontorios; en bordes superiores de barrancos, y en otros lugares de condiciones similares.

## 7 Superficie de cálculo

7.1 Las áreas sobre las cuales se ejerce la acción del viento se tomarán en cuenta en la forma que se indica en tabla 2.

Tabla 2 - Areas a considerar en la acción del viento

Elementos sobre los cuales se ejerce la acción	Areas a considerar
a) Para cuerpos limitados por superficies planas.	Areas verdaderas.
b) Para cuerpos de construcción con sección transversal circular, o aproximadamente circular, ya sean de eje horizontal o vertical	Las áreas correspondientes a la sección axial perpendicular a la dirección del viento.
c) Para varias superficies de techo yuxtapuestas de un mismo edificio.	Se considerará el área total de la primera superficie que sea chocada por el viento, y el 50% de las superficies siguientes <sup>5)</sup> .
d) Para banderas y lonas con telas firmemente fijadas.	Se considerará el área verdadera.
e) Para banderas y lonas sueltas.	El 25% del área verdadera.
f) Para enrejados, ya sean compuestos de barras perfiladas o tubulares.	Se usarán las superficies de las barras del enrejado proyectadas sobre un plano vertical.

5) Estas reducciones se emplearán únicamente para el cálculo de los esfuerzos transmitidos a otros elementos de la construcción y para verificar la seguridad contra el volcamiento. El cálculo aislado de cada techo deberá hacerse considerando el área total del elemento. Para que la reducción sea aplicable, la distancia entre los planos no podrá ser superior a dos veces su altura.

## 8 Acción simultánea del viento y otras cargas

8.1 Se calculará la acción simultáneamente del viento y la nieve como lo indica la norma NCh431.

8.2 Para techos inaccesibles de inclinación superior a 1:10 será suficiente considerar como sobrecargas, el efecto del viento, la nieve y una fuerza eventual de 100 kg en el lugar más desfavorable.

8.3 Si se considera el viento conjuntamente con la carga estática más desfavorable, se aceptará aumentar las fatigas de trabajo en un 33%. En todo caso deberá comprobarse que no se sobrepasen las fatigas normales para viento solo o carga estática sola.

## 9 Factor de forma

**9.1** La fuerza del viento por unidad de superficie se obtendrá multiplicando la presión básica  $q$  por un factor de forma  $C$ .

**9.2** Los valores de  $C$  que se utilizarán para el cálculo de construcciones serán los que se indican en 9.2.1. Las figuras A.9, A.10 y A.11 del anexo son ilustrativas sobre el criterio con que debe emplearse el coeficiente " $C$ " de forma. No pretenden abarcar el gran número de casos que se presentan en la práctica, los que deberán ser resueltos según el juicio que el proyectista se forme de ellos, en cada caso.

### 9.2.1 Construcciones cerradas con paredes planas (ver 3.5).

En el frente que da el viento:

a) Superficies perpendiculares a la dirección del viento:

$$C = 1,2 \text{ [figuras A.9, a), b) y c)]}$$

b) Superficies perpendiculares a la dirección del viento con altura 5 o más veces el ancho medio, medido perpendicularmente al viento:

$$C = 1,6$$

c) Superficies inclinadas en un ángulo  $\bullet$  con relación a la dirección del viento:

$$C = 1,2 \text{ sen } \bullet$$

d) Superficies inclinadas con altura 5 o más veces el ancho medio, perpendicularmente al viento:

$$C = 1,6 \text{ sen } \bullet$$

### 9.2.2 Construcciones abiertas (ver 3.4)

Los valores dados en a), b) y d) de 9.2.1, son válidos también para este caso, pero se hará una segunda comprobación, en que a los valores mencionados se les agregará la presión del viento de abajo hacia arriba, perpendicularmente a la superficie del techo, figura A.10 de A.3 del anexo, en que  $C = 1,2$ . Se adoptará el mayor valor que resulte entre la primera y segunda comprobación. Si la abertura es inferior a  $1/3$  y superior a  $1/15$  se hará también esta segunda comprobación; pero el coeficiente " $C$ " para la presión del viento de abajo hacia arriba, perpendicular a la superficie del techo, variará linealmente desde 0 hasta 1,2 a medida que la abertura varíe desde  $1/15$  hasta  $1/3$ .

### 9.2.3 Muros aislados

9.2.3.1 Para alturas hasta cinco veces el ancho, medido perpendicularmente a la dirección del viento.

Para alturas mayores  $C = 1,2$   
 $C = 1,6$

9.2.3.2 Estructuras de sección transversal circular o aproximadamente circular:

a) Para la estructura completa:

a.1) Conductores eléctricos, cables, cañerías y otros cuerpos similares en que:

$$d \sqrt{q} < 100 \quad C = 1,2$$

Chimeneas industriales, tuberías de gas, etc. en que:

$$d \sqrt{q} > 100 \quad C = 0,70 \text{ para paredes muy lisas: } C = 0,55$$

a.2) Estructuras circulares en que:

$$d \sqrt{q} < 100 \quad C = 0,6$$

$$\text{si } d \sqrt{q} > 100 : \quad C = 0,35$$

Los diámetros están expresados en cm y las presiones en  $\text{kg/m}^2$ .

b) Para estructuras cilíndricas de gran diámetro, en que debe conocerse la distribución de las presiones y succiones en el perímetro de la sección transversal puede procederse según la figura 1.

9.2.3.3 Estructuras enrejadas de acero.

a) Planos de enrejados expuestos directamente al viento:

a.1) Superficies perpendiculares a la dirección del viento:

$$C = 1,6$$

a.2) Superficies inclinadas en un ángulo  $\bullet$ :

$$C = 1,6 \text{ sen } \bullet$$

b) **Planos de enrejados protegidos del viento** por otros enrejados que se anteponen frente al viento.

b.1) Si la distancia entre el nervio del enrejado y el que lo protege es menor que el ancho del nervio,

$$C = 0,0$$

b.2) Si la distancia es mayor:

- En superficies perpendiculares a la dirección del viento,

$$C = 1,2$$

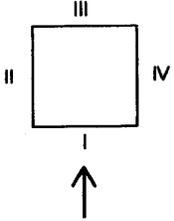
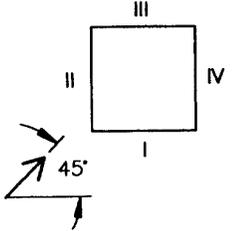
- En superficies inclinadas en un ángulo •

$$C = 1,2 \text{ sen } \bullet$$

**9.2.3.4 Estructuras enrejadas en forma de torre o mástil.**

a) Cuando la torre tiene cuatro patas los valores de C serán los de la tabla 3A.

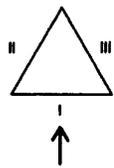
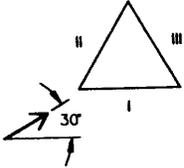
Tabla 3A - Valores de "C" para torres de 4 patas

		I	II	III	IV
Viento normal		1,6	0	1,2	0
	Componente normal a la cara				
	Componente paralela ala cara	0,0	0	0,0	0
Viento oblicuo		0,56 K *)		0,42 K *)	
	Componente normal a la cara				
	Componente paralela a la cara				

\*) K = 1,1 en torres de acero;  
K = 1,2 en torres de madera.

b) Cuando la torre tiene tres patas los valores de C serán los de la tabla 3B.

Tabla 3B - Valores de "C" para torres de tres patas

		Caras		
		I	II	III
Viento normal 	Repartición normal a la cara	1,6	0,3	0,3
	Repartición en dirección de la cara	0	0,52	0,52
Viento oblicuo *) 	Repartición normal a la cara	0,4	0,4	1,2
	Repartición en sentido de la cara	0,7	0,7	0

\*) Para torres de tres patas K es siempre 1, de modo que estos valores sirven para torres de fierro y madera.

9.2.3.5 En el cálculo de 9.2.3.3 y 9.2.3.4, los elementos que forman parte de una cara dada se calcularán solicitados por la componente del viento normal a dicha cara, sin que la componente paralela a la cara ejerza acción alguna sobre dichos elementos. Las componentes paralelas a las caras se tomarán en cuenta para evaluar la sollicitación total de la torre, por ejemplo: seguridad al vuelco, corte basal, fundaciones, etc.

En todos los casos, los coeficientes de forma dados se multiplicarán por la presión básica y por la superficie de cada cara proyectada sobre el plano perpendicular al viento.

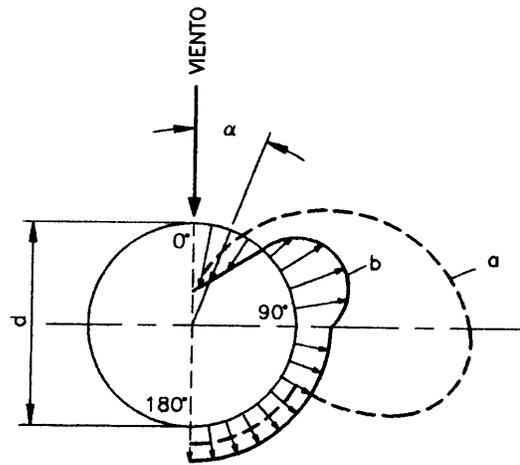
## 10 Presión del viento

La presión del viento sobre la construcción total se determinará por la acción conjunta de presiones y succiones.

