

5. EMPUJES DINÁMICOS PARALELOS AL VIENTO

En construcciones pertenecientes al Tipo 2, los efectos estáticos y dinámicos debidos a la turbulencia se tomarán en cuenta multiplicando la presión de diseño calculada con la ecuación 3.3 por un factor de efectos dinámicos determinado con la siguiente expresión:

$$G = \frac{1 + 2g I_{z_s} \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_{z_s}} \quad (5.1)$$

donde:

$$I_{z_s} = \bar{d} \left(\frac{z_s}{10} \right)^{-\alpha'} \quad \text{si } z_{\min} < z_s \leq 200$$

$$I_{z_s} = \frac{1}{\text{Ln} \left(\frac{z_{\min}}{z_0} \right)} \quad \text{si } z_s \leq z_{\min}$$

$$g = \left(\sqrt{2 \text{Ln} (600 \nu)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \text{Ln} (600 \nu)}} \right) \geq 3.0;$$

$$\nu = n_o \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}};$$

El factor de efectos dinámicos es aplicable a estructuras cuya altura no exceda los 200 m. Los valores de los parámetros \bar{d} , α' , Z_0 y Z_{\min} dependen de las condiciones de exposición descritas en la tabla 3.2 y se consignan en la tabla 5.1. Para el cálculo de los factores B^2 y R^2 es necesario calcular la velocidad media del viento V'_D , la cual se define en el inciso 5.1. Los valores de los factores B^2 y R^2 se definen en los incisos 5.2, 5.3 y 5.4, en función del tipo de estructura.

Tabla 5.1 Parámetros \bar{d} , Z_0 , Z_{\min} y α' según la condición de exposición

Exposición	\bar{d}	Z_0 (m)	Z_{\min} (m)	α'
R1	0.15	0.01	1	0.12
R2	0.19	0.05	2	0.16
R3	0.29	0.30	5	0.21
R4	0.43	1.0	10	0.29

5.1 Velocidad media del viento para efectos dinámicos

Para el caso de los efectos dinámicos del viento sobre una estructura del Tipo 2, se emplea la velocidad media de viento asociada a un intervalo de 10 minutos.

Dicha velocidad media se obtendrá de acuerdo con la ecuación 5.2.

$$V'_D = F'_{TR} F'_{\alpha} V_R \quad (5.2)$$

donde

F'_{TR} factor correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante,

F'_{α} factor que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura y la conversión de velocidad de ráfaga de 3 s a 10 min.; y

V_R velocidad regional según la zona que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura.

La velocidad regional, V_R , se define en la sección 3.1.1 y los factores F'_{α} y F'_{TR} se definen en las secciones 5.1.1 y 5.1.2, respectivamente. Estos últimos factores dependen del intervalo de la velocidad media del viento.

5.1.1 Factor de variación con la altura, F'_{α}

Este factor establece la variación de la velocidad media del viento, V'_D , con la altura z . Se obtiene con las expresiones siguientes:

$$F'_{\alpha} = 0.702; \quad \text{si } z \leq 10 \text{ m}$$

$$F'_{\alpha} = 0.702 (z/10)^{\alpha'}; \quad \text{si } 10 \text{ m} < z < 200 \quad (5.3)$$

donde

α' exponente que determina la forma de la variación de la velocidad media del viento con la altura.

El coeficiente α' es función de la rugosidad del terreno (figura 3.1) y se define en la tabla 5.1.

5.1.2 Factor correctivo por topografía y rugosidad, F'_{TR}

Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplante la estructura y a su vez la variación de la rugosidad de los alrededores del sitio (tabla 5.2). En este último caso, si en una dirección de análisis de los efectos del viento existen diferentes rugosidades con longitud menor de 500 m, se deberá considerar la que produzca los efectos más desfavorables.

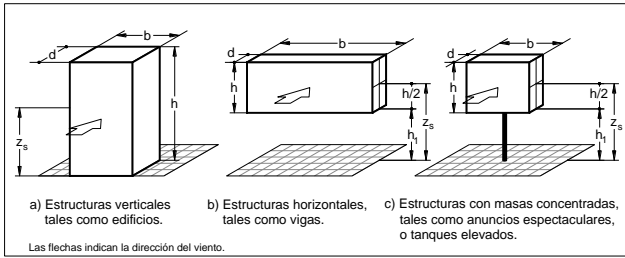
Tabla 5.2 Factor F'_{TR}

Tipos de topografía (fig. 3.2 y tabla 3.3)	Rugosidad de terrenos en alrededores		
	Terreno tipo R2	Terreno tipo R3	Terreno tipo R4
T1	0.80	0.62	0.44
T2	0.90	0.70	0.50
T3	1.00	0.77	0.55
T4	1.10	0.85	0.60
T5	1.20	0.92	0.66

