



INTI
Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Reglamento CIRSOC 102-1



Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales
de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI

Acción dinámica del Viento sobre las Construcciones

Julio 1982



INTI
Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Reglamento CIRSOC 102-1



Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales
de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI

Acción dinámica del Viento sobre las Construcciones

Julio 1982

**APROBADO POR RESOLUCIONES DEL
MOySP N° 977/83 y 621/84 y
SSOP N° 59/90 y 3/91**



E-mail: cirsoc@mecon.gov.ar
cirsoc@inti.gov.ar

Internet: www.inti.gov.ar/cirsoc

Primer Director Técnico († 1980): Ing. Luis María Machado

Directora Técnica: Inga. Marta S. Parmigiani

Coordinadora Área Acciones: Inga. Alicia M. Aragno

Área Estructuras de Hormigón: Ing. Daniel A. Ortega

Área Administración, Finanzas y Promoción: Mónica B. Krotz

Área Venta de Publicaciones: Néstor D. Corti

© 1999

**Editado por INTI
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL
Av. Leandro N. Alem 1067 – 7° piso – Buenos Aires. Tel. 4515-5000**

Queda hecho el depósito que fija la ley 11.723. Todos los derechos, reservados.

Prohibida la reproducción parcial o total sin autorización escrita del editor. Impreso en la Argentina.

Printed in Argentina.



ORGANISMOS PROMOTORES

Ministerio de Obras y Servicios Públicos
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires
Secretaría de Estado de Desarrollo Urbano y Vivienda
Empresa Obras Sanitarias de la Nación
Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires
Comisión Nacional de Energía Atómica
Empresa del Estado Agua y Energía Eléctrica
Dirección Nacional de Vialidad
HIDRONOR SA

MIEMBRO ADHERENTE

Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas

ASESORES QUE INTERVINIERON EN LA REDACCIÓN DEL REGLAMENTO CIRSOC 102

Coordinador : Ing. Hilario Fernández Long

Asesores : Ing. Juan Carlos Reimundín
Ing. Roberto Cudmani

Asesor
Honorario : Ing. Cleto Agosti

– INDICE –

CAPÍTULO 1	GENERALIDADES	1
1.1.	INTRODUCCIÓN	1
1.2.	CAMPO DE VALIDEZ	1
CAPÍTULO 2	ACCIONES PARALELAS AL VIENTO	3
2.1.	FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS	3
2.2.	HIPÓTESIS BÁSICAS	4
2.3.	PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO	5
2.3.1.	Datos	5
2.3.1.1.	Dimensiones de la construcción	5
2.3.1.2.	Características dinámicas de la construcción	5
2.3.1.3.	Velocidad básica de diseño (V_0)	6
2.3.1.4.	Características del emplazamiento de la construcción	6
2.3.1.5.	Características aerodinámicas de la construcción	6
2.3.2.	Parámetros auxiliares	6
2.3.3.	Factor de ráfaga	9
2.3.4.	Presión dinámica de cálculo	9
2.3.5.	Cálculo de las aceleraciones	20
2.4.	ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO	21
CAPÍTULO 3	ACCIONES PERPENDICULARES A LA DIRECCION DEL VIENTO	23
3.1.	INTRODUCCIÓN	23
3.2.	CÁLCULO DE LA RESONANCIA	23
3.2.1.	Componente perpendicular a la dirección del viento	23
3.2.1.1.	Velocidad crítica	23
3.2.1.2.	Fuerzas de deriva	24
3.2.2.	Componente paralela a la dirección del viento	24
3.2.3.	Combinación de las acciones dinámicas	25

CAPÍTULO 4	CÁLCULO DEL PERIODO EN SISTEMAS DE	
	FORMA SIMPLE	27
4.1.	INTRODUCCIÓN	27
4.2.	ESQUEMATIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA	27
4.3.	ESTRUCTURAS QUE PRESENTAN UNA MASA CONCENTRADA EN EL EXTREMO SUPERIOR	27
4.3.1.	Caso a) Soporte de masa despreciable	28
4.3.2.	Caso b) Soporte de masa no despreciable	28
4.4.	ESTRUCTURAS QUE PRESENTAN MASA REPARTIDA EN TODA LA ALTURA	29
4.4.1.	Prismas o cilindros de sección constante	29
4.4.2.	Troncos de cono de sección homotética	29
4.4.3.	Troncos de cono o pirámide cualesquiera	31
4.5.	ESTRUCTURAS QUE PRESENTAN MASAS DISCRETAS	33
4.5.1.	Fórmulas aproximadas de Rayleigh	33
4.5.1.1.	Procedimiento I	33
4.5.1.2.	Procedimiento II	34
4.5.2.	Fórmulas simplificadas aplicables a edificios de vivienda	34
4.5.3.	Métodos exactos	36

CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION

Bajo la acción del viento, las construcciones reciben fuerzas aerodinámicas que actúan en dirección paralela y perpendicular al flujo. Las primeras son generalmente dominantes y se designan como acciones paralelas al viento, en tanto que las segundas se denominan acciones transversales al viento.

Para ciertas estructuras, en particular aquellas con bajo amortiguamiento, las que forman parte de construcciones livianas y las que muestran una acusada flexibilidad, las acciones mencionadas pueden dar lugar a efectos dinámicos causados por la turbulencia del viento, los que deben ser contemplados en el análisis.

El procedimiento basado en el "factor de ráfaga" que se desarrolla en esta Recomendación permite considerar en forma práctica la respuesta dinámica en la dirección paralela al viento de construcciones prismáticas o cuasiprismáticas en las que pueda suponerse el primer modo, o modo fundamental de vibración, como dominante y de forma aproximadamente lineal.

Con referencia a las acciones transversales, el problema fundamental radica en la falta de métodos teóricos apropiados para evaluar la respuesta de la construcción frente a dichas sollicitaciones, en particular en el caso de edificios altos. Estudios experimentales han demostrado sin embargo, que en tales casos la respuesta transversal al viento puede tornarse crítica con respecto a las aceleraciones (problemas de confort), no así con referencia a las tensiones. Para la predicción de tal respuesta, la única técnica corrientemente disponible es el ensayo de túneles de viento.

Particularmente importante es el estudio de las acciones transversales en construcciones prismáticas esbeltas de base poligonal regular o circular, caso de chimeneas, torres, mástiles, etc., debido al fenómeno de resonancia que puede presentarse al coincidir el período de oscilación de la construcción con el período de los torbellinos que provocan las acciones transversales, llamados de Bénard - Karman. Para estos sistemas relativamente simples podrá aplicarse el procedimiento presentado en el Capítulo 3.

1.2. CAMPO DE VALIDEZ

Esta Recomendación se podrá aplicar en todos los proyectos de estructuras resistentes de cualquier material, con período fundamental superior a un segundo o amortiguamiento inferior al 1% del valor crítico, en los que se deba estudiar la acción dinámica del viento.

CAPITULO 2. ACCIONES PARALELAS AL VIENTO

2.1. FUNDAMENTOS DE ANALISIS

El desplazamiento total instantáneo de un punto de la construcción en la dirección del viento pueda interpretarse como suma de dos términos:

- El desplazamiento medio producido por la presión media del viento $\bar{x}(z)$.
- el desplazamiento fluctuante debido a la turbulencia, variable con el tiempo, con valor máximo $x_{m\acute{a}x}(z)$.

El desplazamiento máximo en el punto considerado resulta:

$$X_{m\acute{a}x}(z) = \bar{x}(z) + x_{m\acute{a}x}(z)$$

siendo:

$X_{m\acute{a}x}(z)$ el desplazamiento máximo en el punto considerado;

$\bar{x}(z)$ el desplazamiento medio producido por la presión media del viento;

$x_{m\acute{a}x}(z)$ el desplazamiento fluctuante máximo debido a la turbulencia.

Se define como factor de ráfaga a la relación:

$$G(z) = 1 + \frac{x_{m\acute{a}x}(z)}{\bar{x}(z)}$$

siendo:

$G(z)$ el factor de ráfaga;

$x_{m\acute{a}x}(z)$ el desplazamiento fluctuante máximo debido a la turbulencia;

$\bar{x}(z)$ el desplazamiento medio producido por la presión media del viento.

Por lo tanto puede escribirse:

$$X_{m\acute{a}x}(z) = G(z) \cdot \bar{x}(z)$$

siendo:

$X_{m\acute{a}x}(z)$ el desplazamiento máximo en el punto considerado;

$G(z)$ el factor de ráfaga;

$\bar{x}(z)$ el desplazamiento medio producido por la presión media del viento.

Si se admite que el comportamiento de la estructura es elástico lineal, es posible definir una acción esttica equivalente que inducir en aquellas desplazamientos iguales a aquellos causados por el viento turbulento. Es decir:

$$q'_z = G(z) \cdot c_z \cdot C_2 \cdot q_0$$

siendo:

q'_z la presión dinámica de cálculo;

$G(z)$ el factor de ráfaga;

c_z el coeficiente que expresa la variación de la velocidad del viento con altura y la rugosidad del terreno;

C_2 el factor de corrección de c_z ;

q_0 la presión dinámica básica.

En virtud de que en el análisis dinámico deben utilizarse acciones medias correspondientes a intervalos de tiempo relativamente prolongados, los valores de c_z en esta ecuación fueron afectados de un factor de corrección C_2 para tener en cuenta velocidades medias horarias en lugar de velocidades medias computadas sobre la base de intervalos de tres segundos.

2.2. HIPOTESIS BASICAS

Se resumen a continuación las hipótesis sobre las cuales está basado el procedimiento de cálculo descrito en la presente recomendación:

- a) El comportamiento de la estructura es elástico lineal.
- b) El modo fundamental de vibración es una función lineal de la altura sobre el terreno.
- c) La contribución de los modos superiores al primero a la respuesta de la estructura se considera despreciable. Como consecuencia de ello, $G(z) = G = \text{constante}$.
- d) La velocidad media del viento es promediada sobre intervalos de una hora.
- e) La variación de la velocidad media del viento con la altura responde a la ley logarítmica:

$$V(z) = V_0 \cdot \frac{\ell_n\left(\frac{z}{z_{0,i}}\right)}{\ell_n\left(\frac{10}{z_{0,I}}\right)} \cdot \left(\frac{z_{0,i}}{z_{0,I}}\right)^{0,0706}$$

siendo:

- $V(z)$ la velocidad media del viento en el punto considerado;
- V_0 la velocidad básica de diseño, expresada en metros por segundo;
- z la altura del punto considerado respecto del nivel de referencia, expresada en metros;
- $z_{0,i}$ un parámetro que depende del tipo de rugosidad i del terreno (según Tabla 3 del Reglamento CIRSOC 102-1994 "Acción del viento sobre las construcciones");
- $z_{0,I}$ el parámetro $z_{0,i}$ correspondiente al tipo de rugosidad I , adoptado como referencia.