## 11 Comprobaciones

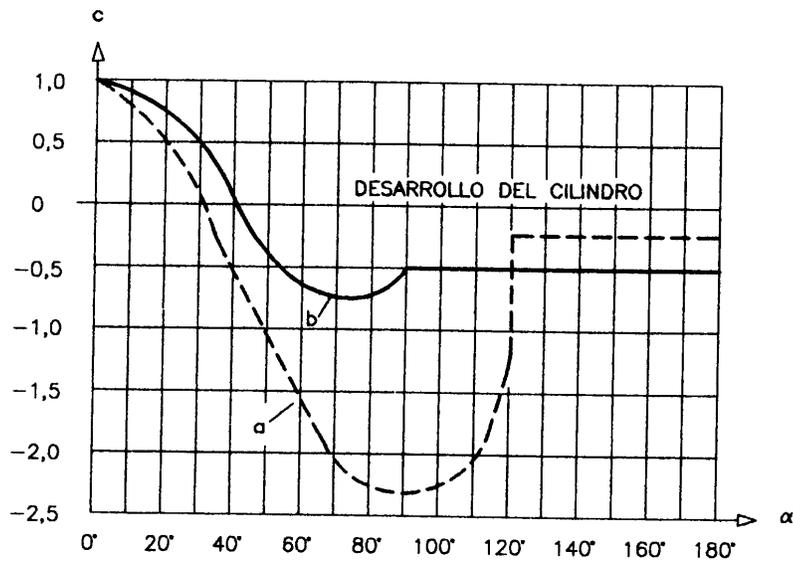
11.1 La estructura soportante de la construcción y las fundaciones se comprobarán para resistir las presiones y succiones del viento sobre las superficies verticales, en conjunto con las que actúan sobre la techumbre y sobre cualquier superficie que se eleve por encima de ésta.

11.2 En las aristas de unión entre paredes y techos la fuerza de succión puede llegar a tener valores superiores a los indicados por los artículos anteriores. En dichos lugares deben asegurarse especialmente los elementos constructivos.



a)

Distribución de presión sobre el cilindro



b)

Curva a para superficies suaves  
Curva b para superficies rugosas

Figura 1

## **Anexo** (Informativo)

(Excepción de las partes y dibujos adoptados en el texto de la norma).

### **A.1 Introducción**

Entre los numerosos enemigos de las construcciones hechas por el hombre, el viento y los terremotos han sido considerados, desde tiempo inmemorial, como incontrolables. Ultimamente, sin embargo, los estudios han avanzado considerablemente, y permiten dar un grado de seguridad razonable.

Existe similitud entre estos dos agentes de destrucción en cuanto a que ambos consisten en esfuerzos dinámicos, que se presentan esporádicamente, y cuya acción puede alcanzar límites prácticamente imprevisibles.

Sin embargo, la acción del viento se diferencia de la de los terremotos en que la primera persiste por largo rato en una misma dirección, de suerte que la elasticidad, o sea, la capacidad de una estructura para deformarse en el sentido de las fuerzas que la empujan, no la alivia de dicho empuje; en tanto que la acción sísmica se manifiesta en forma de vaivenes cuyo sentido cambia a intervalos generalmente menores de un segundo, de suerte que si la estructura es capaz de deformarse tanto como la amplitud de esos vaivenes, sin perder su capacidad de resistencia, queda liberada, al final de cada vaivén, de la acción que la empujaba.

Otra diferencia entre la acción del viento y la de los sismos es que la primera es proporcional a la superficie de la estructura expuesta al viento, en tanto que la segunda es proporcional a la masa de la estructura.

Sucede, así, que en los países sísmicos como el nuestro, frecuentemente las construcciones bajas y pesadas, calculadas debidamente para resistir a los terremotos, no necesitan refuerzos para cumplir con las normas sobre resistencia al viento. Recíprocamente aquellas esbeltas que han sido bien calculadas para el viento pueden resultar antisísmicas sin agregar mucho a su capacidad resistente contra fuerzas horizontales.

### **A.2 Generalidades**

#### **A.2.1 El viento**

El movimiento del aire atmosférico, sobre la superficie de la tierra es provocado, como se sabe, por las variaciones de temperatura, y es afectado por la rotación de la tierra. En las zonas tropicales el aire, calentado por el contacto con la tierra que recibe los rayos directos del sol, al ascender en la atmósfera, deja un vacío que es llenado por aire más frío

proveniente de zonas templadas o frías de mayor latitud. Este traslado de masas de aire debería producirse, en consecuencia, a lo largo de los meridianos. Sin embargo, como al recorrer un meridiano en dirección de los polos hacia el ecuador aumenta la distancia al eje de la tierra, la velocidad circunferencial del aire tendría que ir aumentando, para poder seguir desplazándose a lo largo del mismo meridiano. Pero como la inercia de la masa se opone al referido aumento de la velocidad circunferencial, aparece una componente de la velocidad, en la dirección de los paralelos, de sentido contrario al de la rotación de la tierra, o sea, de oriente a poniente. La resultante del traslado según los meridianos y esta componente según los paralelos es un movimiento diagonal de sur-este a nor-oeste en el hemisferio sur y de nor-este a sur-oeste en el hemisferio norte. Son los llamados "*Vientos Alisios*"<sup>\*)</sup>.

Las diferencias estacionales de temperatura (por inclinación del plano de la eclíptica); el efecto de la forma en que están distribuidos los mares y continentes, en que los primeros absorben y retienen el calor en tanto que los últimos lo entregan rápidamente a las masas de aire en contacto con ellos; la presencia de montañas; la formación de nubes, etc., alteran notablemente la traslación uniforme de las masas de aire y crean un cuadro confuso de estos movimientos, lo que explica las dificultades que se les presentan a los meteorólogos para hacer predicciones del tiempo.

Pero el fenómeno eólico más importante desde el punto de vista del ingeniero estructural que necesita evaluar el empuje máximo del viento, es la formación de centros ciclónicos. El ascenso rápido del aire provocado por un recalentamiento local anormal de la superficie del planeta, genera estos centros ciclónicos, en que el fluido sube en espiral describiendo círculos de diámetro que varían desde algunos centímetros, como sucede en los remolinos de verano que todos hemos observado, hasta miles de kilómetros, como muestran algunas fotografías tomadas desde satélites artificiales. La velocidad máxima tangencial del viento, que puede alcanzar hasta 300 km/h y posiblemente más, se observa en los espirales medianos, esto es, de algunos cientos de metros hasta varios kilómetros de diámetro y ocurren con máxima intensidad en los trópicos. Se les llama "*Huracanes*" en EE.UU. y región del Caribe; "*Ciclones*" en el Sahara; "*Tifones*" en el Océano Indico y mares de la China; "*Simun*" en Arabia, etc. En las zonas templadas los centros ciclónicos, por lo general, tienen mayor diámetro, pero menor intensidad.

Los centros cilónicos en su desplazamiento recorren indistintamente zonas marítimas y continentales, lo que haría inconsistente la idea de dividir el territorio en grandes zonas abrigadas o expuestas. Sin embargo, no todas las opiniones concuerdan en esto: España ha incorporado en sus normas el concepto de que la orilla del mar está expuesta a vientos más intensos que el interior del territorio. Bélgica, por el contrario, expresa en sus normas: Es evidente que la frecuencia y persistencia de los vendavales es mayor en la costa y en ciertos lugares del país; pero la intensidad del viento es, con frecuencia, menor en la costa que en el interior del país.

---

<sup>\*)</sup> I.M. Lorente., "Meteorología".

Tomando en cuenta los principios generales que se han indicado parece más lógico aceptar la existencia de diferencias locales de intensidad del viento producidas por características topográficas, más bien que diferencias generales. Así, en cajones cordilleranos, en que el viento puede presentar efectos "*Venturi*" que incrementan su velocidad, parece prudente considerar precauciones especiales. Por la inversa, en pequeñas cuencas cerradas de cerros altos, los valores normales de presión del viento serían exagerados.

Las consideraciones anteriores hacen deseable que los Servicios Meteorológicos del país establezcan anemómetros inscriptores en sitios adecuados que permitan hacer una zonificación similar a la que está estudiando Francia, país que ya ha introducido una zonificación provisoria en que se contemplan diferencias de presión del viento hasta del 20%.

Mientras Chile no disponga de observaciones instrumentales adecuadas creemos prudente limitar las excepciones a exigir la consideración de mayores empujes de viento en lugares como: gargantas de cerros, cimas de cerros o promontorios, bordes superiores de barrancas y otros lugares de condiciones comparables.

### A.3 Empuje del viento sobre las construcciones

#### A.3.1 Movimiento uniforme del aire

Dada la dimensión considerable del diámetro de un espiral cilíndrico importante, en relación con las dimensiones de los edificios, es aceptable suponer que los filetes de viento son paralelos, aproximadamente horizontales, rectilíneos según la tangente a la circunferencia que describen.

Cuando las moléculas de aire, de masa  $m$ , con velocidad  $u$ , chocan con una pared vertical, normal a  $u$ , y se anula su velocidad, puede aceptarse (despreciando la pequeña cantidad de energía que se disipa en forma de calor por choque) que su energía cinética  $1/2 mu^2$  se transforma en energía de presión (compresión del aire)  $\frac{p}{\rho}$ , en que  $p$  es la presión producida por el cambio de velocidad y  $\rho$  es la densidad del aire.

Igualando ambas cantidades resulta:

$$p = 1/2 \rho u^2$$

y expresando  $u$  en m/s y  $p$  en kg/m<sup>2</sup>:

$$p = \frac{u^2}{16}$$

Debido al rozamiento de las capas inferiores de aire con la tierra y la viscosidad del aire (rozamiento del aire con el aire) la velocidad  $u$  es menor en las capas inferiores. Se acepta con frecuencia para esta variación de velocidad la expresión exponencial:

$$u_x = u_h \left( \frac{x}{h} \right)^\alpha \quad (2)$$

en que:

- $x$  = es la altura a que se mide la velocidad  $u_x$ ;
- $h$  = es la altura hasta donde alcanza la "*gradiente de velocidad*" producida por el rozamiento, o sea, la altura de la zona hasta donde ya no se manifiesta su influencia;
- $\alpha$  = es un exponente cuyo valor depende de la rugosidad de suelo.