En terreno de tipo R1, según se define en la tabla 3.2, el factor F'_{TR} , se tomará en todos los casos igual a 1.0

5.2 Estructuras de forma prismática

En la figuras 5.1 se presentan los diferentes tipos de estructuras prismáticas y sus correspondientes alturas de referencia para las cuales se calcula el factor de efectos dinámicos.



$$z_s = 0.6h \geq z_{\min} \quad z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{\min} \quad z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{\min}$$

Figura 5.1 Estructuras prismáticas y alturas de referencia correspondientes para calcular el factor de efectos dinámicos

Para estas estructuras el valor de B^2 y R^2 se calculan con las expresiones siguientes:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.90 \left(\frac{b+h}{L_{z_s}} \right)^{0.63}};$$

$$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_{est}} S_L R_h R_b;$$

Las dimensiones de b y h se muestran en la Figura 5.1 y sus unidades están dadas en m. Los parámetros para calcular los factores de respuesta dinámica B^2 y R^2 se calculan con las expresiones que a continuación se describen. El valor de la

relación de amortiguamiento estructural, ζ_{est} , se define en el inciso 5.5

$$L_{z_s} = 300 \left(\frac{z_s}{200} \right)^{\bar{\alpha}} \quad \text{para } z_s \geq z_{\min}$$

$$L_{z_s} = L_{z_s}(z_{\min}) \quad \text{para } z_s < z_{\min} \quad (5.4)$$

El coeficiente $\bar{\alpha}$ también es función de la rugosidad del terreno (figura 3.1) y se define en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Factor $\bar{\alpha}$

Tipos de terreno (fig. 3.1 y tabla 3.2)	$\bar{\alpha}$
R1	0.44
R2	0.52
R3	0.61
R4	0.67

$$S_L(z_s, n_0) = \frac{6.8 \left(\frac{n_0 L_{z_s}}{V_D'(z_s)} \right)}{\left[1 + 10.2 \left(\frac{n_0 L_{z_s}}{V_D'(z_s)} \right) \right]^{5/3}} \quad (5.5)$$

Los parámetros de admitancia aerodinámica R_h y R_b se calculan con las siguientes expresiones:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h});$$

$$R_h = 1.0 \text{ para } \eta_h = 0$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b});$$

$$R_b = 1.0 \text{ para } \eta_b = 0$$

$$\eta_h = \frac{4.6 h n_0}{V_D'(z_s)}; \quad \eta_b = \frac{4.6 b n_0}{V_D'(z_s)}$$

5.3 Estructuras de forma cilíndrica

En la figuras 5.2 se presenta una estructura cilíndrica indicándose la altura de referencia para la cual se calcula el factor de efectos dinámicos. Asimismo, en la misma figura se indican las dimensiones de D y h para este caso y sus unidades están dadas en m. El factor de efectos dinámicos se calcula con la ecuación 5.1, pero considerando los parámetros correspondientes que se definen en este apartado.

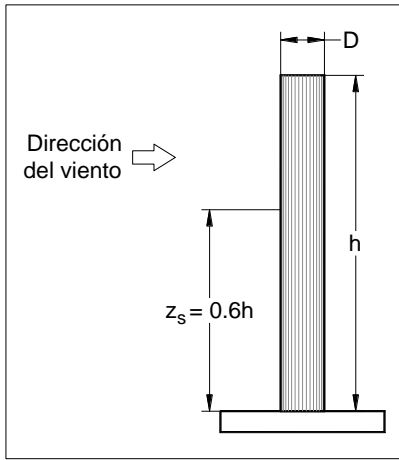


Figura 5.2 Estructura cilíndrica y altura de referencia correspondiente para calcular el factor de efectos dinámicos

Para las estructuras cilíndricas el valor de B^2 y R^2 se calcula con las expresiones siguientes:

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \sqrt{\left(\frac{D}{L_{z_s}}\right)^2 + \left(\frac{h}{L_{z_s}}\right)^2 + \left(\frac{Dh}{L_{z_s}^2}\right)^2}}$$

$$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_{est}} S_L K_s$$

$$K_s(n_0) = \frac{1}{1 + \sqrt{\left(5.75 \frac{Dn_0}{V_D'(z_s)}\right)^2 + \left(3.19 \frac{hn_0}{V_D'(z_s)}\right)^2 + \left(11.69 \frac{n_0^2 Dh}{[V_D'(z_s)]^2}\right)^2}}$$

5.4 Estructuras de celosía para torres autoportadas

En la figuras 5.3 se presenta la geometría de una estructura de celosía, indicándose la altura de referencia para la cual se calcula el factor de efectos dinámicos. Asimismo, en la misma figura se indican las dimensiones de b_h , b_0 y h ;

cuando se indique el ancho b en las expresiones de este apartado, éste se refiere al ancho promedio: las unidades de todas estas dimensiones son en m. El factor de efectos dinámicos se calcula con la ecuación 5.1, pero considerando los parámetros correspondientes que se definen en este apartado. Además, este factor de efectos dinámicos debe ser factorizado por corrección de forma y masa modal, como se indica en la ecuación 5.6.