2.3. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

2.3.1. Datos

2.3.1.1. Dimensiones de la construcción

- h Altura de la construcción referida al terreno, expresada en metros.
- b Ancho de la construcción normal al viento, expresada en metros.
- a Ancho de la construcción en la dirección del viento, expresada en metros.
- d Ancho de la superficie maestra en construcciones de base poligonal regular o construcciones cilíndricas, expresado en metros.

2.3.1.2. Características dinámicas de la construcción

- T Período del modo fundamental de vibración, expresado en segundos.
- ξ Relación de amortiguamiento crítico para el modo fundamental, expresada como porcentaje. A falta de datos más precisos podrán usarse los valores de la Tabla 1.
- $m(z)$ Masa por unidad de altura, a la altura z , expresada en kilogramos por metro.
- m_0 Masa de referencia por unidad de altura, expresada en kilogramos por metro.

Tabla 1. Relación de amortiguamiento crítico ξ .

Tipo de construcción	ξ
Edificios con estructura de hormigón armado, con tabiques o divisiones de mampostería de ladrillo. Construcciones de mampostería.	0,020
Edificios con estructura de acero soldado y divisiones de paneles livianos.	0,010
Torres y chimeneas de hormigón armado.	0,015
Torres y chimeneas de hormigón pretensado.	0,010
Torres, chimeneas y antenas de acero soldado.	0,005
Torres, chimeneas y antenas de acero roblonado.	0,010
Estructuras de madera.	0,030

2.3.1.3. Velocidad básica de diseño V_0

Se determinará como se especifica en el artículo 5.2.2. del Reglamento CIRSOC 102–1994 "Acción del viento sobre las construcciones".

2.3.1.4. Características del emplazamiento de la construcción

De acuerdo con los tipos de rugosidad definidos en la Tabla 3 del Reglamento CIRSOC 102–1994 "Acción del viento sobre las construcciones", en la Tabla 2 se indican los parámetros $z_{0,i}$ y C .

Tabla 2. Parámetros $z_{0,i}$ y C en función del tipo de rugosidad.

Tipo de Rugosidad	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
$z_{0,i}$	0,005	0,05	0,20	0,50
C	29,0	25,0	22,5	21,0

2.3.1.5 Características aerodinámicas de la construcción

c_{EO} Coeficiente global de empuje básico, establecido para cada tipo de construcción en los Capítulos 6 a 10 del Reglamento CIRSOC 102–1994 "Acción del viento sobre las construcciones".

2.3.2. Parámetros auxiliares

Se determinarán los siguientes parámetros:

$$a) \quad f = C \cdot \frac{h}{V_o \cdot T}$$

siendo:

- f** un parámetro;
- C** un parámetro dado en la Tabla 2;
- h** la altura de la construcción referida al terreno, expresada en metros;
- V_o** la velocidad básica de diseño;
- T** el período de la construcción, expresado en segundos; (según el Capítulo 4).

$$b) \quad \zeta = C_1 \cdot \frac{\Delta}{V_o \cdot T}$$

siendo:

- ζ** un parámetro;
- Δ** el menor valor entre a, b y h, expresado en metros;
- T** el período del modo fundamental de vibración;
- C₁** el factor dado en la Figura 1 en función de **z_{o,i}** y **h**. Su expresión es la siguiente:

$$C_1 = \frac{C}{2,5 \cdot [\ell_n(h) + (\ell_n(2) - \ell_n(3 \cdot z_{o,i}))]}$$

donde:

- h** la altura de la construcción referida al terreno;
- z_{o,i}** un parámetro que depende de la rugosidad **i** del terreno.

$$c) \quad r = \frac{0,529 + 0,471 \cdot N}{1000 \cdot \xi} \cdot Y$$

siendo:

- r** un parámetro;
- N** el coeficiente que se extrae de la Figura 2 en función de **ζ**;
- ξ** la relación de amortiguamiento crítico dado en la Tabla 1;
- Y** un coeficiente que se extrae de las Figuras 3 a 10 en función de **f**, $\frac{z_{o,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$.

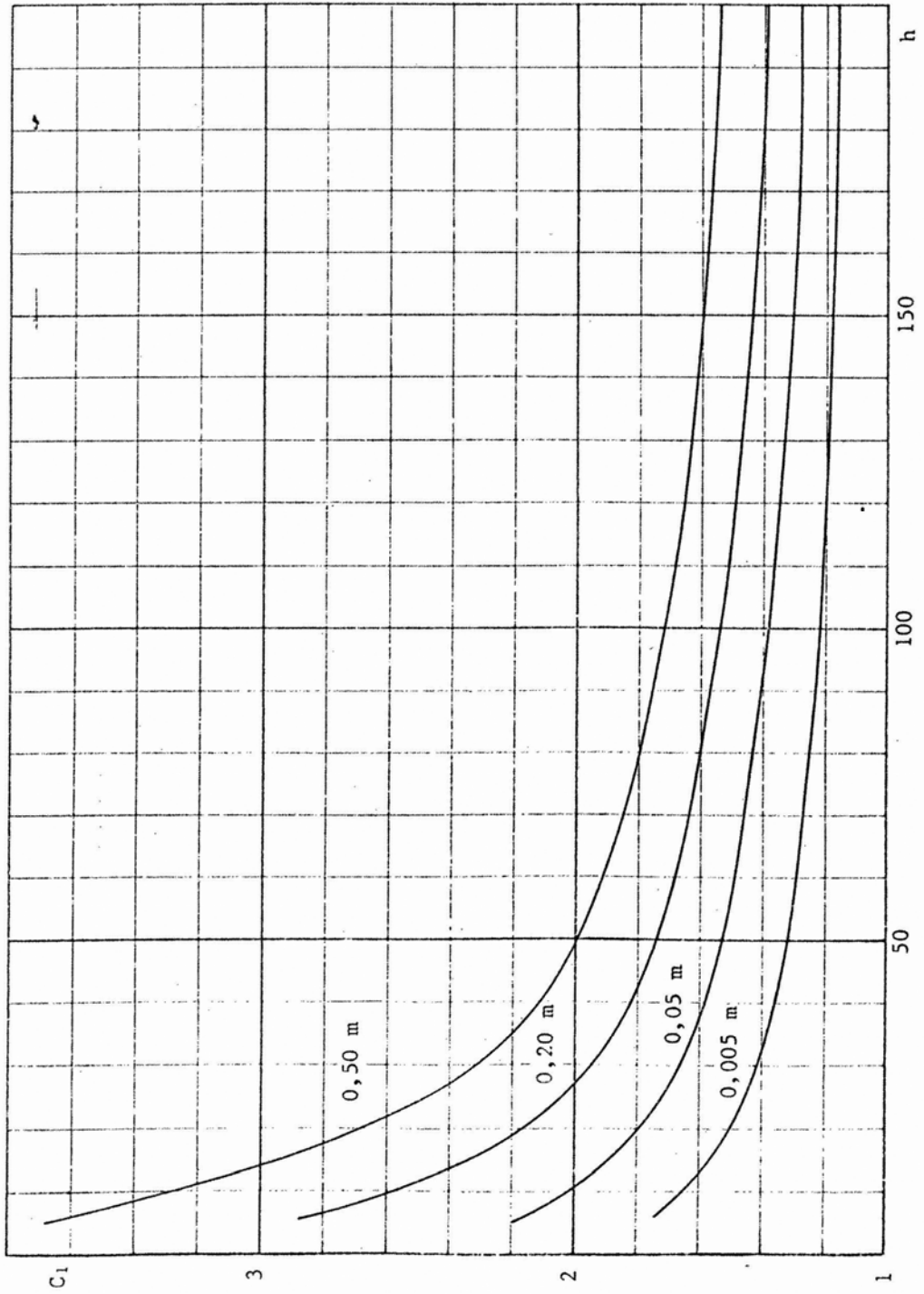


Figura 1. Valores de C_1 en función del parámetro $z_{0,i}$.

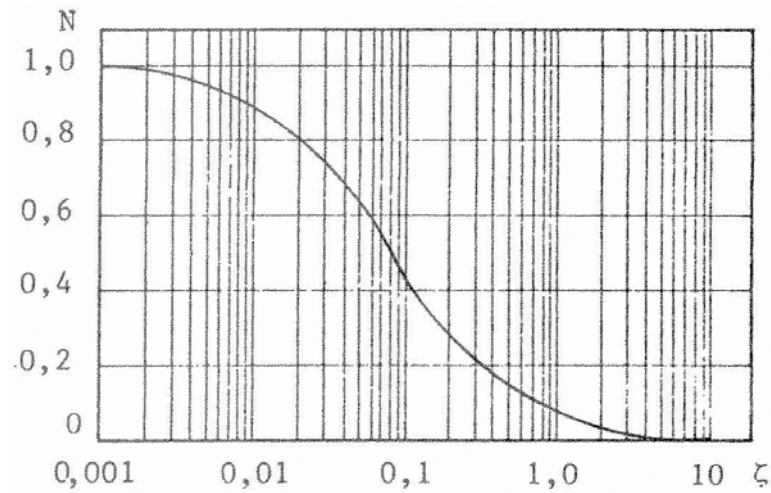


Figura 2.

$$d) \quad v = \frac{1}{T} \cdot \sqrt{\frac{r}{B+r}}$$

siendo:

v un parámetro;

r el parámetro definido en el artículo 2.3.2. c);

B un coeficiente que se extrae de la Figura 11 en función de: $\frac{z_{o,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$;

T el período del modo fundamental de vibración.

2.3.3. Factor de ráfaga

Definido en el artículo 2.1. está dado por la expresión:

$$G = 1 + 1,234 \cdot K \cdot \frac{\sqrt{B+r}}{J}$$

siendo:

G el factor de ráfaga;

K el factor de pico dado en la Figura 13 en función de v ;

B el coeficiente que se extrae de la Figura 11 en función de $\frac{z_{o,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$;

r un parámetro definido en el artículo 2.3.2.c);

J el coeficiente dado en la Figura 12 en función de $\frac{z_{o,i}}{h}$.