En campo abierto o superficie del mar puede estimarse, aproximadamente que  $\alpha = 0,16$  y  $h = 280$  m; en las ciudades o zonas arboladas,  $\alpha = 0,28$  y  $h = 400$  m; en el centro de una gran ciudad, con edificación en altura,  $\alpha = 0,40$  y  $h = 500$  m<sup>\*)</sup>.

Para hacer el cómputo de las velocidades del aire se toma su promedio durante el tiempo que dura una "*ventisca*" o sea, el tiempo en que se mantiene lo que podría llamarse: "*la furia del vendaval*". Este tiempo, que se ha designado por la letra  $\tau$ , puede durar, según las estadísticas, desde un minuto hasta una hora; pero es frecuente estimarlo en 10 minutos por ser alrededor de este lapso su más frecuente ocurrencia y su mayor intensidad.

Adoptando el criterio de las normas alemanas (DIN), la presión que ejerce el viento más allá de la zona de influencia del rozamiento, es  $P_h = 130$  kg/m<sup>2</sup>, lo que equivale a una velocidad media de 45,7 metros por segundo, según la fórmula (1). Hemos examinado los registros que tiene la Armada Nacional desde 1911 y hemos podido comprobar que la mayor velocidad registrada del viento, ocurrió en Punta Corona, en el Canal de Chacao, donde un anemómetro situado a 48 m de altura sobre el suelo, registró 60 nudos. Esta velocidad, debidamente homologada a la altura límite de la "*gradiente*", corresponde a 41,3 m/s, lo que concuerda bastante bien con el máximo de 45,7 m/s de las normas DIN.

---

<sup>\*)</sup> Davenport A.C., "Design Factors for Evaluating the Dynamic of Wind on Structures". Anexo a las nuevas normas Escandinavas sobre empuje del viento.

Combinando las ecuaciones (1) y (2) se encuentra el valor de la presión del viento a una altura  $x$  cualquiera, si es conocido su valor a una altura  $h$ , determinada, como sigue:

$$\frac{p_x}{p_h} = \left( \frac{u_x}{u_h} \right)^2 = \left[ \left( \frac{x}{h} \right)^\alpha \right]^2 = \left( \frac{x}{h} \right)^{2\alpha}$$

$$p_x = p_h \left( \frac{x}{h} \right)^{2\alpha} \quad (3)$$

Aplicando logaritmos:  $\log p_x = \log p_h + 2 \cdot \log \frac{x}{h}$

En las tablas A.3.1.1, A.3.1.2 y A.3.1.3 aparecen valores de la presión  $p_x$  a distintas alturas, en función de la presión  $p_h$  a la altura límite de la "gradiente", que se ha estimado = 130 kg/m<sup>2</sup> para los tres casos considerados.

Tabla A.3.1.1 - Campo abierto o superficie del mar  $\alpha = 0,16$ ;  $h = 280$  m

$x$ m	$\frac{x}{h}$	$\log \frac{x}{h}$	$2 \cdot \log \frac{x}{h}$	$\log p_h$	$\log p_x$	$p_x$ (kg/m <sup>2</sup> )
25	0,0893	0,95085-2	0,6640-1	2,11394	1,77794	59,97
50	0,1785	0,25164-1	0,7606-1	2,11394	1,87454	74,91
75	0,2680	0,42813-1	0,8170-1	2,11394	1,92494	84,13
100	0,3570	0,55267-1	0,8567-1	2,11394	1,97064	93,46
150	0,5360	0,72916-1	0,9135-1	2,11394	2,02744	106,55
200	0,7140	0,85370-1	0,9533-1	2,11394	2,06724	119,45
280	1,0000	0,00000				130,00

Tabla A.3.1.2 - Ciudades o zonas arboladas • = 0,28; h = 400 m

x m	$\frac{x}{h}$	$\log \frac{x}{h}$	$2 \cdot \log \frac{x}{h}$	$\log p_h$	$\log p_x$	$p_x$ (kg/m <sup>2</sup> )
25	0,0627	0,79727-2	0,3270-1	2,11394	1,44094	27,60
50	0,1250	0,09691-1	0,4943-1	2,11394	1,60824	40,67
75	0,1875	0,27300-1	0,5926-1	2,11394	1,70654	50,88
100	0,2500	0,39794-1	0,6628-1	2,11394	1,77674	59,81
150	0,3750	0,57403-1	0,7615-1	2,11394	1,88044	75,94
200	0,5000	0,69897-1	0,8315-1	2,11394	1,94544	88,19
300	0,7500	0,87506-1	0,9300-1	2,11394	2,04394	110,65
400	1,0000	0,00000				130,00

Tabla A.3.1.3 - Centro de gran ciudad • = 0,40; h = 500 m

x m	$\frac{x}{h}$	$\log \frac{x}{h}$	$2 \cdot \log \frac{x}{h}$	$\log p_h$	$\log p_x$	$p_x$ (kg/m <sup>2</sup> )
25	0,0500	0,69897-2	0,9590-2	2,11394	1,07294	11,83
50	0,1000	0,00000-1	0,2000-1	2,11394	1,31394	20,60
75	0,1500	0,17609-1	0,3408-1	2,11394	1,45474	28,49
100	0,2000	0,30103-1	0,4407-1	2,11394	1,55464	35,86
150	0,3000	0,47712-1	0,5815-1	2,11394	1,69544	49,60
200	0,4000	0,60206-1	0,6820-1	2,11394	1,79594	62,51
300	0,6000	0,77815-1	0,8220-1	2,11394	1,93594	86,29
400	0,8000	0,90309-1	0,9220-1	2,11394	2,03594	111,15
500	1,0000	0,00000				130,00

Las curvas de figura A.1, construidas con esos valores, representan la "gradiente de presiones" para los tres casos referidos.

### A.3.2 Ráfagas

Si se producen variaciones bruscas de velocidad, como ocurre en la práctica, en forma de "ráfagas" la presión máxima queda afectada por un factor "R" de ráfaga, de suerte que su expresión es:

$$P_{\text{máx.}} = R \cdot P_x \quad (4)$$

Varios factores intervienen en el valor de R, el que puede escribirse (2):

$$R = 1 + a \cdot b \cdot \sqrt{c + d} \quad (5)$$

"a" es un factor que expresa por una parte, en que proporción se aproxima a la resonancia (a la unidad) la relación entre el período propio de vibración de la estructura y el ritmo de repetición de las ráfagas sucesivas; y por otra parte, la influencia que dicha resonancia tiene en la sollicitación de la estructura. Como la oportunidad para que se presente un estado de resonancia o próximo a la resonancia es mayor mientras mayor sea la duración  $\tau$  de la ventisca, el factor "a" crece con  $\tau$ . Además, como el número de impulsos resonantes que se acumulan durante la ventisca es mayor si el período  $\tau$  de resonancia es menor, el factor "a" decrece con los valores crecientes de T. Resulta así que "a" es una función  $\frac{\tau}{T}$  que queda representada por una curva como la de la figura A.2, obtenida experimentalmente.

"b" es un factor de forma de la "gradiente" de presiones y depende, como se comprende, de la rugosidad del suelo y la altura H del edificio. Valores de "b" obtenidos en la misma forma que los de "a" se encuentran en la figura A.3 en que se llevan en abscisas las alturas H de edificios y en ordenadas los valores de "b" para los tres casos considerados de la rugosidad del suelo.

"c" es un factor que depende, también, de la altura H del edificio y se relaciona con la proporción de la gradiente que abarca H, ya que de esa proporción dependerá cuanto afecten al edificio las irregularidades que siempre se presentan en dicha gradiente. En la figura A.4 aparece, en abscisas, el valor de H, en ordenadas el de "c".

"d" depende de la energía que posee la parte de la turbulencia que se halla en resonancia con la estructura, Su expresión es:

$$d = \frac{S E}{\beta}$$

en que:

S = Figura A.5 decrece con la rigidez  $\frac{\lambda}{H}$  de la estructura en la dirección del viento, siendo  $\lambda$  el ancho de la base en esa dirección, crece con la velocidad  $u_h$  del viento y con el período propio T de la estructura, y decrece con la altura H del edificio;

E = es el factor que, como lo muestra la curva de figura A.6, obtenida experimentalmente, como las anteriores, presenta un máximo para ciertos valores del producto de T por  $u_h$  que favorecen la entrega de energía del viento a la estructura;

- = es el tanto por ciento de amortiguamiento viscoso de la estructura y puede estimarse en 1 a 2% en estructuras de acero, 4 a 8% en marcos rígidos de hormigón armado y hasta 12 y más % en edificios con muros de rigidez de hormigón armado, etc.

#### *Ejemplos:*

En la tabla A.3.4, aparecen calculados los factores del coeficiente de ráfaga R para tres edificios típicos: de pequeña, mediana y gran altura, con los tres valores de  $\bullet$ , deducidos de las curvas de las figuras A.1 a A.6. Las curvas  $\bullet = 0,16$ ,  $\bullet = 0,28$  y  $\bullet = 0,40$  de figura A.7 se dibujaron en base a los valores así obtenidos.

### **A.3.3 Comparación de diversas normas de viento**

En la figura A.7 se han dibujado además, las curvas representativas de presión básica del viento en función de la altura, que dan las normas de diversos países situados en zonas no tropicales. Las de los países situados en estas últimas no podrían ser consideradas por corresponder a condiciones distintas a las de nuestro país, como se indicó anteriormente.