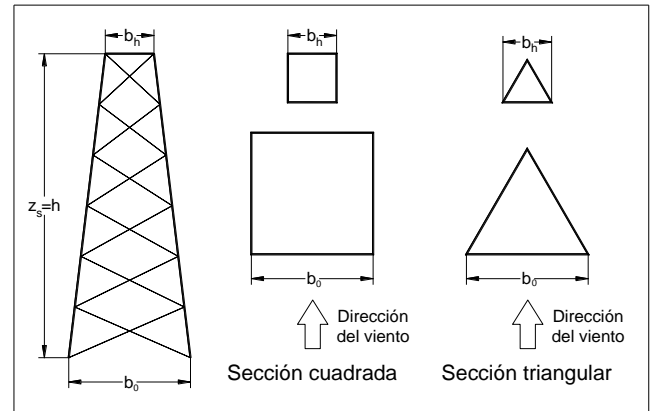


Figura 5.3 Definición de b_0 , b_h y h .

$$G = \frac{1 + 2 g I_{z_s} \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 I_{z_s}} \left[\frac{C_{RG}}{C_G} \right] F_M \tag{5.6}$$

Para estas estructuras el valor de B^2 y R^2 se calculan con las expresiones siguientes:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 2 \left(\frac{\sqrt{hb}}{L_{z_s}} \right)}$$

$$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_{est}} S_L R_h R_b;$$

Los parámetros para calcular los factores de respuesta dinámica B^2 y R^2 se calculan con las expresiones que a continuación se describen.

$$S_L(z_s, n_0) = \frac{4 \left(\frac{n_0 L_{z_s}}{V_D'(z_s)} \right)}{\left[1 + 71 \left(\frac{n_0 L_{z_s}}{V_D'(z_s)} \right) \right]^{5/6}} \tag{5.7}$$

Los parámetros de admitancia aerodinámica R_h y R_b se calculan con las siguientes expresiones:

$$R_h = \frac{1}{1 + \eta_h};$$

$$R_b = \frac{1}{1 + \eta_b};$$

$$\eta_h = \frac{2h n_0}{V_D'(z_s)}; \quad \eta_b = \frac{3.5b n_0}{V_D'(z_s)};$$

Las constantes correctivas de la forma y masa modal se calculan con las siguientes expresiones:

$$C_{RG} = \left[\frac{1 - \frac{3}{4} \lambda_B}{\alpha' + 3} \right];$$

$$C_G = \left[\frac{1}{2\alpha' + 3} - \frac{\lambda_B}{2\alpha' + 4} \right];$$

$$F_M = \frac{m_{\text{total}}}{5m_r} \left[\left(0.5 \frac{b_h}{b_0} - 0.3 \right) (\lambda_m - 2) + 1.4 \right] (1 - 0.4 \text{Ln} \lambda_m);$$

$$\lambda_B = 1 - \frac{b_h}{b_0};$$

$$m_r = \int_0^h m(z) [\Phi_0(z)]^2 dz;$$

en donde:

m_{total} es la masa total de la estructura,

m_r la masa generalizada de la estructura en la dirección longitudinal del viento,

λ_m el coeficiente que determina la variación de la forma modal con la altura, adimensional. Valores estimados de este coeficiente son: $\lambda_m = 2$ para torres rectangulares o cuadradas y $\lambda_m = 1.75$ para torres triangulares,

$m(z)$ la masa por unidad de longitud de la torre, y

$\Phi_0(z)$ la configuración modal del primer modo, en la dirección longitudinal del viento.

5.5 Relación de amortiguamiento estructural

En la tabla 5.4 se presentan algunos valores representativos de la relación de amortiguamiento estructural, ζ_{est} .

Tipo de estructura	$\zeta_{est,x}$
Edificios de concreto reforzado y presforzado	0.015
Edificios de acero	0.010
Estructuras mixtas de concreto y acero	0.013
Chimeneas y torres de concreto reforzado	0.01
Chimeneas de acero soldadas y sin recubrimientos	0.002
Chimeneas de acero soldadas con recubrimiento	0.005
Chimeneas de acero con recubrimiento de refractarios	0.01
Torres de celosía soldadas	0.003
Torres de celosía atornilladas	0.005

Así mismo, si se observa que puede existir una relación de amortiguamiento aerodinámico o si se provee a la estructura de algún mecanismo que implique un amortiguamiento adicional, su valor deberá ser considerado y estar justificado por estudios particulares.