2.3.4. Presión dinámica de cálculo

La presión dinámica que incluye el efecto de la turbulencia del viento sobre la construcción se determina mediante la siguiente expresión:

$$q'_z = G \cdot c_z \cdot C_2 \cdot q_0$$

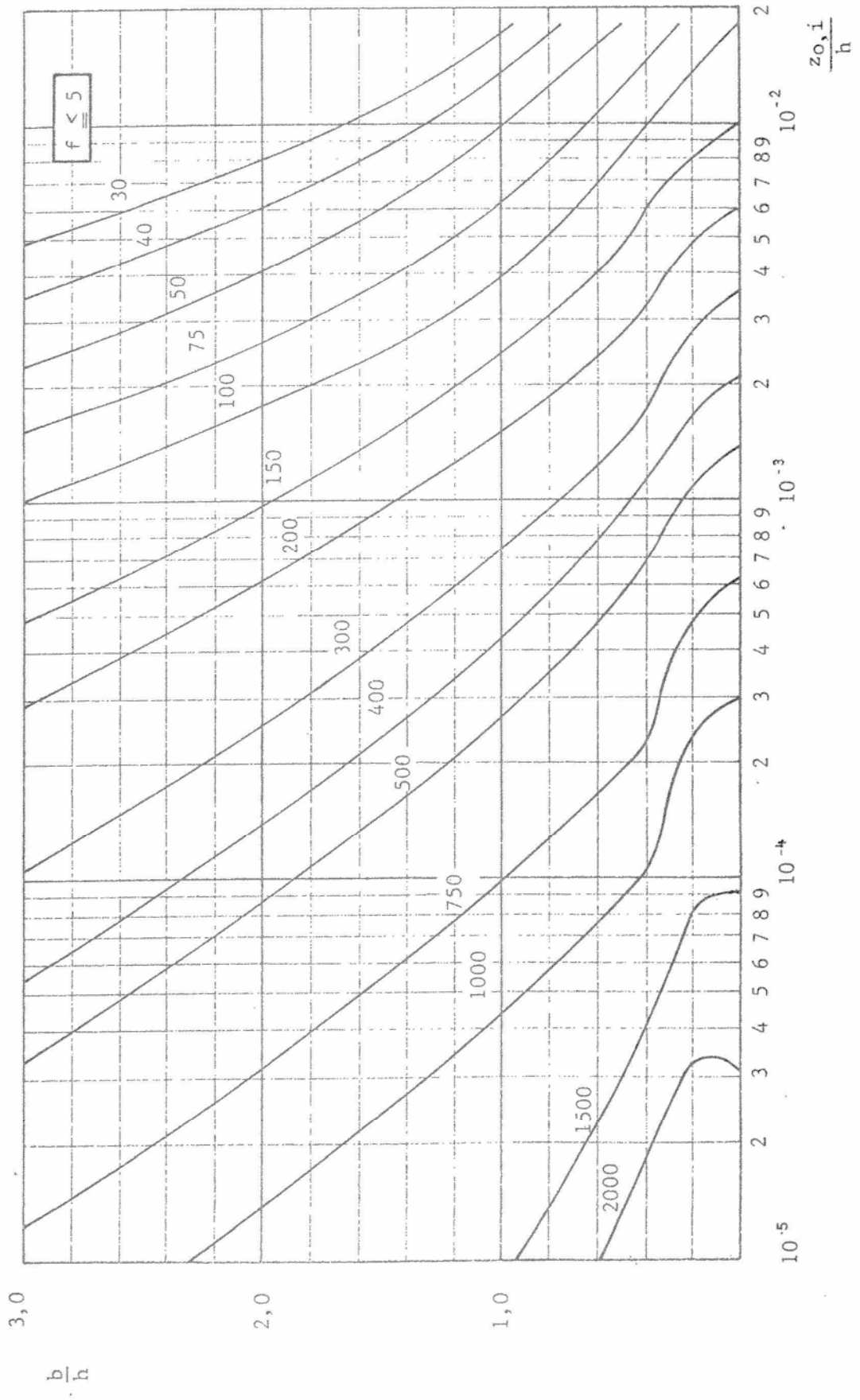


Figura 3. Valores del coeficiente Y en función de $\frac{z_{0,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$ para $f \leq 5$

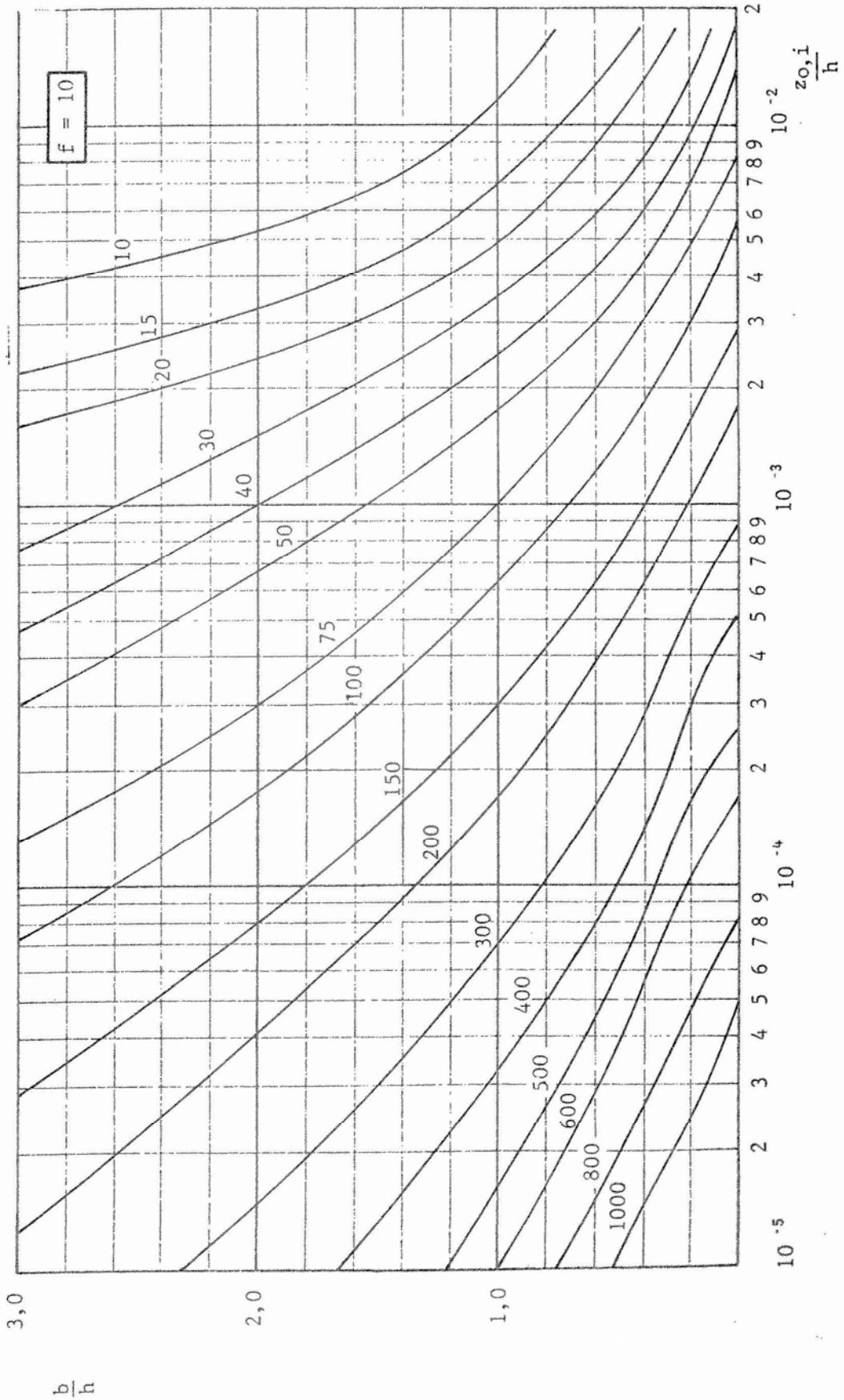


Figura 4. Valores del coeficiente Y en función de $\frac{z_{0,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$ para $f = 10$

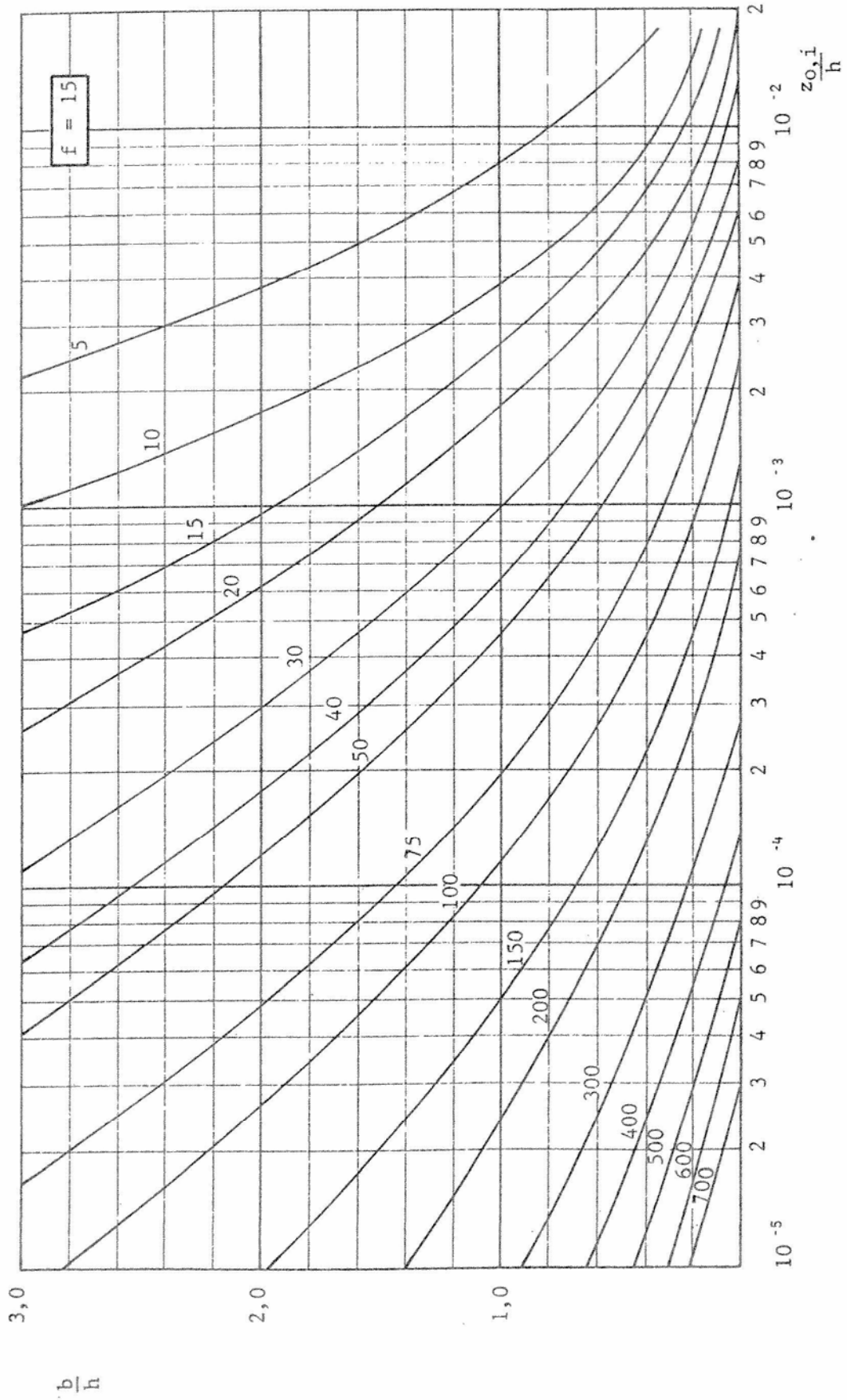


Figura 5. Valores del coeficiente Y en función de $\frac{z_{0,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$ para $f = 15$