Puede observarse que la parte del gráfico comprendida entre alturas de 0 y 80 m, que es la de mayor ocurrencia, presenta muy grandes diferencias entre las diversas normas. Así para  $H = 25$  m, la norma francesa da  $50 \text{ kg/m}^2$ , en tanto que la norma DIN da  $110 \text{ kg/m}^2$  y la española  $150 \text{ kg/m}^2$  al interior del territorio y  $250 \text{ kg/m}^2$  a menos de 20 km de la orilla del mar. La norma belga da, para los casos que llama excepcionales (curva 2) un valor de la presión que es el doble de lo que especifica para casos normales (curva 1); pero no establece precisiones suficientes que distingan ambos casos. La norma de San Francisco de California al igual que la DIN y la española presentan escalonamientos que no pueden corresponder a la realidad. Como se ve, es difícil sacar conclusiones de un cuadro tan confuso de valores.

Lo anterior hace pensar en la ventaja que significaría desde un punto de vista teórico, exigir en cada caso el cálculo dinámico del empuje del viento; por ejemplo, en forma semejante a la que hemos explicado. Sin embargo, en atención a la complejidad del problema y a que no todos los casos posibles están considerados en los factores que intervienen en el empuje, ni están agotadas las observaciones que permitieron fijarlos, no hay garantía de que se llegue en dicho cálculo a resultados suficientemente precisos como para justificar siempre la indicada complejidad del procedimiento.

Consideramos preferible, por esto, proponer la adopción de dos métodos de cálculo: el dinámico, en conformidad a la exposición que antecede o a otro método equivalente, considerado satisfactorio por la Autoridad Revisora, en las estructuras de más de 100 m de altura; y un método estático, basado en una tabla de valores de las presiones básicas según la altura, como lo indican las normas de los demás países, para todas las construcciones de no más de 100 m de altura. Esta tabla, para construcciones dentro de la ciudad, se deducirá, por ejemplo, de la curva  $\bullet = 0,28$  de figura A.7 y para las demás construcciones, de la curva  $\bullet = 0,16$  de la misma figura. Estas curvas, al igual que la

de  $\bullet = 0,40$ , que pasan por los puntos correspondientes a los casos calculados de la tabla A.3.4 presentan la continuidad necesaria y no se alejan de lo que en otros países, en promedio, se ha considerado como aceptable.

Damos a continuación la tabla A.3.2, para edificios en la ciudad o lugares de rugosidad comparable, y la tabla A.3.3 para campo abierto, ante el mar, o en sitios asimilables a estas condiciones.

Para valores intermedios se debe interpolar.

Tabla A.3.2

Ciudad o equivalente	
H, m	P <sub>máx.</sub> kg/m <sup>2</sup>
0	55
15	75
20	85
30	95
40	103
50	108
75	121
100	131
150	149
200	162
300	186

Tabla A.3.3

Campo abierto o frente al mar	
H, m	P <sub>máx.</sub> kg/m <sup>2</sup>
Hasta 4	70
7	95
10	106
15	118
20	126
30	137
40	145
50	151
75	163
100	170
150	182
200	191
300	209

#### A.3.4 Factor de forma

El empuje del viento depende, también de la forma y dimensiones de la estructura. En A.3.1 al tratarse el "*Movimiento uniforme del aire*", se supuso la existencia de escurrimiento laminar del fluido, esto es, que las moléculas de aire se desplazan según filetes paralelos. Con referencia a la figura A.8, en la sección  $S_1 - S_1$  la presión del aire es la atmosférica, cuyo valor puede estimarse, aproximadamente, en 10 000 kg/m<sup>2</sup>. En la sección  $S_2 - S_2$  la presión es mayor, ya que la energía cinética se ha transformado en energía de presión. Este aumento, según la tabla A.3.3 no es mayor que 200 kg/m<sup>2</sup>. La variación de presión absoluta del aire y, en consecuencia, de su densidad y peso específico es entre  $S_1 - S_1$  y  $S_2 - S_2$ , entonces, inferior a 2 por ciento, lo que permite asimilar el aire, para los efectos de su comportamiento dinámico, a un fluido incompresible. El Bernouilli en este caso, para una masa  $m$  que recorre un filete entre  $S_1 - S_1$  y  $S_2 - S_2$  puede escribirse:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{v} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{v} + Z_2$$

Puesto que los filetes de viento son horizontales,  $Z_1 = Z_2$ , de donde:

$$6) \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma}$$

Admitiendo que  $V_2 = 0$ , y poniendo  $\rho/g = \rho$ :

$$6') P = P_2 - P_1 = \rho \frac{V_1^2}{2}, \text{ como ya se había visto,} \quad (1)$$

Cerca de los bordes de la pared  $V_2$  es mayor que cero, de donde resulta una disminución de la presión en esa zona. Experimentalmente se comprueba que la presión media en A es aproximadamente  $0,8 P$ . También conduce la experimentación a que la depresión media en la zona B es, aproximadamente  $-0,4 P$ . El empuje  $W$  total resultante vale así, aproximadamente, para una área  $A$ :

$$W = 1,2 \rho \cdot A \cdot P$$

Hay, entonces, un factor de forma "C" que vale 1,2.

Si la pared P forma un ángulo  $\alpha$  con la dirección  $u$  del viento, la presión total, normal a la pared es estimada por las normas DIN en  $1,2 \rho \cdot A \cdot \cos \alpha$ , como resultado de experiencias hechas en túneles de viento.

Si el cuerpo con que choca el aire es una estructura tubular alargada, figura A.8', se ha comprobado experimentalmente que el empuje tiene también la expresión:

$$W = C \cdot \rho \cdot A \cdot P$$

en que:

$A$  es la sección transversal diametral, perpendicular al viento y "C" un factor de forma que vale 1,2 según las normas DIN, y 1,4 según las normas francesas.

### A.3.5 Escurrecimiento turbulento

El escurrecimiento laminar de figura 8' puede transformarse en turbulento si el diámetro " $d$ " o la presión " $P$ " crecen hasta alcanzar un cierto valor. En este caso el empuje  $W$  sobre la estructura decrece apreciablemente. La explicación de esto puede encontrarse examinando el fenómeno desde el punto de vista de la energía. En efecto, en turbulencia las moléculas de aire chocan entre sí antes y después de encontrarse con el cuerpo, lo que hace que parte de su energía cinética se transforme en calor.

Llamando  $\tau$  pérdida por la masa  $m$  en su recorrido desde  $S_1 - S_1$  hasta  $S_2 - S_2$  y recordando la energía que si se multiplican por  $mg$  ambos lados de la ecuación 6) ella

representa la igualdad de la energía de  $m$  en las posiciones  $S_1 - S_1$  y  $S_2 - S_2$ , se puede escribir.

$$7) \quad mg \left( \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} \right) = mg \left( \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} \right) + \tau$$

y haciendo nuevamente  $V_2 = 0$ ;  $p_2 - p_1 = p$ , y  $\frac{\gamma}{g} = \rho$  se tiene:

$$7') \quad p = \rho \frac{V_1^2}{2} - \rho \left( \frac{\tau}{m} \right) \text{ en } \frac{\tau}{m}$$

es la energía por unidad de masa que se ha perdido por efecto de los choques entre moléculas en el recorrido entre  $S_1 - S_1$  y  $S_2 - S_2$ , de la masa  $m$ , debido a la turbulencia.

La turbulencia se manifiesta en el perímetro del cuerpo y, especialmente más allá de él. La transformación de energía en calor y, en consecuencia, la reducción del esfuerzo de arrastre  $W$  del viento, que es considerable, es difícil de evaluar analíticamente. En razón de esto, su determinación se hace experimentalmente, en túneles de viento, obteniéndose valores para el factor de forma " $C$ ". La norma DIN, que para el escurrimiento laminar establece, como se dijo, el valor  $C = 1,2$ , lo reduce a  $C = 0,7$  para escurrimiento turbulento. Las normas francesas, que para escurrimiento establecen el valor  $C = 1,4$ , lo reducen en escurrimiento turbulento a  $C = 0,8$  en estructuras tubulares de paredes rugosas y longitud indefinida, pudiendo reducirse este valor en 20 por ciento en paredes lisas.

### A.3.6 Paso del escurrimiento laminar a turbulento. Número de Reynolds

Las fuerzas que intervienen en el fenómeno del empuje del viento sobre la estructura tubular son: 1) la fuerza de inercia del aire; 2) la presión; 3) la fuerza tangencial debida a la viscosidad del aire. Conocidas dos de estas fuerzas queda definida la tercera.

De la experimentación con modelos, en túneles de viento, Reynolds pudo establecer que para que las conclusiones que se sacan en esa experimentación sean válidas para las estructuras reales reproducidas por el modelo, es preciso que la relación entre la fuerza de inercia del aire y la tangencial debida a la viscosidad sea la misma, en puntos correspondientes del modelo y de la estructura real. La expresión de la fuerza de inercia (masa por aceleración) puede escribirse:

$$F_i = l^3 \frac{\rho V}{t}$$

y la fuerza tangencial puede escribirse:

$$F_t = \mu l V$$

en que la longitud  $\ell$  queda definida por el diámetro " $d$ " de la estructura tubular.

Resulta así que la relación vale:

$$8) \quad R = \frac{F_i}{F_t} = \frac{\ell^3 \rho \cdot V}{t \mu \ell V} = \frac{\ell \rho V}{\mu}$$

Haciendo  $v = V$  se tiene:

$$R = \frac{V \ell}{\nu}, \text{ y para } \ell = d:$$

$$8') \quad R = \frac{V d}{\nu}, \text{ en que } R \text{ es el número de Reynolds.}$$

El número de Reynolds debe ser el mismo para el modelo y para la estructura reproducida.

Haciendo  $V = V_1$ , de las ecuaciones 6') y 8) se obtiene, adoptando para " $P$ " la presión básica  $q$ , lo siguiente:

$$V = \sqrt{\frac{2q}{\rho}}; \quad R = \frac{1}{\mu} \rho \sqrt{\frac{2q}{\rho}}, \text{ o bien,}$$

$$9) \quad R = \frac{\sqrt{2\rho}}{\mu} d \cdot \sqrt{q}$$

$R$  contiene los factores " $d$ " y " $q$ " que, como se dijo, cuando llegan a un cierto valor, determinan el escurrimiento turbulento. Cuando esto ocurre el valor de  $R$  se llama *valor crítico del número de Reynolds*. Según la ecuación 9), para un determinado valor de  $\mu$  y de  $\rho$  hay una relación constante entre  $R$  y  $d \sqrt{q}$ , o lo que es lo mismo, hay un determinado valor crítico de  $d \sqrt{q}$ . Las normas DIN fijan este valor crítico en 100 (expresando  $d$  en cm y  $q$  en kg/cm<sup>2</sup>. Esto equivale a un valor de  $R$  de 254 en condiciones normales.

Las normas francesas hacen fluctuar el valor crítico de  $d \sqrt{q}$  entre 50 y 150, lo que implica admitir que el paso del régimen laminar a turbulento no es brusco sino gradual.

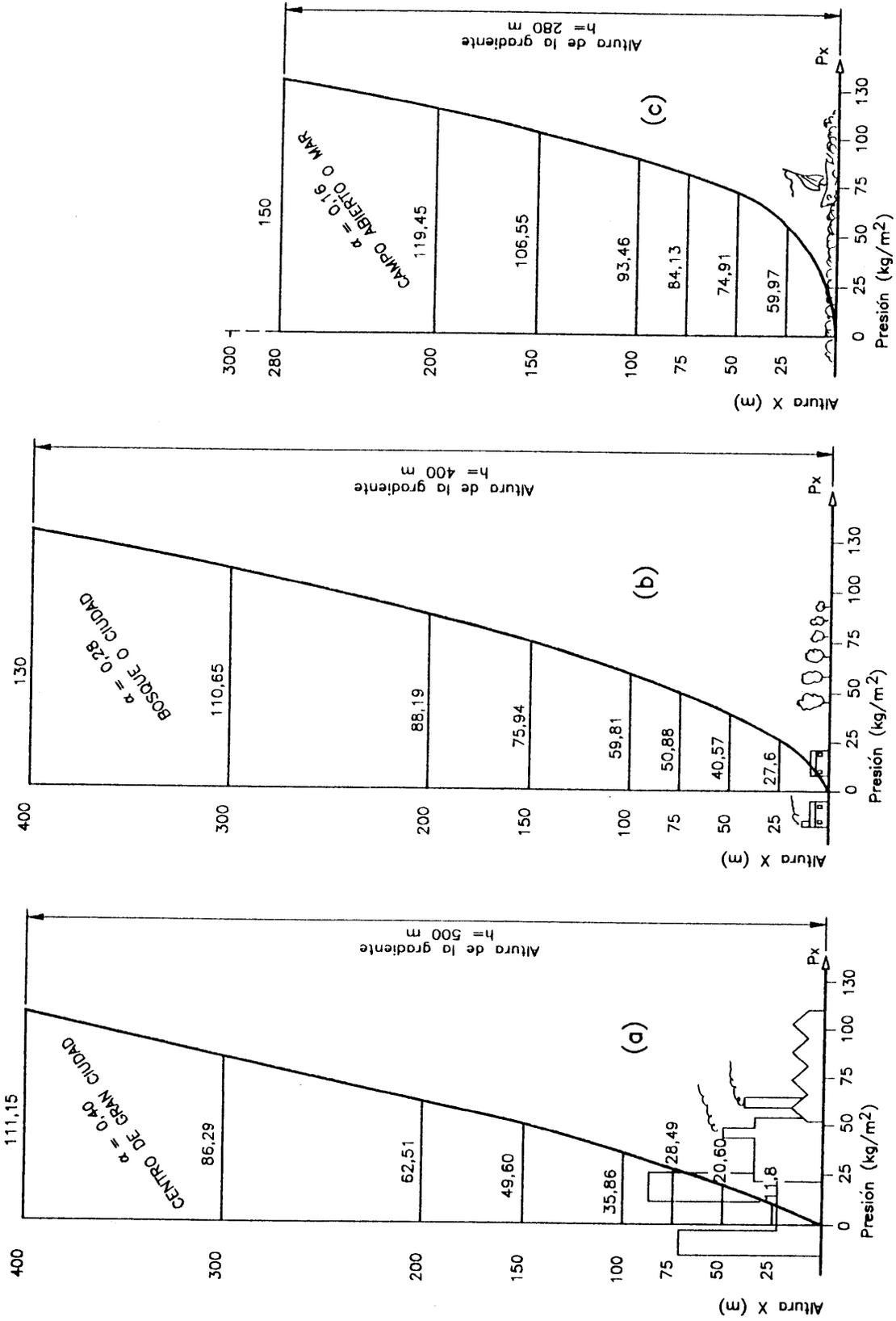
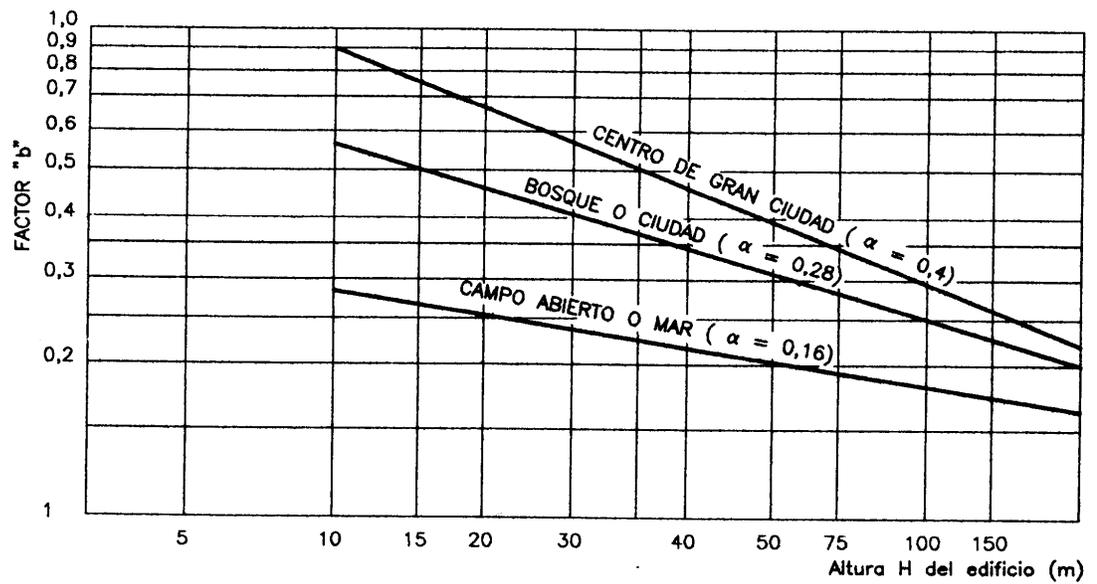
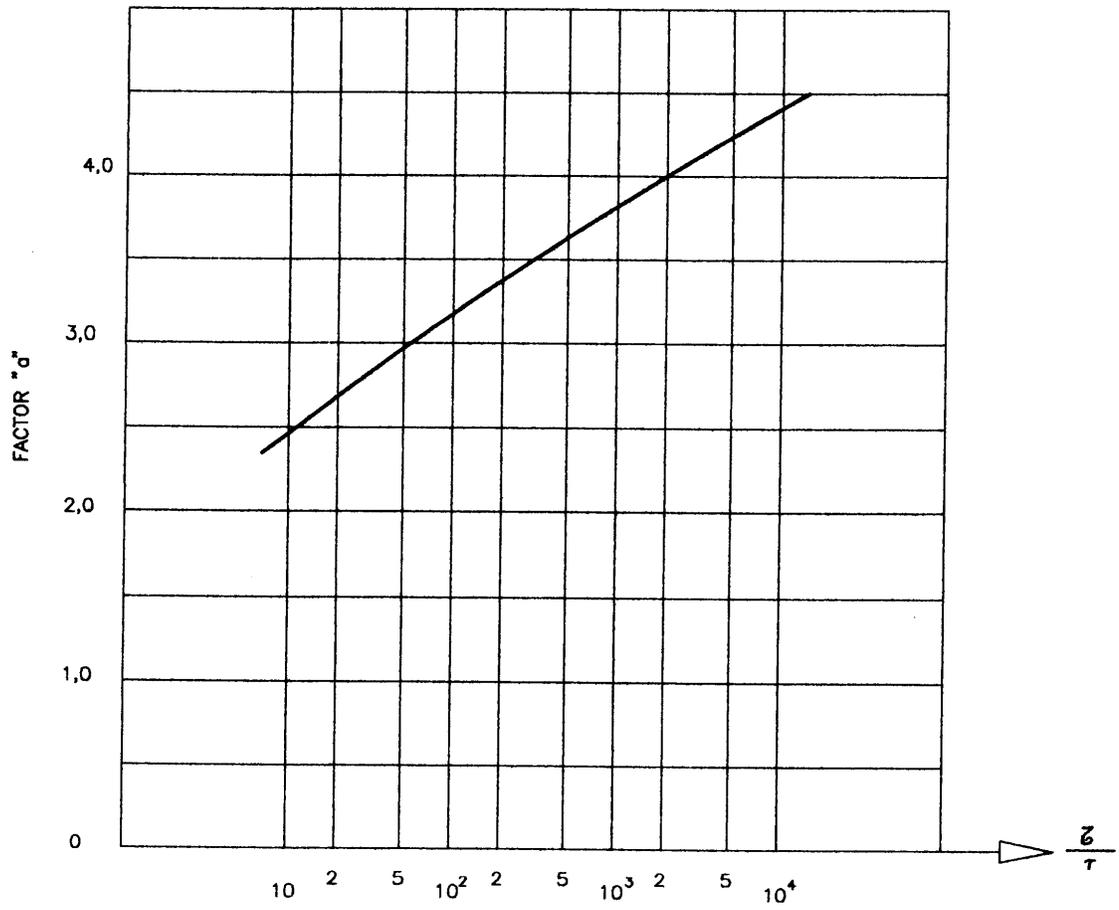


Figura 1 - Gradiente de presiones para velocidades medias, durante una ventisca de duración = 600 segundos que se tomó como "standard".