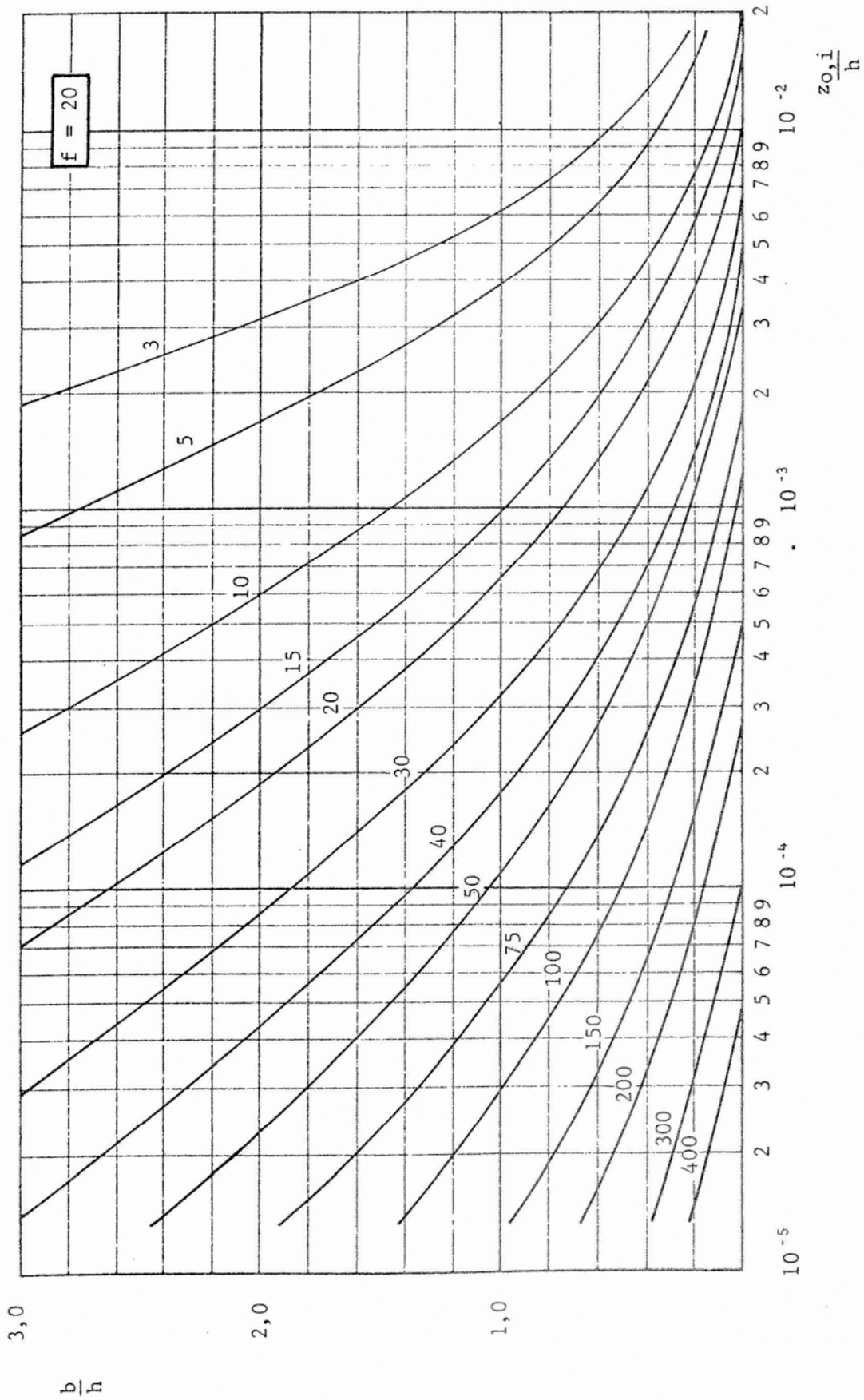


Figura 6. Valores del coeficiente Y en función de $\frac{z_{0,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$ para $f = 20$

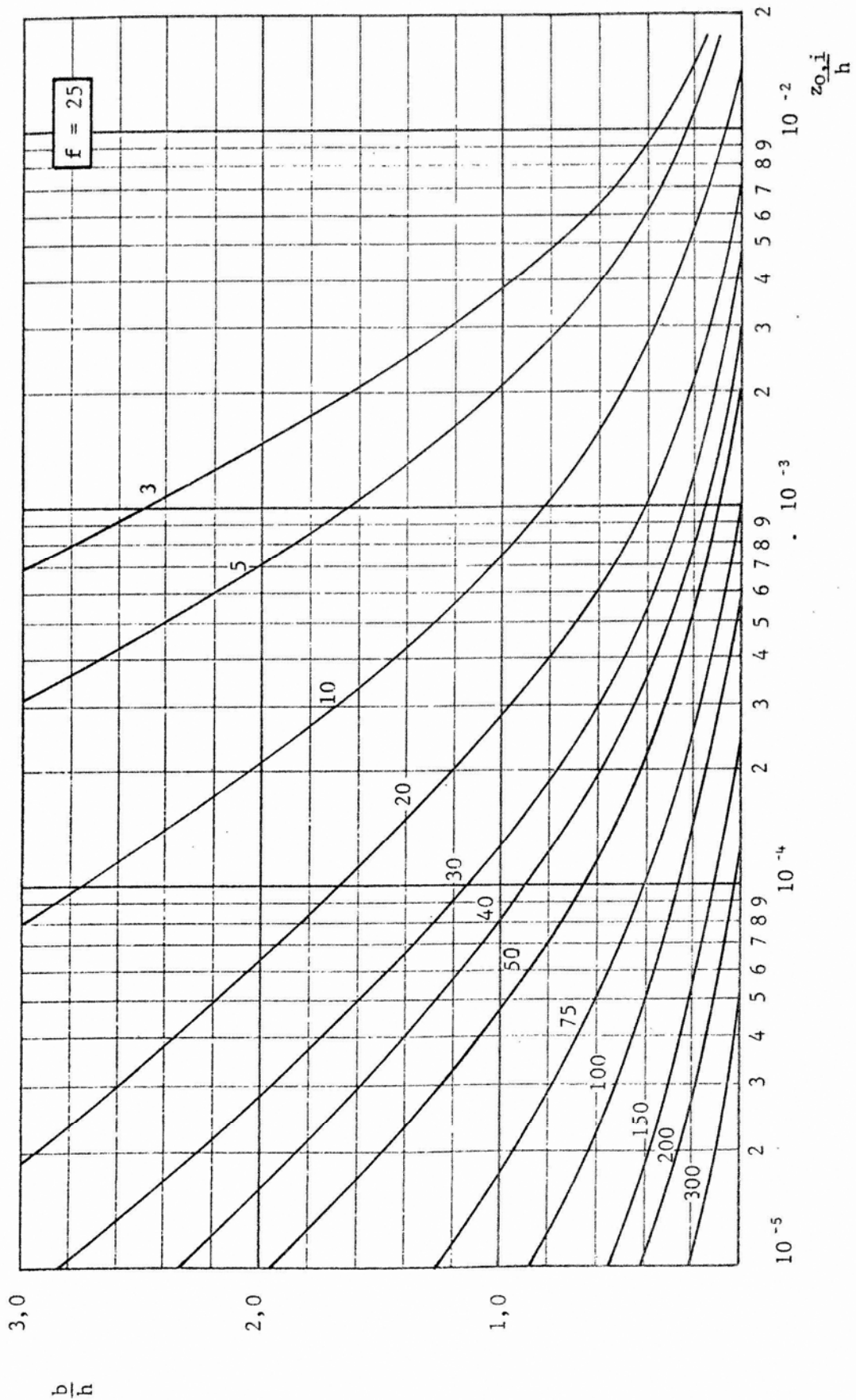


Figura 7. Valores del coeficiente Y en función de $\frac{z_{0,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$ para $f = 25$

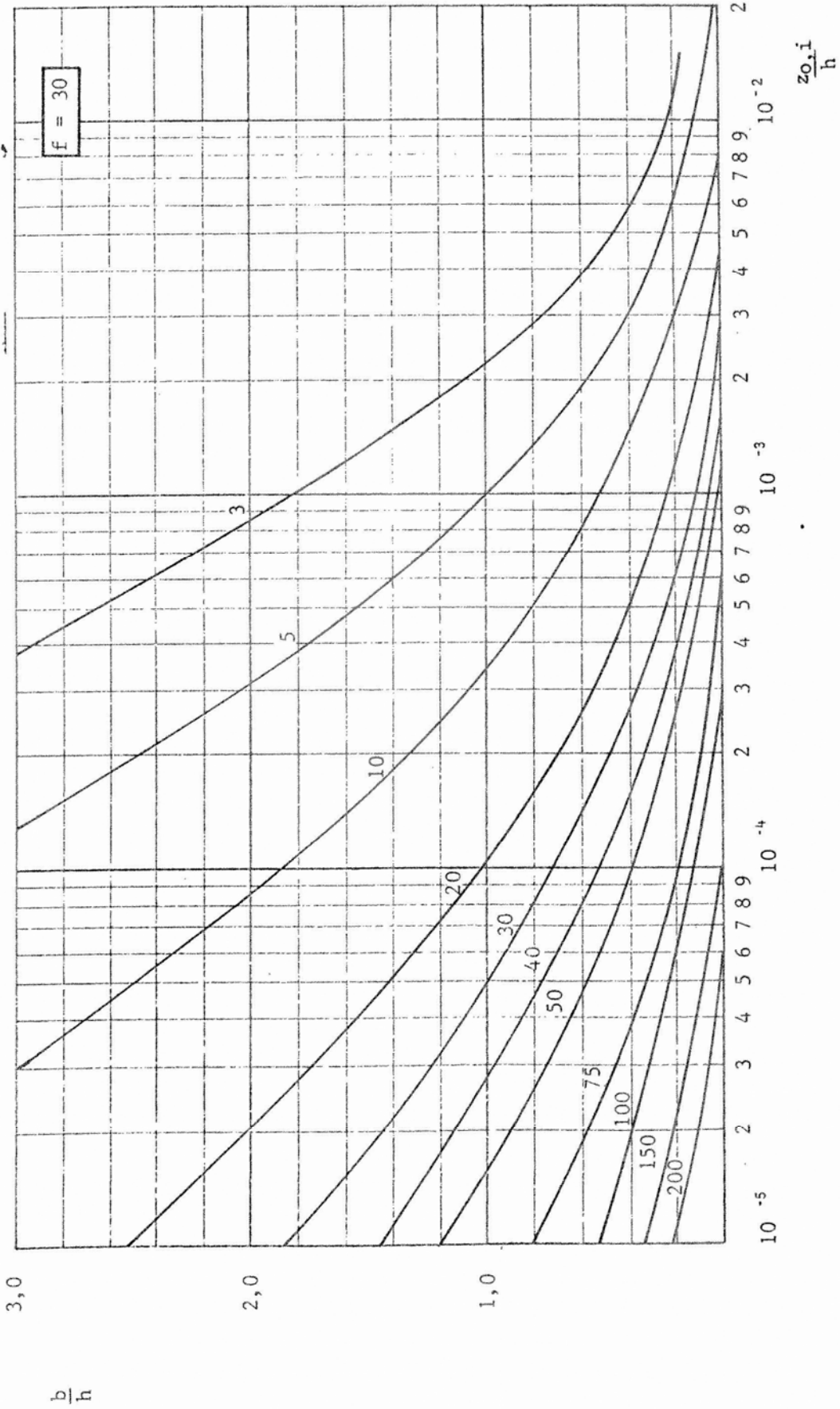


Figura 8. Valores del coeficiente Y en función de $\frac{z_{0,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$ para $f = 30$

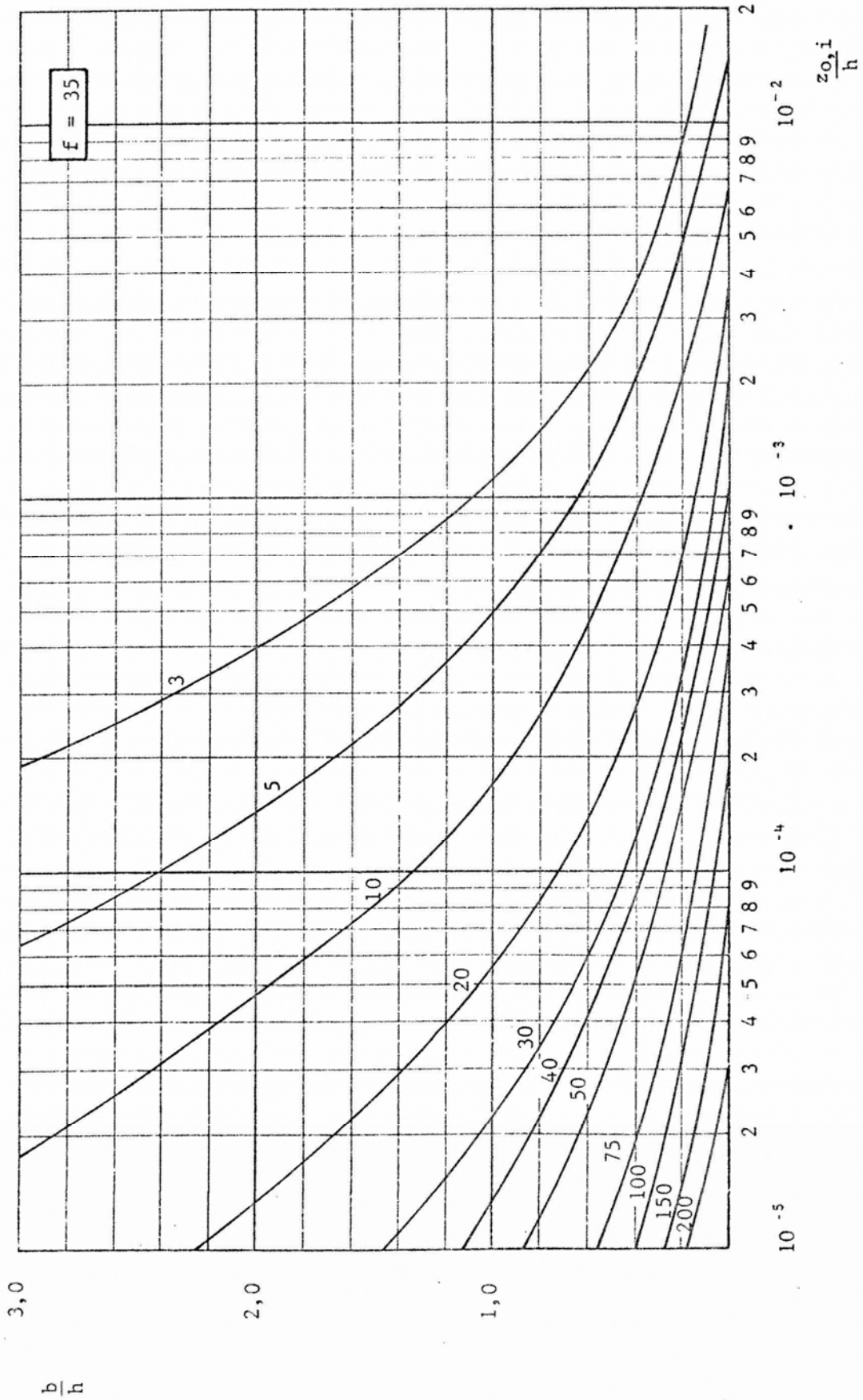


Figura 9. Valores del coeficiente Y en función de $\frac{z_{0,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$ para $f = 35$

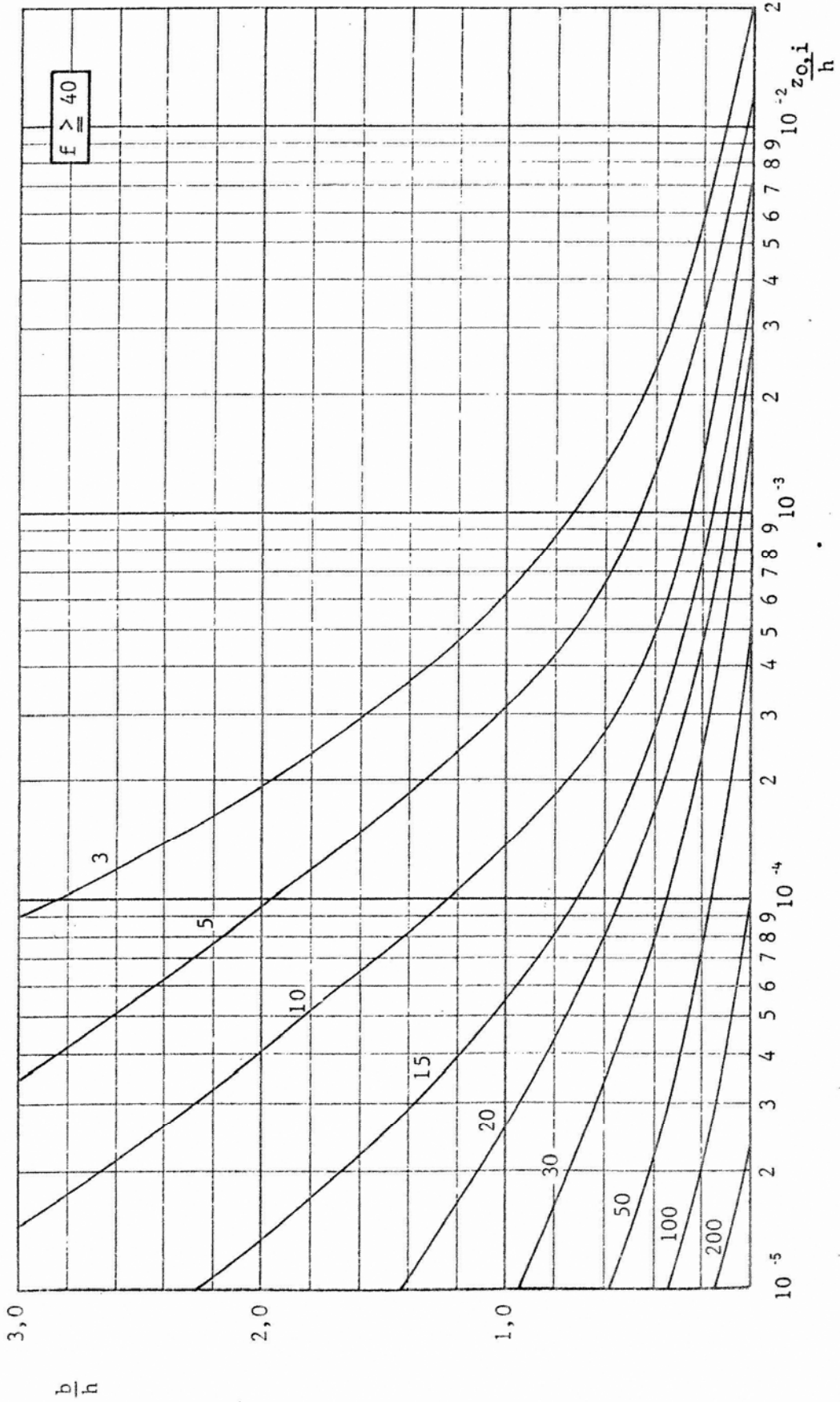


Figura 10. Valores del coeficiente Y en función de $\frac{z_{0,i}}{h}$ y $\frac{b}{h}$ para $f \geq 40$

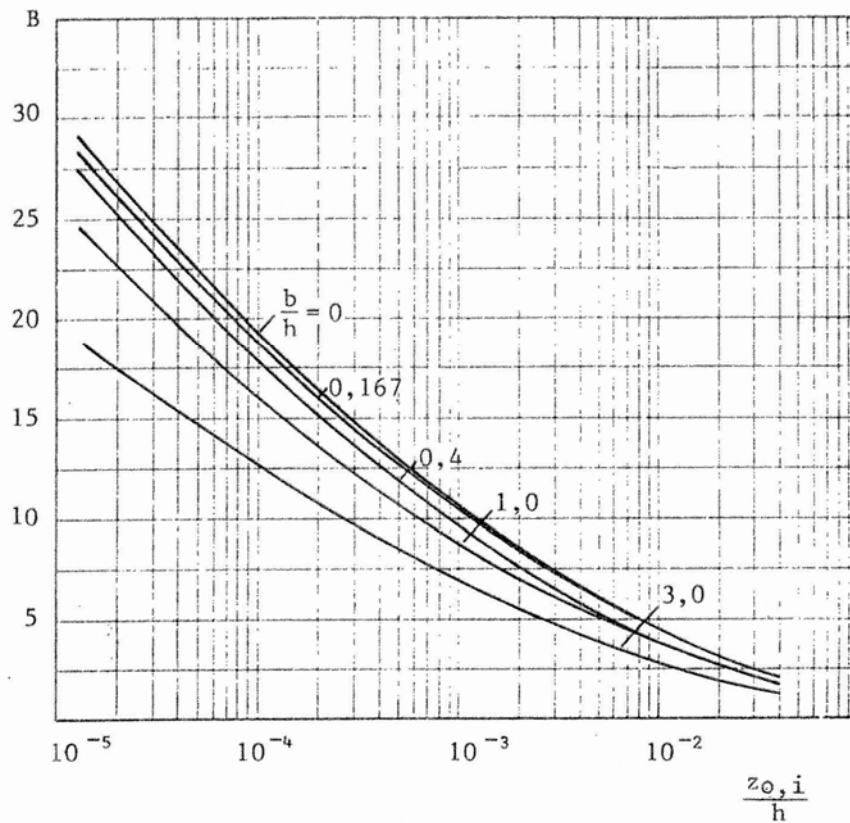


Figura 11.

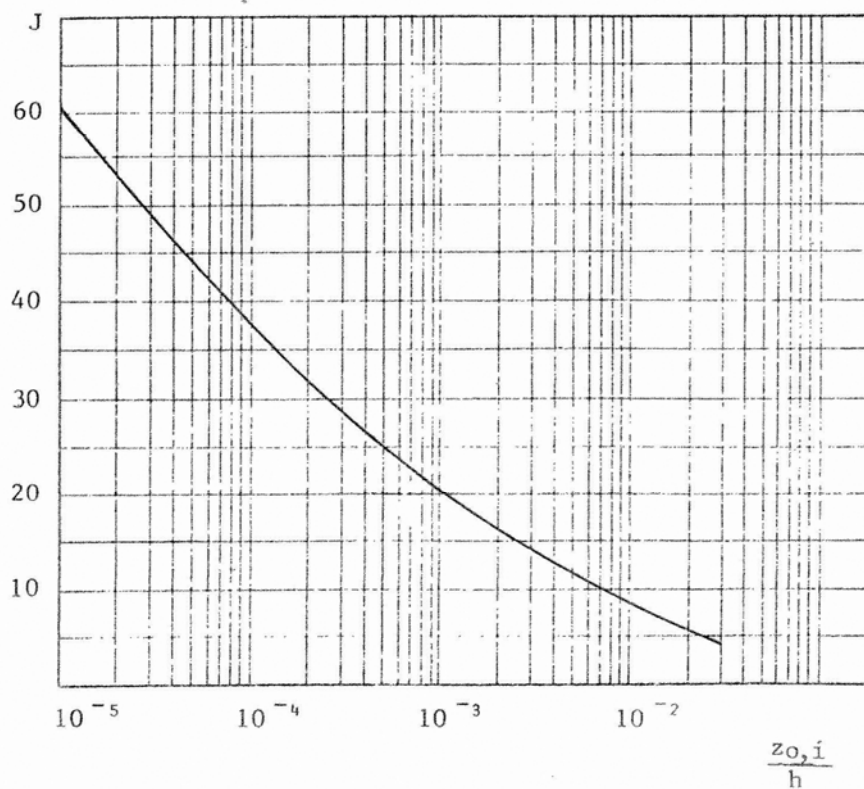


Figura 12.

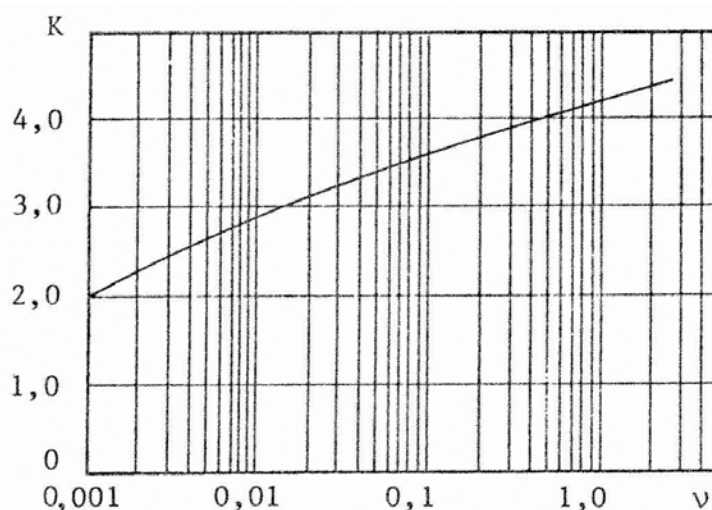


Figura 13.

siendo:

- q'_z la presión dinámica de cálculo que incluye el efecto en la turbulencia del viento sobre la construcción;
- G** el factor de ráfaga;
- c_z el coeficiente que expresa la variación de la velocidad del viento con la altura y la rugosidad del terreno (según el artículo 5.2.4.2. del Reglamento CIRSOC 102–1994 "Acción del viento sobre las construcciones");
- C_2 el factor de corrección de c_z , dado en la Tabla 3;
- q_0 la presión dinámica básica (según el artículo 5.2.3. del Reglamento CIRSOC 102–1994 "Acción del viento sobre las construcciones").

En cada nivel, la presión dinámica calculada en esta ecuación debe compararse con la presión dinámica q_z determinada según el artículo 5.2.4. del Reglamento CIRSOC 102–1994 "Acción del viento sobre las construcciones", sin tener en cuenta el efecto de la turbulencia, dada por la expresión:

$$q_z = c_z \cdot c_d \cdot q_0$$

siendo:

- q_z la presión dinámica de cálculo;
- c_z el coeficiente que expresa la variación de la velocidad del viento con la altura y la rugosidad del terreno;
- c_d el coeficiente de reducción que toma en consideración las dimensiones de la construcción (según artículo 5.2.4.3. del Reglamento CIRSOC 102–1994 "Acción del viento sobre las construcciones");
- q_0 la presión dinámica básica.

Tabla 3. Factor de corrección C_2 en función de z y del tipo de rugosidad.

z (m)	<i>Tipo de Rugosidad</i>			
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
10	0,53	0,42	0,34	0,26
20	0,55	0,46	0,38	0,32
30	0,57	0,48	0,41	0,35
40	0,58	0,49	0,42	0,37
50	0,58	0,50	0,43	0,38
60	0,59	0,51	0,44	0,39
70	0,59	0,52	0,45	0,40
80	0,6	0,52	0,46	0,41
90	0,6	0,53	0,47	0,42
100	0,6	0,53	0,47	0,42
150	0,61	0,54	0,49	0,44
200	0,62	0,55	0,50	0,46
250	0,63	0,56	0,51	0,47

En ningún caso, y para cualquier nivel, se adoptará para la presión dinámica de cálculo un valor menor que q_z , o sea que en cada nivel se adoptará para el cálculo de las solicitaciones el mayor de los valores q'_z ó q_z .

2.3.5. Cálculo de aceleraciones

La máxima aceleración en el nivel z en dirección paralela al viento podrá determinarse según:

$$\ddot{x}_{m\acute{a}x}(z) = K \cdot \sigma_{\ddot{x}}(z)$$

siendo:

- $\ddot{x}_{m\acute{a}x}(z)$ la máxima aceleración en el nivel z en dirección paralela al viento;
- K el factor de pico para las aceleraciones, dado en la Figura 13 en función de $v = \frac{1}{T}$;
- $\sigma_{\ddot{x}}(z)$ el valor medio cuadrático de las aceleraciones.

Para $\sigma_{\ddot{x}}(z)$ vale la siguiente expresión:

$$\sigma_{\ddot{x}}(z) = 7,83 \cdot \frac{c_{EO} \cdot b \cdot q_0 \cdot \sqrt{r}}{C^2 \cdot m_0 \cdot \bar{M}} \cdot \frac{z}{h}$$

siendo:

- $\sigma_{\ddot{x}}(\mathbf{z})$ el valor medio cuadrático de las aceleraciones;
- c_{EO} el coeficiente global de empuje básico;
- b el ancho de la construcción normal al viento;
- q_o la presión dinámica básica;
- r el parámetro definido en el artículo 2.3.2 c);
- C un parámetro indicado en la Tabla 2;
- m_o la masa de referencia por unidad de altura;
- \bar{M} coeficiente que se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\bar{M} = \frac{1}{m_o \cdot h^3} \cdot \int_0^h m(\mathbf{z}) z^2 dz$$

donde:

- h la altura de la construcción referida al terreno;
- $m(\mathbf{z})$ la masa por unidad de altura, a la altura \mathbf{z} .

Para edificios con distribución uniforme en masas, $m(\mathbf{z}) = m_o = \text{constante}$, y por lo tanto:

$$\bar{M} = \frac{1}{3}$$

2.4. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

En la Figura 14 se esquematiza gráficamente el procedimiento descrito para el cálculo de la presión dinámica de cálculo q'_z .

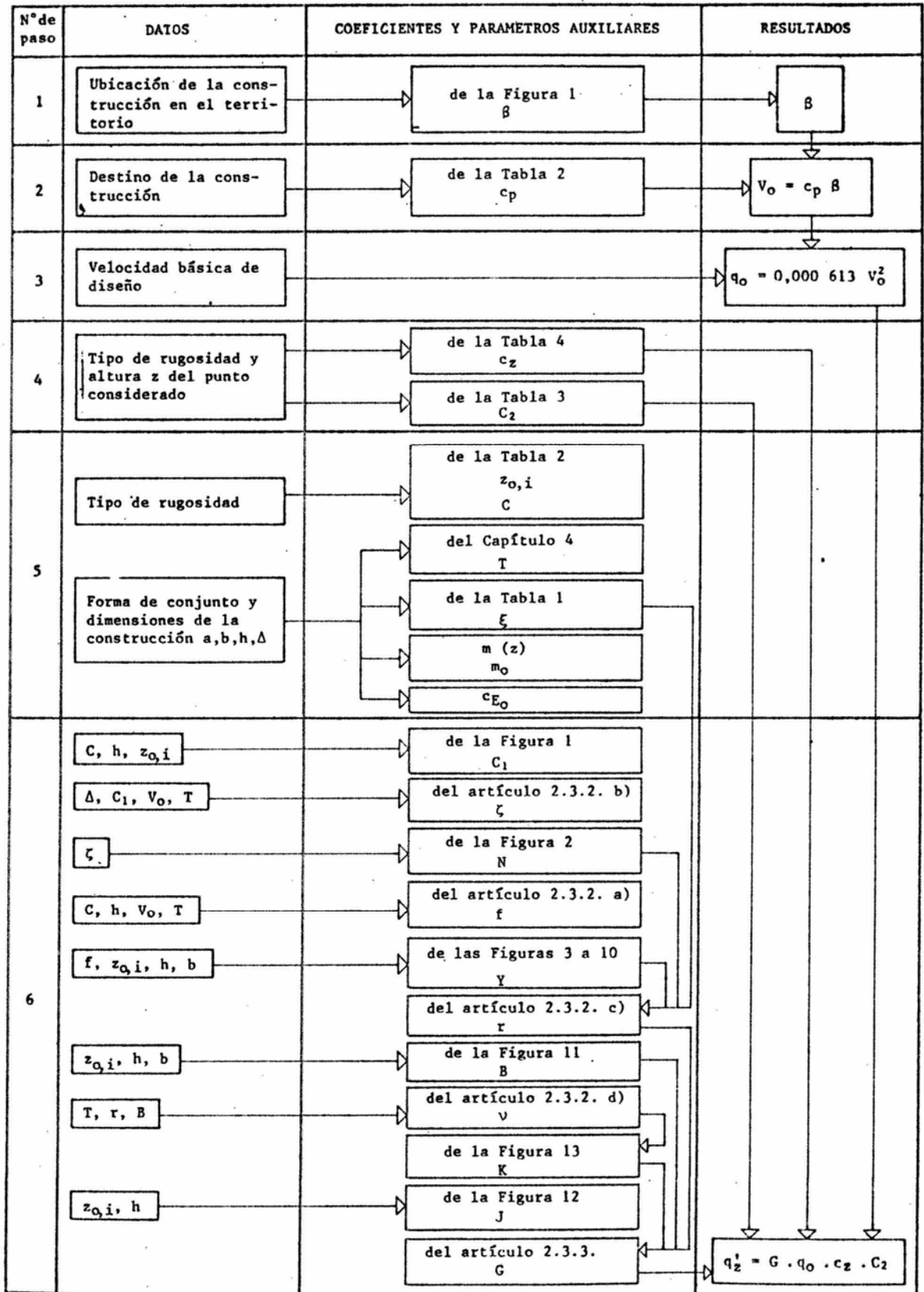


Figura 14. Esquema del procedimiento de cálculo.

CAPITULO 3. ACCIONES PERPENDICULARES A LA DIRECCION DEL VIENTO

3.1. INTRODUCCION

Para las construcciones prismáticas de base poligonal regular o circular se realizará un análisis completo que implique:

- a) La consideración de las acciones dinámicas paralelas a la dirección del viento en correspondencia con la velocidad de diseño. Se aplicará el método presentado en el Capítulo 2.
- b) La combinación de las acciones dinámicas paralelas y perpendiculares a la dirección del viento en base a la velocidad crítica del flujo, para la cual la construcción puede entrar en resonancia. El análisis se llevará a cabo como se indica en el artículo 3.2.

3.2. CALCULO DE LA RESONANCIA

3.2.1. Componente perpendicular a la dirección del viento

3.2.1.1. Velocidad crítica

La velocidad crítica del viento, que produce el fenómeno de resonancia de la construcción, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_{cr} = \frac{d}{S \cdot T}$$

siendo:

- V_{cr} la velocidad crítica del viento, que produce el fenómeno de resonancia de la construcción;
- d el ancho de la superficie maestra, expresadas en metros. En el caso de las construcciones troncocónicas de podrá:
 - a) adoptar un valor medio de d y determinar así una velocidad V_{cr} para toda la construcción;
 - b) proceder por sectores y determinar una velocidad crítica V_{cr} para cada sector;
- T período de la construcción expresada en segundos;
- S número de Strouhal, función de la rugosidad de la superficie, de la forma de la construcción y de la viscosidad del fluido. Para los cilindros su valor varía entre 0,18 y 0,27, pudiéndose adoptar 0,20 para cilindros de hormigón armado. Para prismas de base cuadrada o poligonal S varía entre 0,25 y 0,30.

Si la velocidad crítica determinada según esta ecuación excede el valor de $25 \frac{m}{s}$, podrá prescindirse del cálculo de la resonancia según el artículo 3.2.

3.2.1.2. Fuerzas de deriva

Para simplificar el estudio de las acciones perpendiculares a la dirección del viento se admite que las fuerzas de deriva originadas por los torbellinos de Bénard-Karman tendrán distribución triangular y su efecto se asimila al de fuerzas estáticas, cuyo valor máximo en cada nivel está dado para propósitos prácticos por la expresión:

$$L_z = \frac{0,08}{\xi} \cdot q_{cr} \cdot \frac{z}{h} \cdot d$$

siendo:

- L_z la fuerza de deriva;
- ξ la relación de amortiguamiento crítico para el modo fundamental, indicada en la Tabla1;
- z la altura del punto considerado, respecto del nivel de referencia;
- h la altura de la construcción referida al terreno;
- d el ancho de la superficie maestra;
- q_{cr} la presión dinámica crítica, expresada en kilonewton por metro cuadrado ($1 \text{ kN/m}^2 \cong 100 \text{ kgf/m}^2$), dada por la expresión siguiente:

$$q_{cr} = 0,000613 \cdot V_{cr}^2$$

donde:

V_{cr} se determina de acuerdo con el artículo 3.2.1.1.

3.2.2. Componente paralela a la dirección del viento

Se admite que la fuerza de empuje debida a la acción del viento de velocidad crítica (V_{cr}) es uniformemente distribuida en toda la altura de la construcción, con el valor:

$$T_z = 0,8 \cdot c_E \cdot G \cdot q_{cr} \cdot d$$

siendo:

- T_z la fuerza de empuje;
- c_E el coeficiente global de empuje, establecido para cada tipo de construcción en los Capítulos 6 a 10 del Reglamento CIRSOC 102–1994 "Acción del viento sobre las construcciones";
- G el factor de ráfaga correspondiente a la velocidad crítica (V_{cr}) determinado según el artículo 2.3.3.;
- q_{cr} la presión dinámica crítica;
- d el ancho de la superficie maestra.

3.2.3. Combinación de las acciones dinámicas

La fuerza a considerar en cada nivel de la construcción es la suma geométrica de la fuerza de deriva (L_z) y de la fuerza de empuje (T_z), ambas correspondientes a la velocidad crítica (V_{cr}).

$$F_z = \sqrt{L_z^2 + T_z^2}$$

siendo:

F_z la fuerza a considerar en cada nivel de la construcción;

L_z la fuerza de deriva;

T_z la fuerza de empuje.

Las solicitaciones originadas en la estructura por estas fuerzas deberán compararse con las determinadas en base a las presiones q'_z y q_z correspondientes a la velocidad de diseño.

CAPITULO 4. CALCULO DEL PERIODO EN SISTEMAS DE FORMA SIMPLE

4.1 INTRODUCCION

En el presente Capítulo se proporcionan fórmulas y métodos aproximados para determinar el período propio T del modo fundamental de oscilación de las construcciones más frecuentes. Estos suponen implícitamente:

- a) que se trata de oscilaciones planas no acopladas con otros modos de oscilación, es decir que se trata de oscilaciones en las cuales las distintas masas que componen la estructura se desplazan paralelamente a un mismo plano, sin excitar por este hecho oscilaciones perpendiculares a dicho plano;
- b) que los pares de inercia desarrollados por la rotación de las diversas masas alrededor de ejes horizontales normales al plano de la figura son despreciables frente a las otras fuerzas de inercia puestas en juego.

La condición a) es satisfecha por estructuras que presentan un plano de simetría vertical en la dirección en que actúa el viento, quedando excluidas las estructuras asimétricas, donde cualquier oscilación lateral produce oscilaciones de torsión. La suposición b) implica despreciar las inercias rotacionales, lo que conduce a apreciar un período del modo fundamental de oscilación con un error que en general no supera el 5% por defecto.

Por lo expuesto anteriormente, los períodos calculados según el presente Capítulo son algo más cortos que los reales.

4.2. ESQUEMATIZACION DE LA ESTRUCTURA

La distribución de masas en la construcción puede ser:

- a) repartida continuamente, como en el caso de fustes de torres, chimeneas, etc.;
- b) discretizada, es decir, concentrada en los diferentes niveles de la construcción, como por ejemplo en el caso de edificios en altura.

4.3. ESTRUCTURAS QUE PRESENTAN UNA MASA CONCENTRADA EN EL EXTREMO SUPERIOR

La masa en consideración puede estar apoyada:

- a) en un soporte de masa despreciable;
- b) en un soporte de masa no despreciable.

4.3.1. Caso a): Soporte de masa despreciable

Se trata del caso particular de un depósito apoyado en un soporte constituido por columnas verticales o inclinadas, arriostradas entre sí o trianguladas.

El período está dado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{P \cdot f}{g}}$$

siendo:

- T** el período del modo fundamental de vibración;
- P** el peso de la masa, supuesto concentrado en su centro de gravedad;
- f** el desplazamiento horizontal de la masa debido a una carga unitaria del mismo sentido actuando en el centro de gravedad de aquella;
- g** la aceleración de la gravedad.

En el caso de un soporte de inercia constante en toda la altura, la expresión anterior se reduce a:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{P \cdot h^3}{3 \cdot E \cdot I \cdot g}}$$

siendo:

- T** el período del modo fundamental de vibración;
- P** el peso de la masa, supuesto concentrado en su centro de gravedad;
- h** la altura del centro de gravedad de la masa;
- E** el módulo de elasticidad del material que constituye el soporte;
- I** el momento de inercia de la sección de soporte;
- g** la aceleración de la gravedad.

4.3.2. Caso b) Soporte de masa no despreciable

En este caso el período está dado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{P' \cdot h^3}{3 \cdot E \cdot I \cdot g}}$$

siendo:

- T** el período del modo fundamental de vibración;
- h** la altura del centro de gravedad de la masa;
- E** el módulo de elasticidad del material que constituye el soporte;
- I** el momento de inercia de la sección del soporte;
- g** la aceleración de la gravedad;
- P'** dado por la siguiente expresión:

$$P' = P + 0,236 \cdot P_s$$

donde:

- P** el peso de la masa, concentrado en el centro de gravedad;
- P_s** el peso total del soporte.

Si el soporte presentara momento de inercia variable, se adoptará un valor de I equivalente, obtenido con la condición de igualación de flechas en el extremo superior.

4.4. ESTRUCTURAS QUE PRESENTAN MASA REPARTIDA EN TODA LA ALTURA

Se distinguen los siguientes casos:

- a) Prismas o cilindros de sección constante.
- b) Troncos de cono de secciones homotéticas.
- c) Troncos de cono o pirámide cualesquiera.

4.4.1. Prismas o cilindros de sección constante

El período está dado por:

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

siendo:

- T el período del modo fundamental de vibración;
- h la altura del prisma o cilindro;
- E el módulo de elasticidad del material;
- I el momento de inercia de la sección;
- g la aceleración de la gravedad;
- p el peso por unidad de altura del prisma o cilindro.

4.4.2. Troncos de conos de sección homotética

Siendo C el centro de homotecia ubicado en la vertical del centro de gravedad de la base G , y con la nomenclatura de la Figura 15, el período está dado por:

$$T = K \cdot h^2 \cdot \sqrt{\frac{p}{E \cdot I \cdot g}}$$

siendo:

- T el período del modo fundamental de vibración;
- K el coeficiente a extraer de la Figura 16 en función de a/L ;
- h la altura del tronco de cono;
- p el peso por unidad de altura al nivel de la base AB ;
- E el módulo de elasticidad del material;
- I el momento de inercia al nivel de la base AB ;
- g la aceleración de la gravedad.

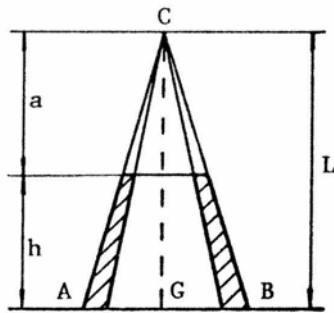
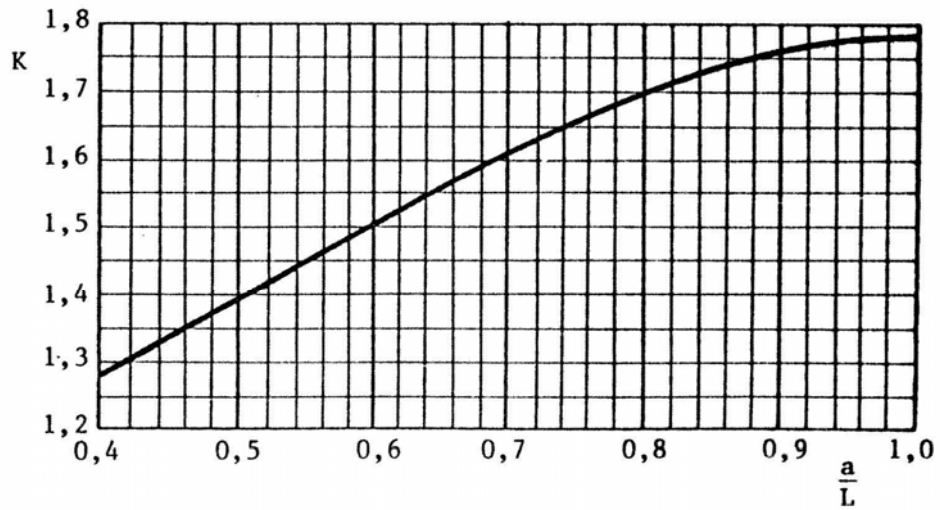


Figura 15.

Figura 16. Coeficiente K en función de $\frac{a}{L}$.

4.4.3. Troncos de cono o pirámide cualesquiera

La expresión siguiente permite la determinación del período de vibración de estructuras de este tipo, cuyo espesor sea constante o variable linealmente con la altura, sin llegar a ser de secciones homotéticas.

El período está dado por:

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot h^2}{\Omega} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E \cdot I \cdot g}}$$

siendo:

- T** el período del modo fundamental de vibración;
- h** la altura de la construcción, según la Figura 17;
- ρ** el peso por unidad de altura al nivel de la base, incluido el peso del revestimiento;
- E** el módulo de elasticidad del material resistente;
- I** el momento de inercia de la sección resistente al nivel de la base;
- g** la aceleración de la gravedad;
- Ω** el coeficiente que se determina de la Figura 18 en función de las relaciones
 $\lambda = e_s/e$ y $\mu = d_s/d$;
- e_s** el espesor de la pared resistente en el extremo superior;
- e** el espesor de la pared resistente al nivel de la base;
- d_s** el diámetro exterior en el extremo superior;
- d** el diámetro exterior al nivel de la base;

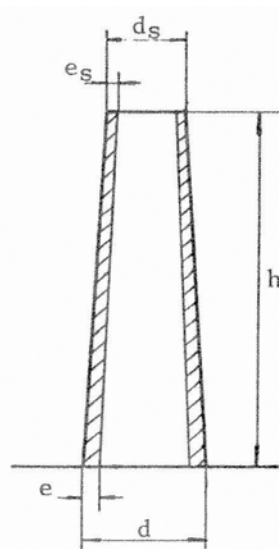


Figura 17.

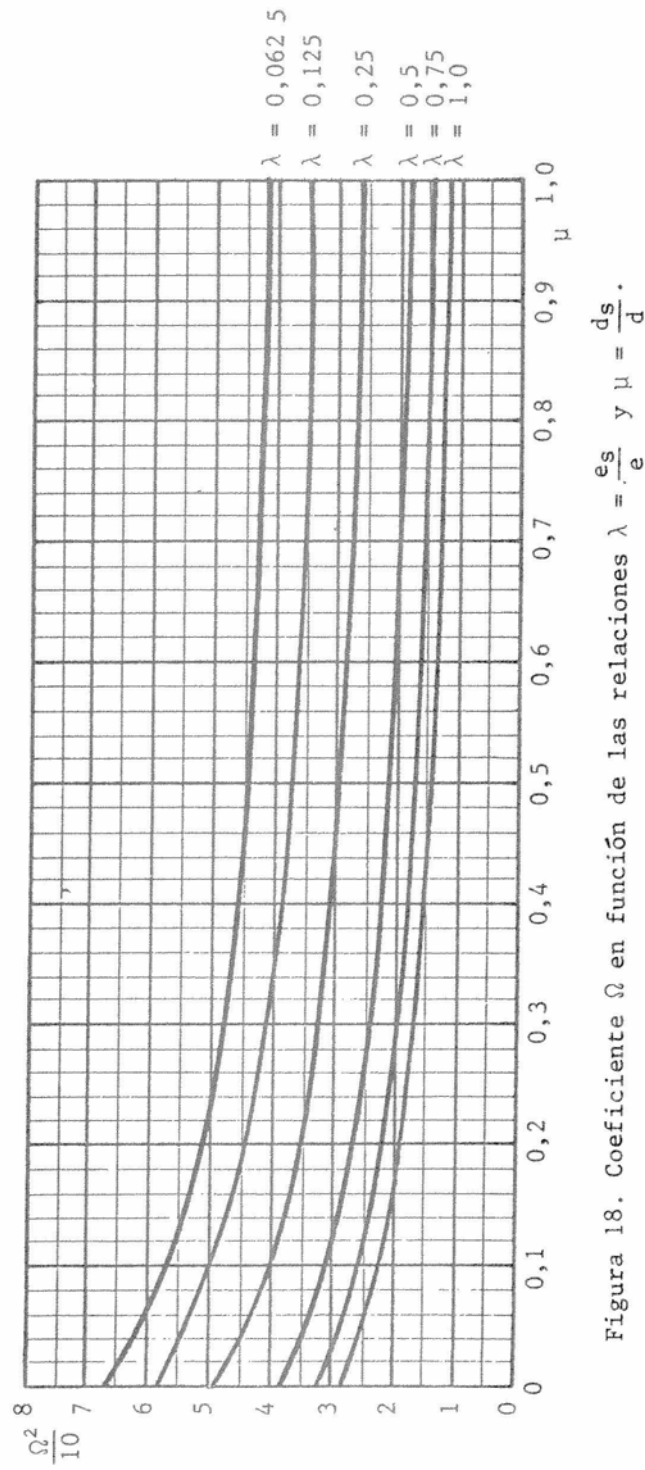


Figura 18. Coeficiente Ω en función de las relaciones $\lambda = \frac{es}{e}$ y $\mu = \frac{ds}{d}$.

4.5. ESTRUCTURAS QUE PRESENTAN MASAS DISCRETAS

Este tipo de construcción se presenta con frecuencia en la práctica, siendo el caso más representativo los edificios en altura.

En lo que sigue, se describen las siguientes alternativas para la determinación del período fundamental:

- Fórmulas aproximadas de Rayleigh.
- Fórmulas simplificadas aplicables a los casos de edificios de vivienda de forma de paralelepípedo.
- Métodos exactos.

4.5.1. Fórmulas aproximadas de Rayleigh

Estas expresiones conducen a la estimación del período por defecto, y eventualmente pueden tener en cuenta la rotación de las fundaciones.

4.5.1.1. Procedimiento I

Se imagina la estructura girada 90° en el campo gravitatorio, según la Figura 19, con los pesos aplicados verticalmente en correspondencia con cada masa.

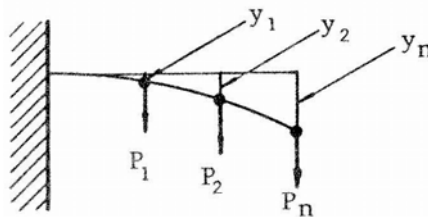


Figura 19.

Siendo y_1, y_2, \dots, y_n las flechas correspondientes a las distintas masas bajo la suposición de comportamiento perfectamente elástico, el período se determina según:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\sum_1^n P_i \cdot y_i^2}{g \cdot \sum_1^n P_i \cdot y_i}}$$

siendo:

- T el período del modo fundamental de vibración;
- P_i los pesos correspondiente a cada masa i ;
- y_i las flechas correspondiente a cada masa i , bajo la suposición de comportamiento perfectamente elástico;
- g la aceleración de la gravedad.

4.5.1.2. Procedimiento II

Cuando no es necesaria una gran precisión puede usarse el siguiente método aproximado.

Se supone que la estructura está sometida a una fuerza horizontal unitaria actuando al nivel de la última masa, según Figura 20. Llamando f_1, f_2, \dots, f_n a los desplazamientos experimentados por las diferentes masas bajo el efecto de dicha carga unitaria, el período se determinará según:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\sum_1^n P_i \cdot f_i^2}{g \cdot f_n}}$$

siendo:

- T el período del modo fundamental de vibración;
- P_i los pesos correspondientes a cada masa i ;
- f_i los desplazamientos correspondientes a cada masa i , bajo el efecto de la carga unitaria actuando al nivel de la última masa;
- g la aceleración de la gravedad;
- f_n el desplazamiento correspondiente al nivel de la última masa.

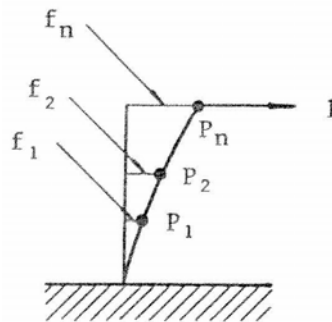


Figura 20.

4.5.2. Fórmulas simplificadas aplicables a edificios de vivienda

Estas fórmulas conducen en general a valores ligeramente mayores del período, con respecto a los períodos determinados mediante ensayos.

En las expresiones siguientes, h es la altura del edificio y L es la dimensión en planta en la dirección considerada.

El período varía según el tipo de estructura de contraviento, como se indica en los artículos 4.5.2.1. a 4.5.2.4.

4.5.2.1. Si la estructura de contraviento está constituida por muros de albañilería o de hormigón simple, el período se calculará con la expresión:

$$T = 0,06 \cdot \frac{h}{\sqrt{L}} \cdot \sqrt{\frac{h}{2 \cdot L + h}}$$

siendo:

- T** el período del modo fundamental de vibración;
- h** la altura total de la construcción;
- L** la dimensión en planta en la dirección considerada.

4.5.2.2. Si la estructura de contraviento está constituida por tabiques de hormigón armado, el período se calculará con la expresión:

$$T = 0,08 \cdot \frac{h}{\sqrt{L}} \cdot \sqrt{\frac{h}{L + h}}$$

siendo:

- T** el período del modo fundamental de vibración;
- h** la altura total de la construcción;
- L** la dimensión en planta en la dirección considerada.

4.5.2.3. Si la estructura de contraviento está constituida por entramados de hormigón armado, el período se calculará con la expresión:

$$T = 0,09 \cdot \frac{h}{\sqrt{L}}$$

siendo:

- T** el período del modo fundamental de vibración;
- h** la altura total de la construcción;
- L** la dimensión en planta en la dirección considerada.

4.5.2.4. Si la estructura de contraviento está constituida por entramados metálicos, el período se calculará con la expresión:

$$T = 0,10 \cdot \frac{h}{\sqrt{L}}$$

siendo:

- T** el período del modo fundamental de vibración;
- h** la altura total de la construcción;
- L** la dimensión en planta en la dirección considerada.

4.5.3. Métodos exactos

La determinación del período fundamental se podrá realizar por métodos exactos, los que requieren por lo general el uso de programas de computación para resolver un problema de valores propios, sobre todo cuando aumenta el número de pisos. Como alternativa, se presentan en la bibliografía sobre dinámica de estructuras, métodos numéricos que posibilitan el cálculo manual, entre los que ha alcanzado mayor divulgación el método de aproximaciones sucesivas de Vianello–Stodola.



INTI
Instituto Nacional
de Tecnología Industrial



**Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales
de Seguridad para las Obras Civiles del Sistema INTI**