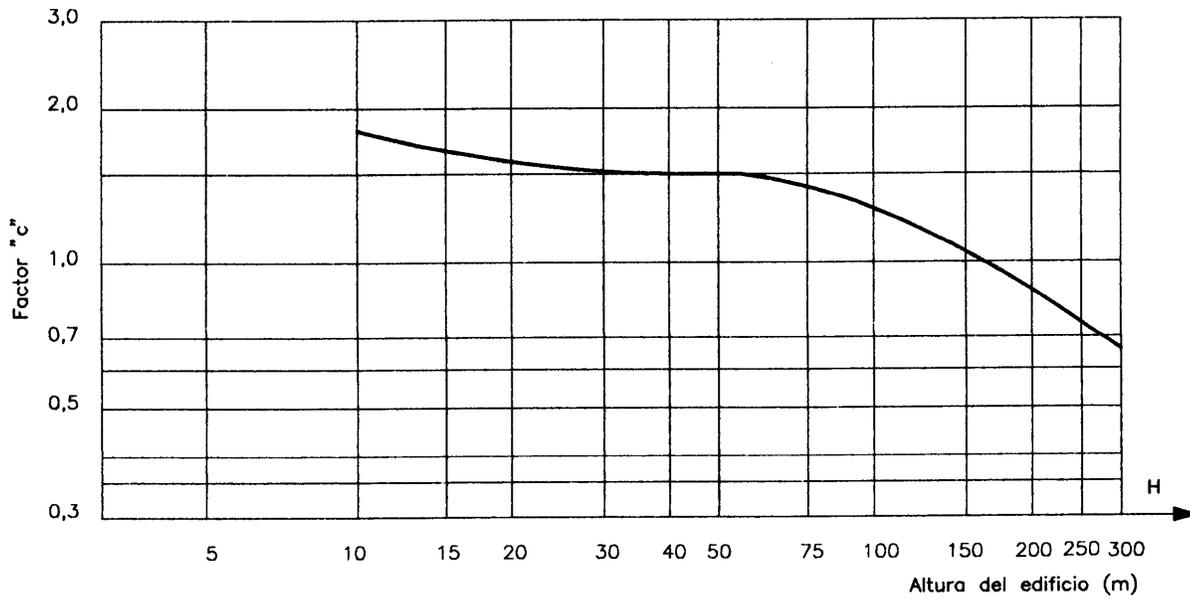


Figura 4

Tabla 4

a	H m	$\lambda$ m	T s	$\beta$	$\tau$	"a"	"b"	"c"	$\frac{\lambda}{H}$	$\mu_H$ m/s	$\frac{H}{T\mu_H}$	S	E	"d"	R	$P_H$ kg/m <sup>2</sup>	$P_{\max}$ kg/m <sup>2</sup>
0,16	20	12	0,4	0,06	1 500	3,98	0,25	1,7	0,6	29,7	1,68	0,016	0,04	0,01	2,30	55	126
0,16	80	18	1,4	0,06	428	3,63	0,21	1,4	0,225	36,9	1,56	0,042	0,12	0,08	1,93	85	164
0,16	150	40	2,5	0,06	240	3,50	0,18	1,1	0,267	41,5	1,45	0,042	0,19	0,13	1,70	107	182
0,28	20	12	0,4	0,06	1 500	3,98	0,46	1,7	0,6	20,0	2,50	0,008	0,00	0,00	3,40	25	85
0,28	80	18	1,4	0,06	428	3,63	0,31	1,4	0,225	29,1	1,97	0,028	0,10	0,04	2,35	52,5	123
0,28	150	40	2,5	0,06	240	3,50	0,25	1,1	0,267	34,9	1,72	0,035	0,17	0,10	1,96	76	149
0,40	20	12	0,4	0,06	1 500	3,98	0,69	1,7	0,6	12,3	4,00	0,003	0,00	0,00	4,60	9,4	43
0,40	80	18	1,4	0,06	428	3,63	0,40	1,4	0,225	21,9	2,61	0,018	0,08	0,02	2,74	30	82
0,40	150	40	2,5	0,06	240	3,50	0,31	1,1	0,267	28,2	2,13	0,024	0,16	0,06	2,17	49,5	107

NCh432

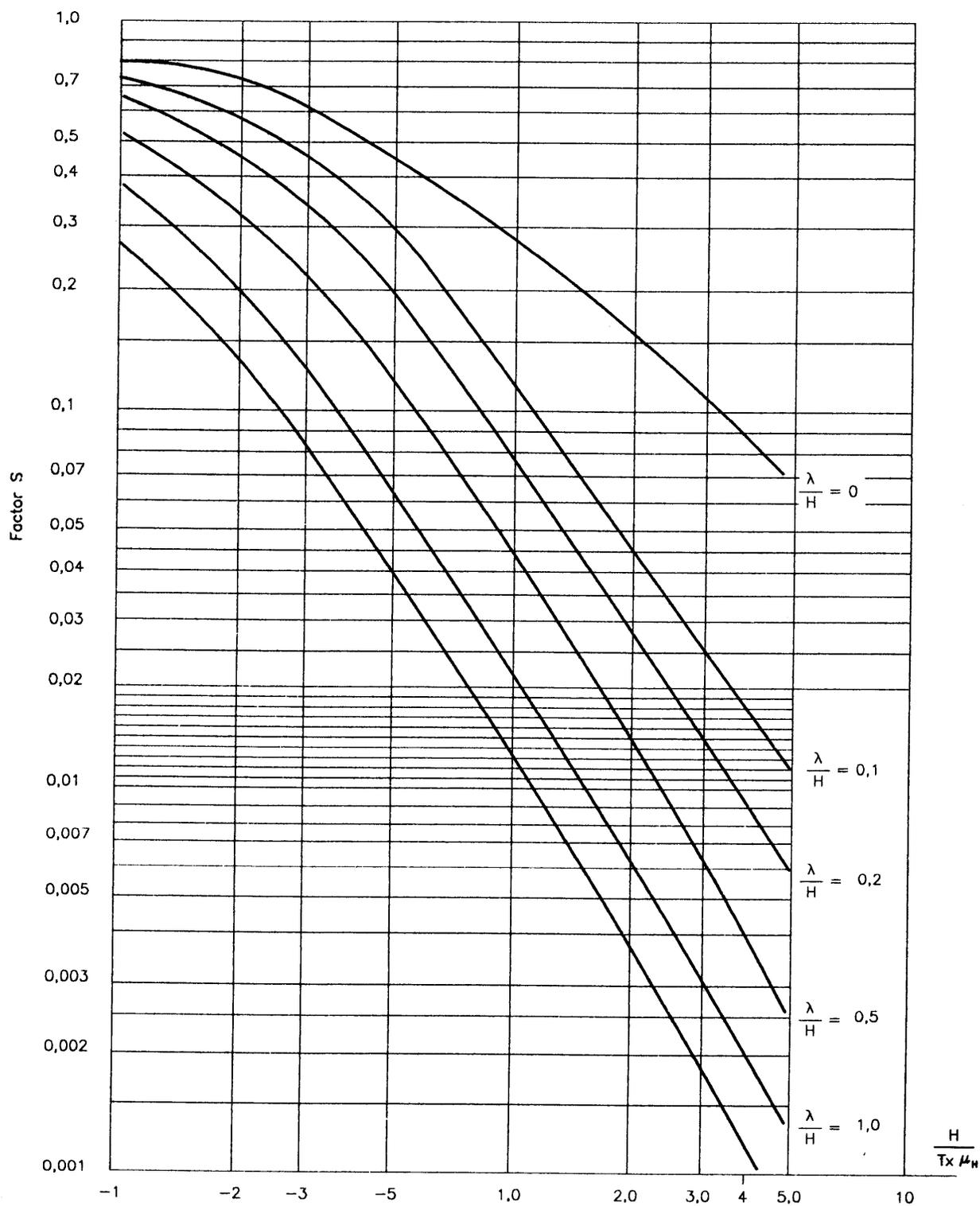


Figura 5

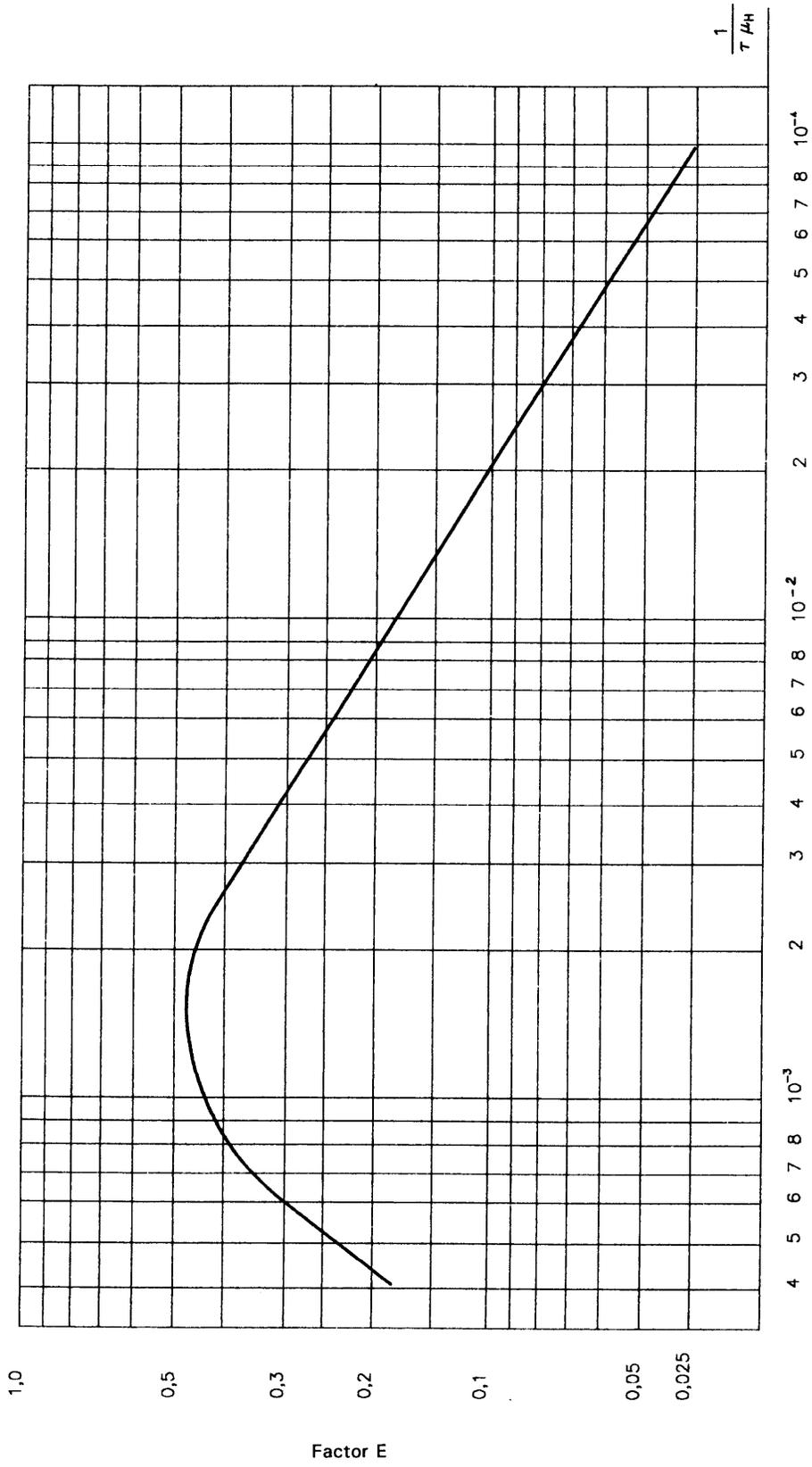


Figura 6

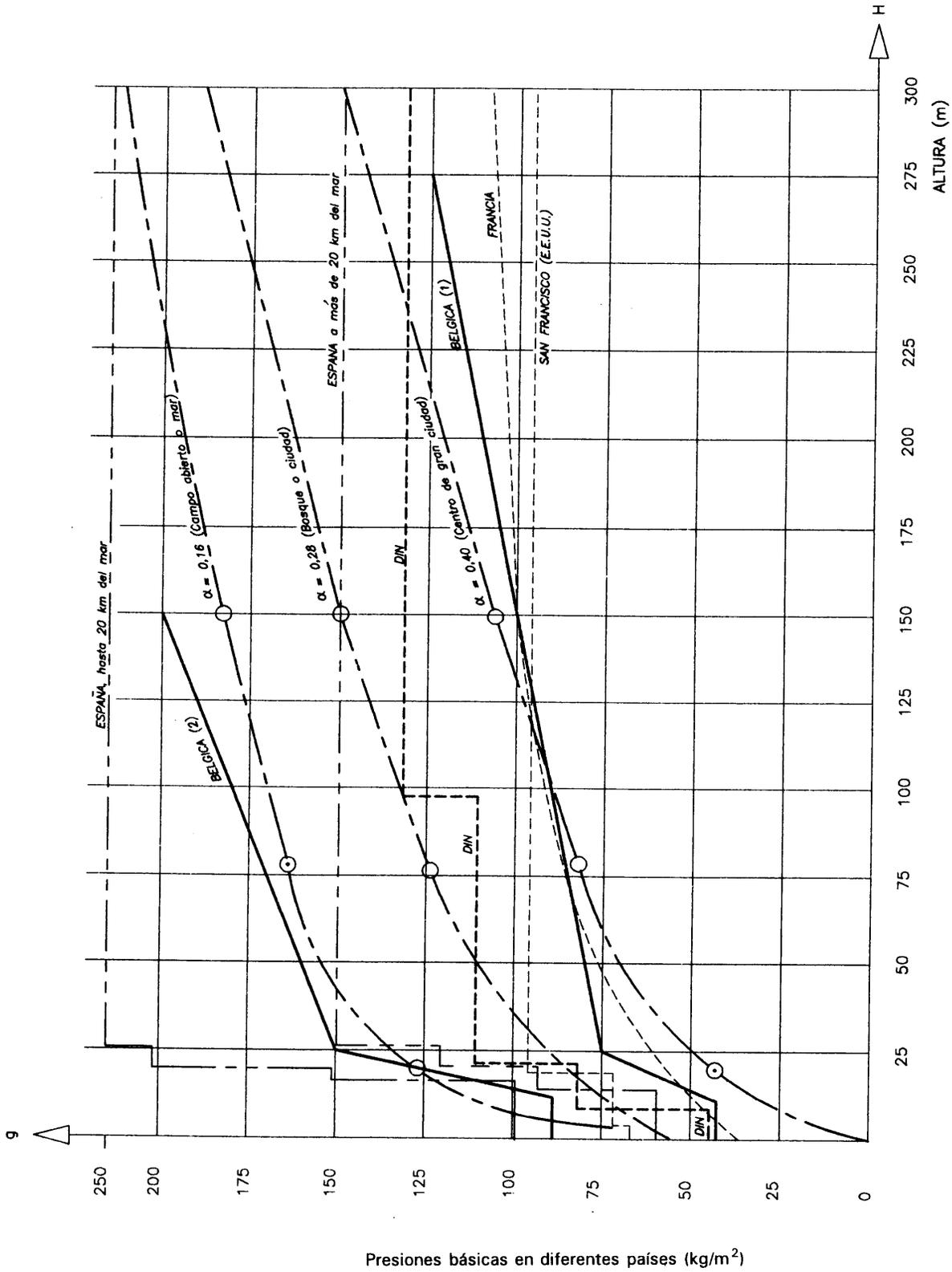


Figura 7

Presiones básicas en diferentes países (kg/m<sup>2</sup>)

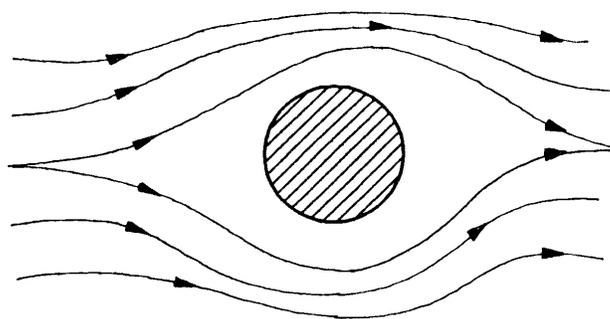
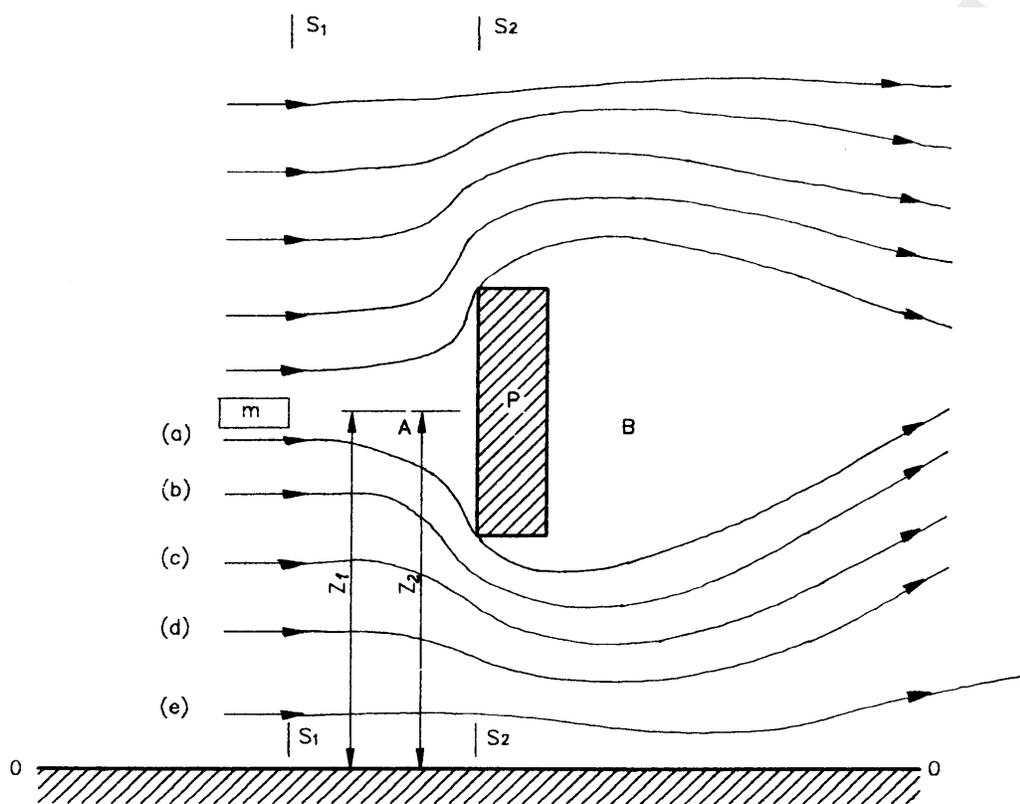


Figura 8

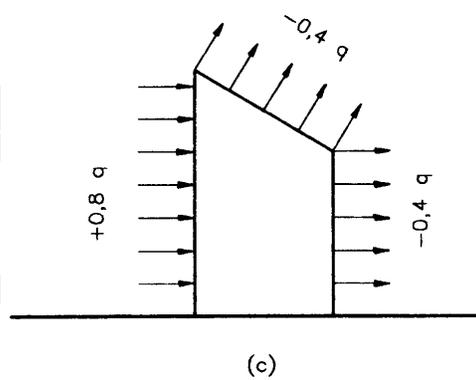
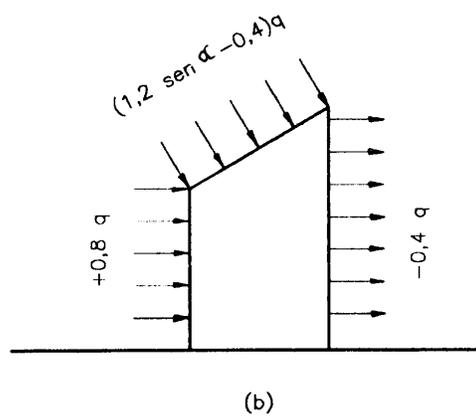
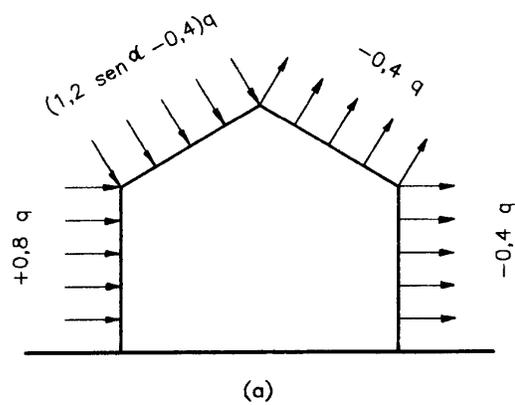


Figura 9

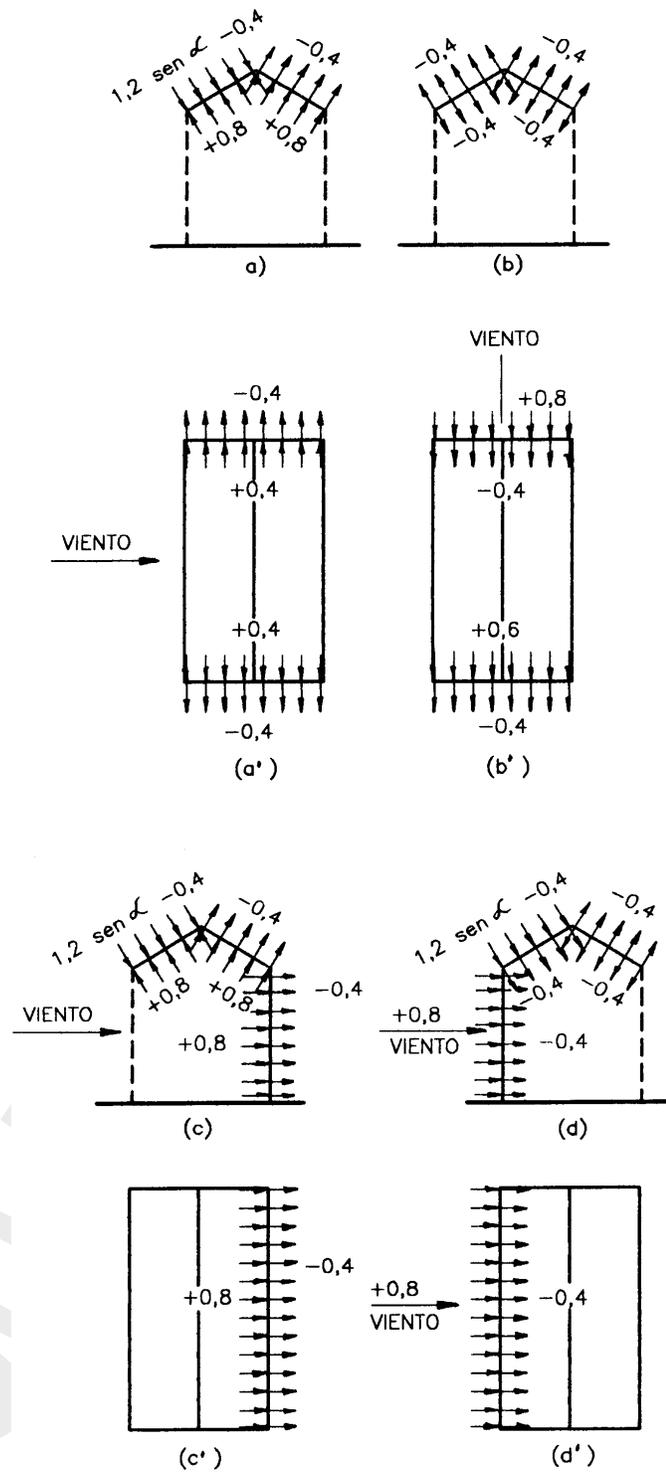


Figura 10

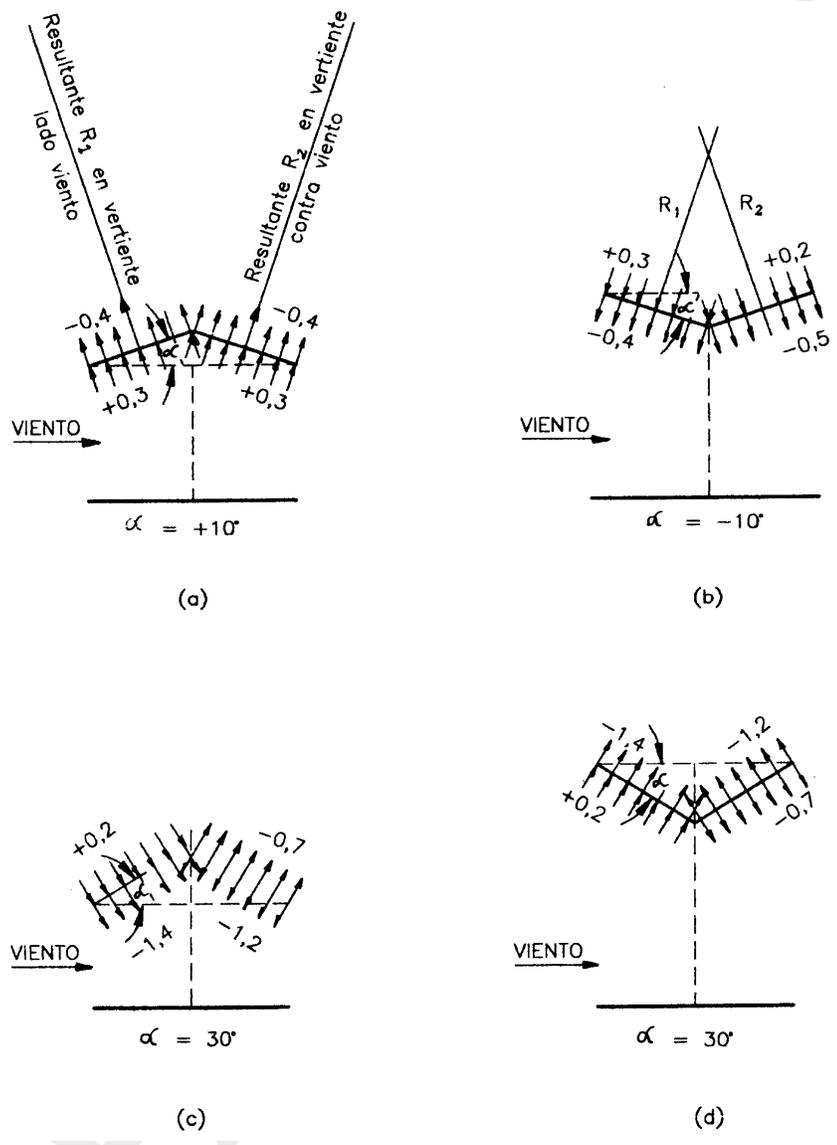


Figura 11

---

NORMA CHILENA OFICIAL

*NCh* 432.Of71

---

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION • INN-CHILE

---

## Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones

*Calculation of the action of wind on structures*

Primera edición : 1971

Reimpresión : 2000

**Descriptores:** *cálculo estructural, cargas, cargas de acción del viento, cálculos matemáticos, diseño estructural, requisitos*

---

CIN 91.080

COPYRIGHT © 1975 : INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION - INN

\* Prohibida reproducción y venta \*

Dirección : Matías Cousiño N° 64, 6° Piso, Santiago, Chile

Casilla : 995 Santiago 1 - Chile

Teléfonos : + (56 2) 441 0330 • Centro de Documentación y Venta de Normas (5° Piso) : + (56 2) 441 0425

Telefax : + (56 2) 441 0427 • Centro de Documentación y Venta de Normas (5° Piso) : + (56 2) 441 0429

Web : [www.inn.cl](http://www.inn.cl)

Miembro de : ISO (International Organization for Standardization) • COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas)