

# EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**VOLÚMEN 4. Seguridad Estructural**

**TOMO 3. Diseño por Viento**

---

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>DISEÑO POR VIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Limitaciones .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Unidades .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3</b>	<b>Requisitos para el diseño por viento .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4</b>	<b>Cargas debidas a la acción del viento .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5</b>	<b>Clasificación de las estructuras por su respuesta ante el viento .....</b>	<b>8</b>
<b>1.6</b>	<b>Empujes estáticos para diseño por viento .....</b>	<b>9</b>
1.6.1	Determinación de la velocidad de diseño, $V_D$ .....	9
1.6.1.1	Categorías de terrenos según su rugosidad.....	9
1.6.1.2	Factor de exposición, $F_{Tz}$ .....	11
1.6.1.3	Factor correctivo por topografía, $F_T$ .....	12
1.6.2	Determinación de la presión básica de diseño, $q_z$ .....	15
1.6.3	Determinación de la presión de diseño, $p_z$ .....	16
1.6.4	Coeficientes de presión .....	17
1.6.4.1	Caso I Edificios y construcciones cerradas.....	17
1.6.4.1.1	Presiones exteriores.....	18
1.6.4.1.2	Factor de reducción de presión por tamaño de área, $K_A$ .....	23
1.6.4.1.3	Factor de presión local, $K_L$ .....	24
1.6.4.1.4	Factor de presión para recubrimientos y anclajes, $K_{rg}$ .....	25
1.6.4.1.5	Presiones Interiores .....	30
1.6.4.2	Caso III Cubiertas curvas soportadas por muros laterales.....	33
1.6.4.3	Caso IV (Muros aislados y Letreros) .....	35
1.6.4.4	Banderas.....	38
1.6.5	Aspectos a considerar en zonas de impacto de huracanes .....	40
1.6.6	INFE empleada como refugios contra tornados .....	40
<b>1.7</b>	<b>Empujes Dinámicos por Efectos del Viento .....</b>	<b>41</b>
1.7.1	Limitaciones del método dinámico .....	41
1.7.2	Fuerza estática equivalente en la dirección del viento $F_{eq}(z)$ .....	41
1.7.3	Determinación del factor de respuesta de ráfaga paralela a la dirección del viento, $F_{RR}$ .....	42
1.7.4	Determinación de la velocidad media para empujes dinámicos, $V'_D$ .....	44
1.7.4.1	Determinación del factor de exposición para empujes dinámicos, $F'_{Tz}$ .....	44
1.7.5	Determinación del factor de respuesta de fondo ( $B^2$ ) y del factor de respuesta en resonancia ( $R^2$ ).....	45
<b>1.8</b>	<b>Estados límite de servicio .....</b>	<b>47</b>
1.8.1	Desplazamiento y distorsiones.....	47
1.8.2	Aceleraciones en edificios.....	47
1.8.2.1	Procedimiento simplificado.....	48
1.8.2.2	Procedimiento detallado.....	49

## 1 DISEÑO POR VIENTO

Las estructuras y componentes estructurales de la INFE deberán diseñarse contra la acción del viento. Los lineamientos aquí indicados aplican para el diseño de la estructura principal y los elementos secundarios y apéndices que pueda poseer, así como para el diseño de los elementos considerados como “no estructurales” de fachadas y cubiertas (p. ej. láminas, cancelería y vidrios). Con fines prácticos, en esta tomo se deberán considerar los empujes estáticos o dinámicos, según resulte la respuesta dinámica estructural como se indica en lo sucesivo. Es importante mencionar que los efectos dinámicos que induce el viento en estructuras y componentes muy rígidos y poco esbeltos, suelen ser despreciables.

### 1.1 Limitaciones

Los lineamientos aquí indicados se aplican para estructuras con altura de hasta 200 m, se sugiere que para edificios destinados a la educación no sobrepasen 4 niveles, con claros que no excedan los 100 m y periodos naturales de vibración menores a los 5 s; en caso contrario deberán hacerse pruebas con modelos físicos en túnel de viento o con modelos numéricos empleando técnicas de dinámica de fluidos computacional (Computational Fluid Dynamics o CFD, por sus siglas en inglés). La adopción de resultados empleando modelos numéricos deberá ser aprobada por la autoridad correspondiente.

### 1.2 Unidades

Sólo se especifican las unidades en las ecuaciones no homogéneas, cuyos resultados dependen de las unidades en que se expresen. En cada uno de esos casos, se presenta la ecuación en términos de unidades del sistema internacional (SI).

### 1.3 Requisitos para el diseño por viento

Deberán cumplirse requisitos mínimos para la seguridad de la INFE contra los efectos del viento. Estos requisitos se enlistan a continuación:

1. Direcciones de análisis: Para el análisis de los efectos del viento, se considerarán al menos dos direcciones en las que el viento puede actuar; estas direcciones serán horizontales, perpendiculares e independientes entre sí. Se elegirán aquellas que induzcan las condiciones más desfavorables para la estabilidad de la estructura (o parte de la misma), considerando la rugosidad del terreno alrededor del sitio de desplante según la dirección del viento. Es frecuente que, según la forma de las estructuras y las direcciones de análisis consideradas, se produzcan presiones verticales sobre los elementos horizontales como son los cubiertas y techos, voladizos y techumbres ligeras, por lo que también se deben considerar estos efectos en esa dirección vertical. Asimismo, se deberán tomar en cuenta los dos sentidos de las direcciones seleccionadas, con el fin de establecer las condiciones críticas sobre éstas.
2. Factores de carga y resistencia: Se seguirán los lineamientos establecidos en el

Tomo 1, para la definición de condiciones y combinaciones de carga para diseño, así como factores de carga y resistencia para cada combinación de carga.

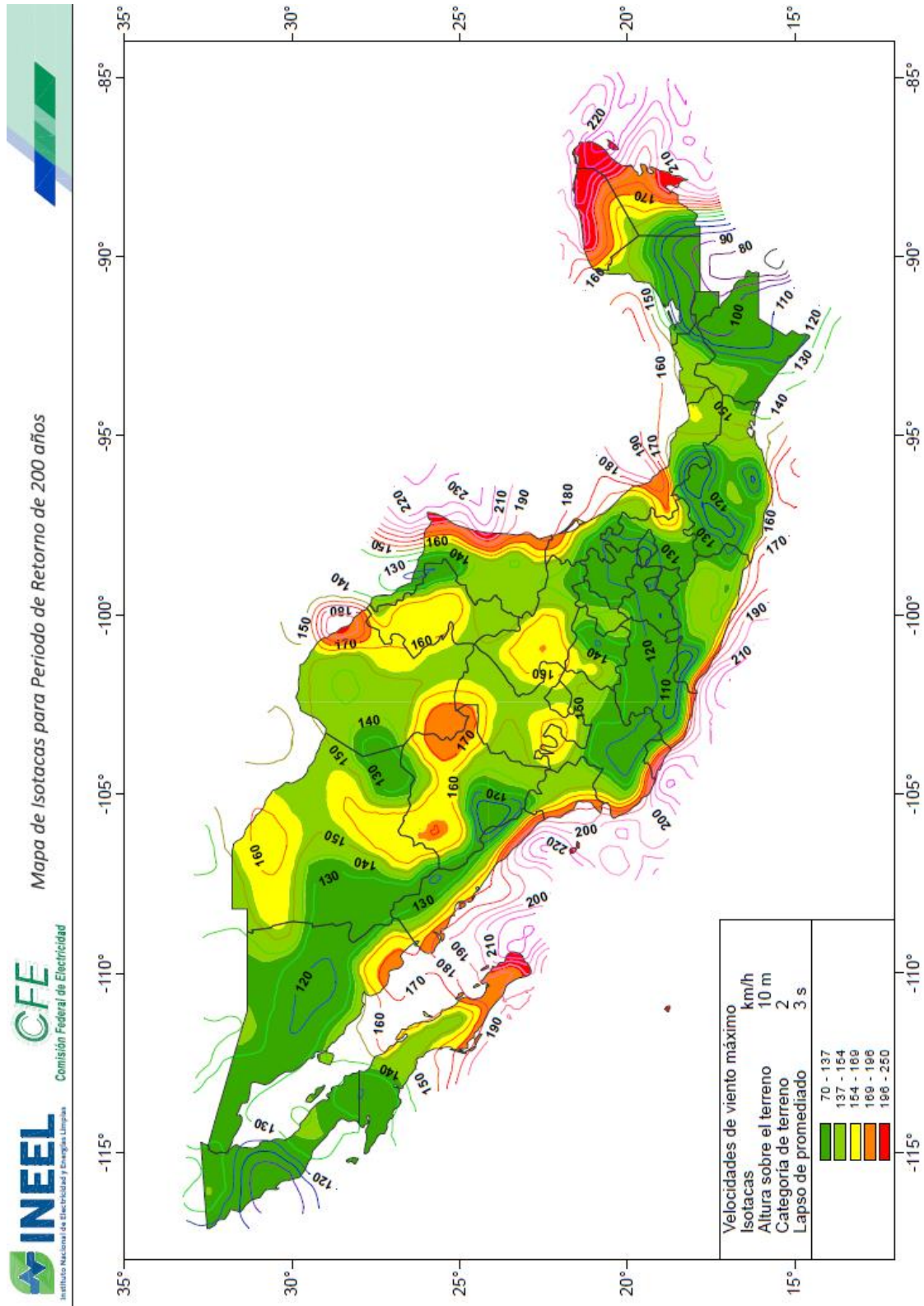
3. Seguridad contra el volteo: La relación entre el momento estabilizador y el actuante de volteo no deberá ser menor que 2. En este caso no se considerarán las cargas vivas que contribuyan a disminuir el volteo.
4. Seguridad contra el deslizamiento: Al analizar esta posibilidad no se tomarán en cuenta las cargas vivas. La relación entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza que provoca el desplazamiento horizontal será por lo menos igual que 2.
5. Seguridad contra el levantamiento: Cuando se puedan generar fuerzas de levantamiento ascendente o descendente sobre las estructuras o partes de las mismas, deberán considerarse los efectos que éstas produzcan, sobre todo en cubiertas y techos ligeros, voladizos, tapas y domos ligeros en azoteas, estructuras provisionales y sistemas de anclaje. No se considerarán las cargas vivas en este análisis.
6. Presiones interiores: Este tipo de presiones se presentan en estructuras permeables y se deberán combinar con las exteriores pudiendo ser de presión o succión según la condición de análisis. Deberán considerarse las diferentes direcciones y sentidos del viento, así como las posibles combinaciones en que se encuentren las aberturas (cerradas o abiertas) por donde pueda ingresar el flujo de viento al interior de las estructuras.
7. Seguridad durante la construcción: Las estructuras provisionales o elementos estructurales temporales que se empleen durante la construcción y que permanezcan por un periodo menor o igual que seis meses (p. ej. carpas, apuntalamientos y contraventeos), deberán revisarse ante los efectos de viento. Se deberá verificar que las conexiones de las estructuras provisionales se diseñen de forma adecuada para evitar que éstas se conviertan en proyectiles ante vientos intensos. Si se prevé que la falla de estas estructuras provisionales no causaría pérdidas importantes se podrán diseñar para velocidades con periodo de retorno de 10 años, como se señala en el Capítulo de Diseño por Viento del Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CDV-MDOC) vigente, de lo contrario se deberán diseñar para el periodo de retorno que le corresponda a la estructura principal.
8. Análisis estructural: Se emplearán modelos de análisis estructural elásticos lineales. Cuando los efectos no lineales puedan ser de importancia, se deberá definir la forma de considerarlos pudiéndose emplear métodos numéricos o modelos físicos para pruebas en túnel de viento.
9. Estados límite y condiciones de servicio: La revisión de los estados límites de servicio se debe realizar independientemente del tipo de análisis empleado (estático o dinámico). El diseñador podrá optar por revisar los estados límites de servicio para las velocidades asociadas con periodos de retorno de 10 o 50 años, proporcionadas en el CDV-MDOC vigente. Cuando los efectos dinámicos sean de importancia, esto es, cuando el periodo natural de vibración de las estructuras sea mayor de 1 s, se deberá revisar que las aceleraciones y vibraciones inducidas por el viento no provoquen malestar o incomodidad en los usuarios de la estructura, o daños en equipo sensible. Para la revisión de los estados límite y las aceleraciones excesivas se podrá emplear los procedimientos indicados en la Sección 1.8.

## 1.4 Cargas debidas a la acción del viento

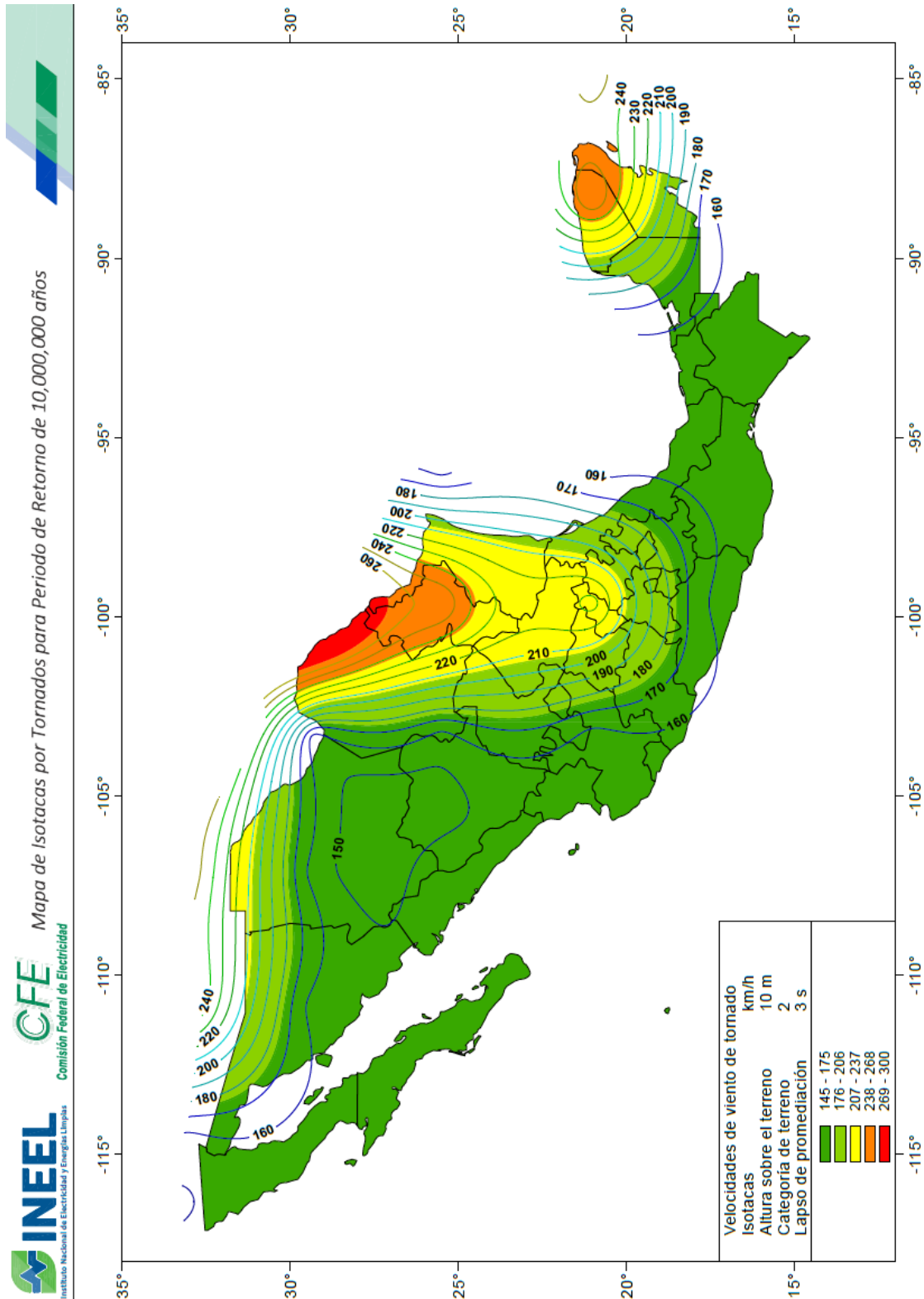
Las cargas debidas al viento se calcularán con base en la velocidad máxima regional del viento,  $V_R$ , para el sitio de interés en la República Mexicana. Para construcciones de la INFE se tomarán las velocidades de la Figura 1, que corresponden al mapa de isotacas (líneas de igual magnitud de la velocidad de viento) con un periodo de retorno de 200 años. Estas velocidades están en km/h y se asocian a ráfagas de 3 s, a 10 m sobre el terreno natural y poca rugosidad en los alrededores (Categoría 2 de la Tabla 1).

Es importante mencionar que, en este mapa de isotacas, se tienen consideradas las velocidades que pueden generarse por diferentes sistemas meteorológicos, como son: tormentas locales, tormentas de mesoescala, frentes fríos, nortes y ciclones tropicales. En zonas propensas a tormentas severas no consideradas, deberán tomarse las previsiones necesarias para considerar los vientos inducidos por estos fenómenos meteorológicos. Aunado a lo anterior, en las construcciones de la INFE que sean empleadas como refugios, tanto en el Noreste como en otras regiones del país, susceptibles a los efectos de vientos intensos de tornados, se utilizará el mapa de isotacas de velocidades regionales debida a tornados de la Figura 2 y los procedimientos sugeridos en el CDV-MDOC vigente para su diseño.

Para observar valores de la velocidad del viento para las ciudades más importantes en la República Mexicana se pueden consultar las tablas que recomienda el CDV-MDOC vigente. Así también se puede descargar el programa gratuito "SISTEMA VIENTO V2.0" en la página de internet (INEEL, 2020) donde se incluyen mapas georeferenciados para estimar la velocidad regional de cualquier latitud y longitud deseada en la República Mexicana. Asimismo, las velocidades de viento asociadas a 10 o 50 años de periodo de retorno se podrán obtener también de este sistema. La intensidad de las cargas se calculará con base en las Secciones 1.6 y 1.7 de este Tomo.



**Figura 1 - Mapa de regionalización eólica de la República Mexicana, periodo de retorno de 200 años** (Tomado de Manual de Diseño de Obras Civiles Cap. C. 1. 4 Diseño por Viento: Sección C: Estructuras Tema 1: Criterios Generales de Análisis y Diseño, 2020)



**Figura 2 - Mapa de isotacas para velocidades regionales por tornados con periodo de retorno de 10,000,000 años.** (Tomado de Manual de Diseño de Obras Civiles Cap. C. 1. 4 Diseño por Viento: Sección C: Estructuras Tema 1: Criterios Generales de Análisis y Diseño, 2020)

## 1.5 Clasificación de las estructuras por su respuesta ante el viento

Para fines de diseño por viento de la INFE, en esta tomo se contemplan principalmente cuatro tipos de estructuras, de acuerdo con la naturaleza de los principales efectos que este fenómeno natural provoca.

Tipo 1. Comprende las estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos de viento. Incluye las construcciones cerradas techadas con sistemas de cubierta rígidos; es decir, que sean capaces de resistir las cargas debidas a viento sin que varíe esencialmente su geometría. Se excluyen las construcciones en que la relación entre altura y dimensión menor en planta es mayor que 5 y cuyo periodo natural de vibración excede de 1 s. Se excluyen también las cubiertas flexibles, como las de tipo colgante, a menos que por la adopción de una geometría adecuada, la aplicación de presfuerzo u otra medida, se logre limitar la respuesta estructural dinámica.

Tipo 2. Comprende las estructuras cuya esbeltez o dimensiones reducidas de su sección transversal las hace especialmente sensibles a las ráfagas de corta duración, y cuyos periodos naturales largos favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes en la dirección del viento. Se cuentan en este tipo, los edificios con esbeltez, definida como la relación entre la altura y la mínima dimensión en planta, mayor que 5, o con periodo fundamental mayor que 1 s. También las antenas, tanques elevados, anuncios, y en general las estructuras que presentan dimensión muy corta paralela a la dirección del viento. Se excluyen las estructuras que explícitamente se mencionan como pertenecientes a los Tipos 3 y 4.

Tipo 3. Para estructuras en que se propicie la generación periódica de vórtices por su forma geométrica, los cuales a su vez generan oscilaciones importantes transversales al flujo del viento. Son de este tipo las estructuras o componentes aproximadamente cilíndricos o prismáticos, mástiles, astas banderas, cables, soportes de anuncios espectaculares, chimeneas y edificios con planta circular.

Tipo 4. Son aquellas estructuras que por su forma o su periodo de vibración propician problemas aeroelásticos especiales, donde se acoplan las variaciones del flujo y los movimientos de la estructura. Para estas estructuras deberán realizarse estudios analíticos o experimentales no cubiertos por este tomo. Para este efecto, puede consultarse el CDV-MDOC vigente o NMX-C-567-2-ONNCCE-2020.

Para el diseño de las estructuras Tipo 1 bastará tener en cuenta los efectos estáticos del viento. En este caso, las cargas estáticas por viento se calcularán con el método estático, de acuerdo con la Sección 11.6.

Para el diseño de las estructuras Tipo 2 deberán incluirse los efectos estáticos y los dinámicos causados por turbulencia. En este caso, las cargas dinámicas por viento se calcularán con un método estático equivalente, de acuerdo con la Sección 1.7.

Las estructuras del Tipo 3 deben diseñarse con los criterios establecidos para las del Tipo 2; en adición, debe revisarse su capacidad para resistir los empujes dinámicos transversales generados por los vórtices alternantes, de acuerdo con la Sección 1.7.

## 1.6 Empujes estáticos para diseño por viento

Para el cálculo de empujes y succiones sobre las construcciones del Tipo 1 debidas a la presión del viento se emplea el método estático, al aplicar los coeficientes de presión y las presiones de diseño señalados en este Capítulo.

La velocidad y la presión de diseño se calculan con las expresiones que se especifican en las secciones 1.6.1 a 1.6.3 los coeficientes de presión son distintos para cada tipo de construcción, como se indica en las Secciones 1.6.4.1.1 y 1.6.4.4.

### 1.6.1 Determinación de la velocidad de diseño, $V_D$

La velocidad de diseño,  $V_D$ , es la velocidad a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura o sobre un componente de la misma.

La velocidad de diseño,  $V_D$ , en km/h, se obtendrá con la ecuación:

$$V_D = F_T F_{rz} V_R \quad (1)$$

En donde:

$F_T$  es el factor que depende de la topografía local, adimensional,

$F_{rz}$  el factor que toma en cuenta el efecto de las características de exposición local, adimensional

$V_R$  es la velocidad regional de ráfaga que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura, en km/h.

La velocidad regional de ráfaga,  $V_R$ , y los factores  $F_{rz}$  y  $F_T$  se definen y se determinan en las Secciones 1.4, 1.6.1.2 y 1.6.1.3, respectivamente.

#### 1.6.1.1 Categorías de terrenos según su rugosidad

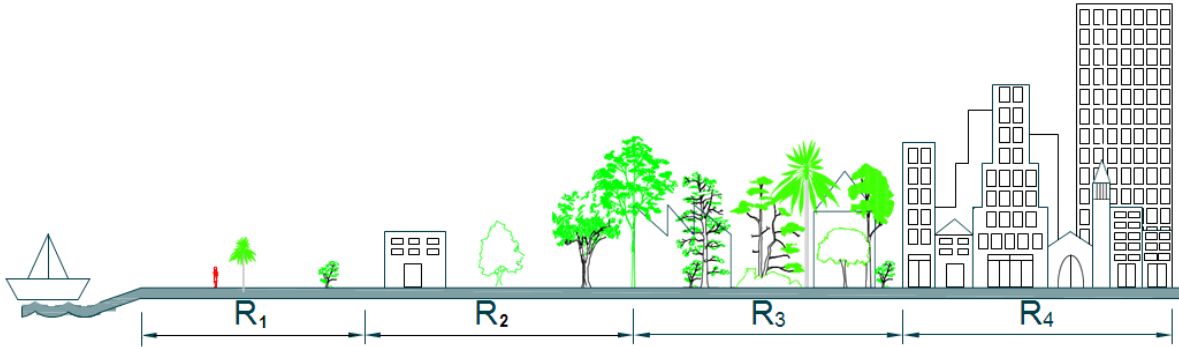
Tanto en el método de análisis estático como en el dinámico, intervienen factores que dependen de las condiciones topográficas y de exposición locales en donde se desplantará la construcción. Por lo tanto, con el fin de evaluar correctamente dichos factores, es necesario establecer clasificaciones de carácter práctico. En la Tabla 1 se consignan cuatro categorías de terrenos atendiendo al grado de rugosidad que se presenta alrededor de la zona de desplante. El factor de exposición y el factor de la

topografía deben relacionarse con las características del sitio de desplante de la estructura.

En la dirección del viento que se esté analizando, el terreno inmediato a la estructura deberá presentar la misma rugosidad (categoría, como se muestra en la Figura 3), cuando menos en una distancia denominada “longitud mínima de desarrollo”, la cual se consigna en la Tabla 1 para cada categoría del terreno. Cuando no exista esta longitud mínima, el factor de exposición local,  $F_{rz}$ , definido en la Sección 1.6.1.2, deberá modificarse para tomar en cuenta este hecho. En este caso, el diseñador podrá seleccionar, entre las categorías de los terrenos que se encuentren en una dirección de análisis dada, la que provoque los efectos más desfavorables y determinar el factor de exposición para tal categoría, o seguir un procedimiento analítico más refinado para corregir el factor de exposición, como el que se señala en el CDV-MDOC vigente.

**Tabla 1. Categoría del terreno según su rugosidad**

<b>Cat.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Limitaciones</b>
1	Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua.	Franjas costeras planas, zonas de pantanos o de lagos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor, superficies nevadas planas.	Las obstrucciones existentes, tienen alturas menores que 1.5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 20 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor.
2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones.	Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas.	Las obstrucciones existentes, tienen alturas de 1.5 a 5 m, la longitud mínima debe ser la mayor entre 1500 m o 20 veces la altura de la construcción por diseñar.
3	Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas.	Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas.	Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 m a 10 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 20 veces la altura de la nueva construcción por diseñar, la que sea mayor.
4	Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas.	Grandes centros urbanos y complejos industriales bien desarrollados.	Por lo menos el 50 % de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 m a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 20 veces la altura de la nueva construcción por diseñar.



**Figura 3 - Categorías del terreno según su rugosidad (R1, R2, R3 y R4 se asocian con las categorías 1, 2, 3 y 4 de la Tabla 17).**

### 1.6.1.2 Factor de exposición, $F_{rz}$

El factor de exposición local,  $F_{rz}$ , establece la variación de la velocidad del viento con la altura, en función de la categoría del terreno. Este factor se obtiene de acuerdo con las expresiones siguientes:

$$F_{rz} = c \quad \text{Si } z \leq 10 \quad (2)$$

$$F_{rz} = c \left( \frac{z}{10} \right)^\alpha \quad \text{Si } 10 < z < \delta \quad (3)$$

$$F_{rz} = c \left( \frac{\delta}{10} \right)^\alpha \quad \text{Si } z \geq \delta \quad (4)$$

En donde:

- $z$  es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño, en m,
- $\alpha$  el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura, adimensional,
- $\delta$  la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante; a esta altura se le conoce como altura gradiente; en m,
- $c$  el coeficiente de escala de rugosidad, adimensional.

Las variables  $\alpha$ ,  $\delta$  y  $c$  están en función de la rugosidad del terreno, los valores recomendados se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2 - Valores de  $\alpha$ ,  $\delta$  y  $c$**

<b>Categoría del terreno</b>	$\alpha$	$\delta$ (m)	$c$
1	0.061	280	1.142
2	0.095	350	1.000
3	0.140	410	0.832
4	0.192	470	0.668

### 1.6.1.3 Factor correctivo por topografía, $F_T$

Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplantará la estructura. Así, por ejemplo, si la construcción se localiza en las laderas o cimas de colinas o montañas de altura importante con respecto al nivel general del terreno de los alrededores, es muy probable que se generen aceleraciones del flujo del viento y, por consiguiente, deberá incrementarse la velocidad regional.

De acuerdo con las características topográficas del sitio, en la Tabla 3 se presentan los valores o expresiones para determinar el valor del factor de topografía.

**Tabla 3 - Factor de topografía local,  $F_T$**

<b>Sitios</b>	<b>Ejemplos de topografía local</b>	$F_T$
Protegidos	Valles cerrados	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano: Campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores a 5 %	1.0
Expuestos	Promontorios: Montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas	Ver Figuras 11 y 12
	Terraplenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas	

Para los efectos topográficos locales de promontorios y terraplenes, el factor correctivo por topografía se calcula de acuerdo con las siguientes condiciones:

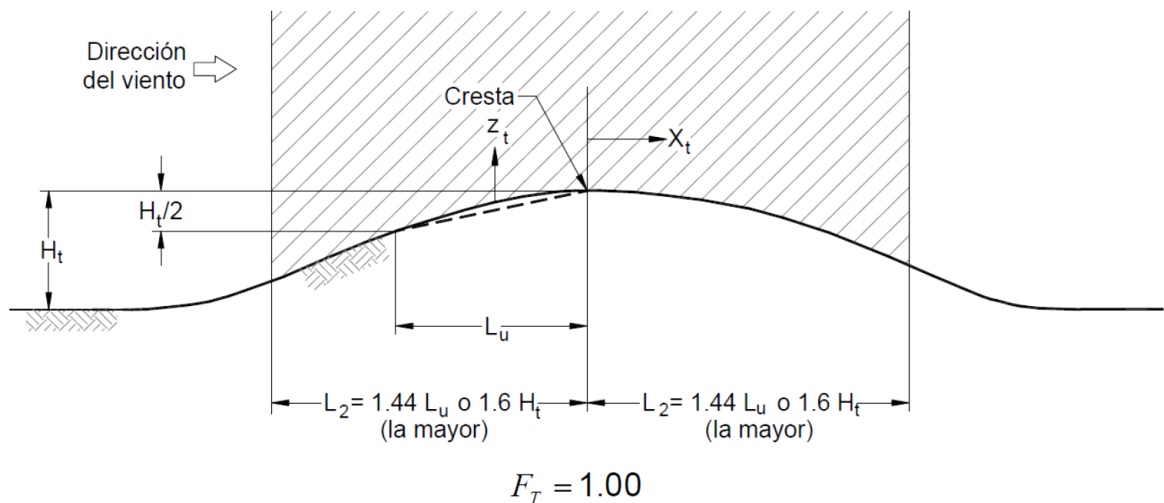
- Si  $H_t / (2L_u) < 0.05$ , dentro de la zona achurada de afectación local (véase la Figura 11 y la Figura 12),  $F_T$  se tomará igual a 1.00.
- Si  $0.05 \leq H_t / (2L_u) \leq 0.45$ , dentro de la zona achurada de afectación local (véase la Figura 4 y la Figura 5),  $F_T$  se determinará de acuerdo a la expresión mostrada en la Figura 5.

- c) Si  $H_t/(2L_u) > 0.45$  dentro de la zona de separación del flujo,  $L_s=H_t/4$ , (véase la Figura 13),  $F_T$  se determinará de acuerdo a la expresión mostrada en la Figura 13. Dentro de la zona achurada de afectación local aplíquese la expresión mostrada en la Figura 5.

Las variables que intervienen en los casos anteriores y en la Figura 4 a la Figura 6, se definen como:

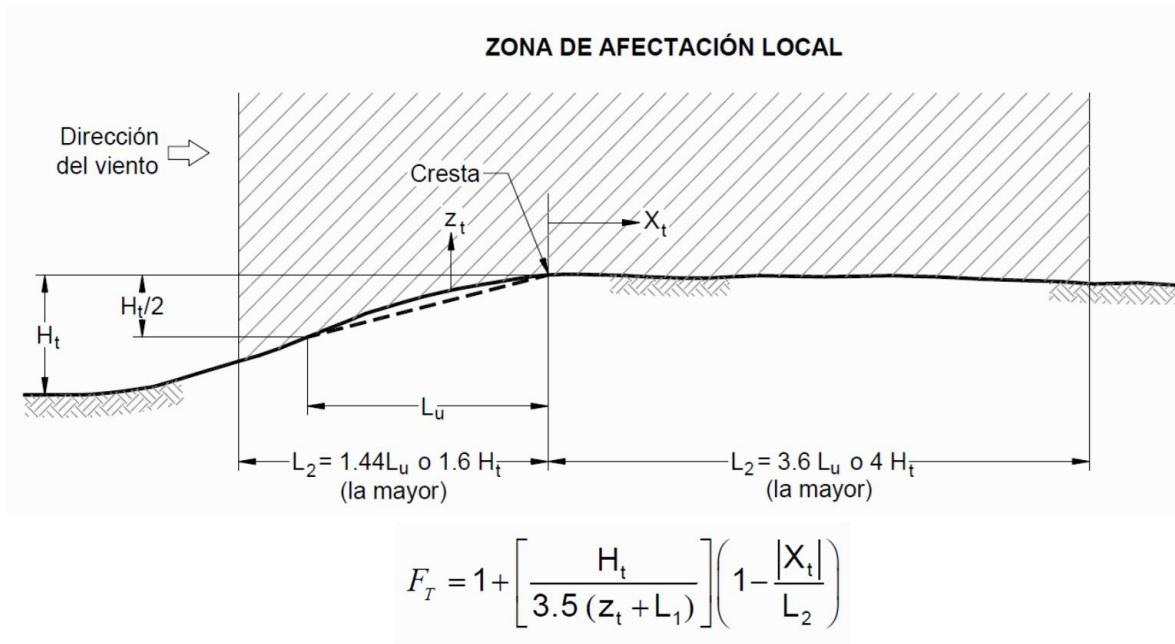
- $H_t$  altura del promontorio o terraplén, medida verticalmente desde el inicio de la cuesta hasta la cresta, en m;
- $L_u$  distancia horizontal en barlovento medida desde  $H_t/2$  hasta la cresta del promontorio o terraplén, en m;
- $X_t$  distancia horizontal en barlovento o sotavento, medida entre la estructura y la cresta del promontorio o terraplén (obsérvese que puede tener valor positivo o negativo), en m;
- $L_1$  escala longitudinal para determinar la variación vertical de  $F_T$ , se toma el valor mayor entre  $0.36 L_u$  y  $0.4 H_t$ , en m;
- $L_2$  escala longitudinal para determinar la variación horizontal de  $F_T$ , se toma igual a  $4 L_1$  para promontorio o terraplén en barlovento e igual a  $10 L_1$  para terraplenes en sotavento, en m; y
- $Z_t$  altura de referencia de la estructura medida desde el nivel promedio del terreno, en m, esta altura puede ser la altura total de la estructura,  $H$ , o la altura promedio del techo inclinado de la construcción.

#### ZONA DE AFECTACIÓN LOCAL

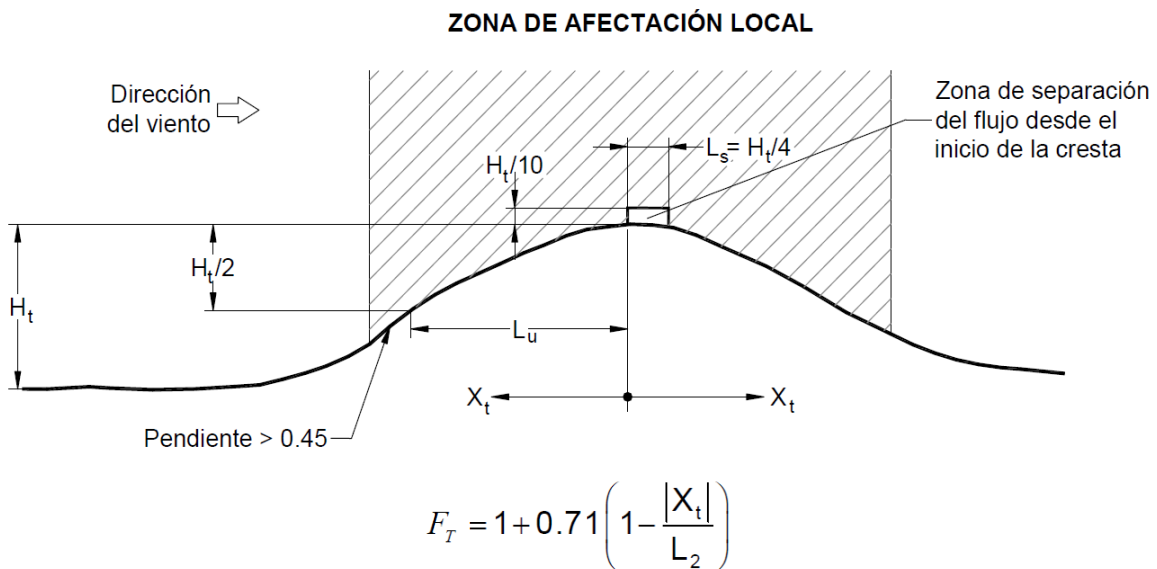


**Figura 4 - Promontorios**

En la zona de sotavento de los terraplenes, a lo largo de la distancia  $L_2$ , la pendiente promedio no deberá exceder de 0.05.



**Figura 5 - Terraplenes**



**Figura 6 - Zona de separación de flujo para pendientes mayores a 0.45**

En los casos de sitios expuestos que no se apeguen a las condiciones anteriores, el factor correctivo por topografía podrá obtenerse utilizando experimentos a escala en túneles de viento o mediciones realizadas directamente en el sitio.

### 1.6.2 Determinación de la presión básica de diseño, $q_z$

Cuando el viento actúa sobre una construcción, genera presiones sobre sus superficies, que varían según la intensidad de la velocidad y la dirección del viento. La presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie plana perpendicular a él, se denomina presión dinámica de base  $q_z$ , en  $Pa$ , y se determina con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.047GV_D^2 \quad (5)$$

En donde:

- $V_D$  es la velocidad básica de diseño, en km/h, definida en la Sección 1.6.1
- $q_z$  la presión dinámica de base a una altura  $z$  sobre el nivel del terreno, en  $Pa$ ,
- $G$  el factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar, adimensional.

El valor de  $G$  se obtiene con la siguiente expresión:

$$G = \frac{0.392 \Omega}{273 + \tau} \quad (6)$$

En donde:

- $\Omega$  es la presión barométrica, en mm de Hg,
- $\tau$  el valor medio anual de las temperaturas mínimas diarias, en °C. Valores de este parámetro para diferentes ciudades de México pueden consultarse en el CDV-MDOC vigente.

En la Tabla 4 se presenta la relación entre los valores de la altitud,  $h_m$ , en metros sobre el nivel del mar (msnm), y la presión barométrica,  $\Omega$ , en mm de Hg (mercurio). Para altitudes intermedias de la Tabla 4, se podrá realizar una interpolación lineal.

**Tabla 4 - Relación entre la altitud y la presión barométrica**

Altitud, $h_m$ (msnm)	Presión barométrica, $\Omega$ (mm de Hg)
0	760
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

### 1.6.3 Determinación de la presión de diseño, $p_z$

La presión que ejerce el flujo del viento sobre una construcción determinada,  $p_z$ , en Pa, se obtiene tomando en cuenta su forma y está dada, de manera general, por la Ecuación 51. A esta presión se le denomina empuje medio o estático y es producido por los efectos de la velocidad media del viento. La presión de diseño se calcula con la siguiente expresión:

$$p_z = C_p q_z \quad (7)$$

En donde:

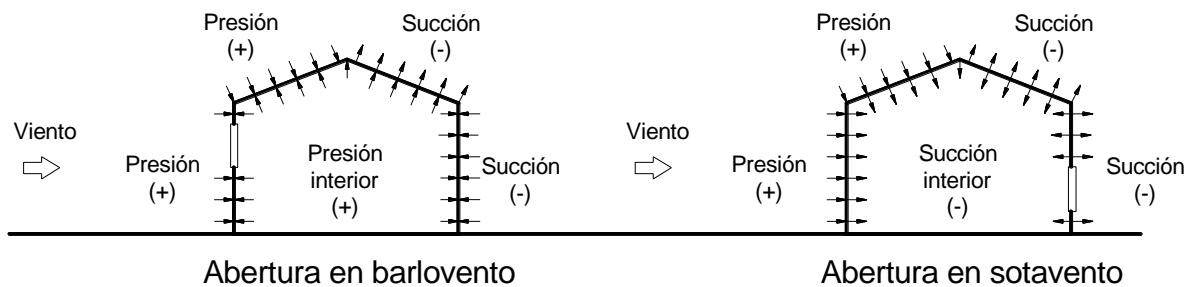
$C_p$  es el coeficiente de presión, adimensional, y

$q_z$  presión dinámica de base definida en 1.6.2

El coeficiente de presión se define como la relación entre la presión actuante sobre la construcción o sobre una de sus superficies, y la presión dinámica de base, para una altura dada. Este coeficiente determina el efecto de la variación de la presión, según la geometría o forma de la construcción. En las Secciones siguientes se definen los coeficientes de presión según la forma de la construcción y si se trata de presión externa o interior.

La convención de signos para presiones exteriores e interiores que aquí se adopta, es que éstas serán positivas cuando ejerzan un empuje y negativas cuando ejerzan una succión en la superficie sobre la que actúan.

La Figura 7 ilustra la convención de signos adoptada para el efecto de las presiones sobre las superficies, la cual ya está considerada en los valores (negativos o positivos) de los coeficientes de presión definidos en este Capítulo.



**Figura 7 - Convención de signos para las presiones ejercidas por el viento en una edificación con aberturas en barlovento o sotavento**

Para el caso de que se presenten presiones exteriores e interiores, éstas se evaluarán respectivamente con las ecuaciones siguientes:

$$P_e = C_{pe}q_z \quad (8)$$

$$P_i = C_{pi}q_z \quad (9)$$

En donde:

$C_{pe}$  y  $C_{pi}$  son los factores de presión exterior e interior, adimensionales.

En lo incisos siguientes se definen los coeficientes de presión para el caso de presiones exteriores e interiores.

### 1.6.4 Coeficientes de presión

Los coeficientes de presión  $C_p$  de la Ecuación (9) se deben determinar según el tipo y forma de la construcción, de acuerdo con los casos indicados de las secciones 1.6.4.1 a 1.6.5

#### 1.6.4.1 Caso I Edificios y construcciones cerradas

Una estructura cerrada es la que se compone de muros y techos, dispuestos de tal manera que forman una construcción prismática; dichos techos (con o sin aleros) y muros no necesariamente son impermeables, pueden tener aberturas, tales como ventanas o puertas, por donde el flujo del viento puede penetrar y generar presiones interiores. Así mismo, una estructura de planta rectangular en la que uno de sus lados está completamente abierto se considera como cerrada con una abertura dominante en ese lado. Cuando se tenga una construcción con dos muros o menos, éstos se deben diseñar como elementos aislados.

La presión de diseño sobre una construcción se obtiene sumando los efectos de las presiones exteriores e interiores, que se presentan sobre sus superficies.

Como se mencionó anteriormente, la convención de signos para presiones exteriores e interiores que se adopta, Figura 7, es que éstas serán positivas cuando ejerzan un empuje y negativas cuando ejerzan una succión en la superficie sobre la que actúan. Cuando se trate de una construcción cerrada, la presión de diseño a la altura  $z$ ,  $P_z$ , en  $Pa$ , se obtiene con la siguiente ecuación:

$$P_z = (P_e - P_i) \quad (10)$$

En donde:

$P_e$  la presión exterior, en  $Pa$ ,

$P_i$  la presión interior, en  $Pa$ .

Las fuerzas estáticas que se ejercen sobre los muros y techos de estructuras cerradas, serán las resultantes de las presiones actuantes sobre sus superficies exteriores e interiores y se calculan con la siguiente expresión:

$$F_{es} = P_z A_z \quad (11)$$

En donde:

$F_{es}$  es la fuerza estática resultante del viento que actúa perpendicularmente sobre las superficies o elementos estructurales de la construcción, en N,

$P_z$  la presión de diseño a la altura  $z$ , en  $P\alpha$ ,

$A_z$  el área de la estructura expuesta al viento, o parte de ella, en  $m^2$ , a la altura  $z$ , sobre la que actúa la presión de diseño,  $P_z$ .

#### 1.6.4.1.1 Presiones exteriores

La presión exterior sobre una de las superficies de una construcción cerrada se determina con la siguiente ecuación:

$$p_e = C_{pe} K_A K_L K_{ra} q_z \quad (12)$$

Los valores de los factores  $K_A$ ,  $K_L$  y  $K_{ra}$  así como la forma en que se aplican, se describen más adelante en esta misma sección.

En las Tabla 5 a Tabla 7, se proporcionan valores del coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , para muros y techos (con o sin aleros) de construcciones con planta rectangular cerrada. Cuando el valor de  $C_{pe}$  es positivo, se tratará de un empuje sobre el área en cuestión; cuando es negativo, se tratará de una succión, con base en la convención de signos definida en la Sección 11.6.3.

Los parámetros referidos en esas tablas se ilustran en la Tabla 5 a Tabla 7, y Figura 7 y Figura 8. Es importante observar que la denominación de los muros depende de la dirección en la que actúa el viento. Para muros de sotavento, laterales y techo, la presión dinámica de base,  $q_z$ , se calcula para la altura de referencia,  $\bar{h}$  (Figura 7).

**Tabla 5 - Coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , para muros en barlovento (MB) y sotavento (MS) de construcciones con planta rectangular cerrada.**

Muro	Dirección del viento ( $\theta$ ), en grados	Inclinación del techo ( $\gamma$ ), en grados	$b/d$	$C_{pe}$
Barlovento	Normal ( $\theta = 0^\circ$ ) o paralela ( $\theta = 90^\circ$ ) a la cumbrera	Cualquiera	Cualquiera	0.8
Sotavento	Normal ( $\theta = 0^\circ$ ) a la cumbrera, para techos a una o dos aguas	$0^\circ \leq \gamma \leq 10^\circ$	$\leq 1.0$	-0.5
			= 2.0	-0.3
			$\geq 4.0$	-0.2
	Normal ( $\theta = 0^\circ$ ) o paralela ( $\theta = 90^\circ$ ) a la cumbrera, para techos a cuatro aguas	$10^\circ \leq \gamma \leq 15^\circ$	Cualquiera	-0.3
				$20^\circ$
		$\geq 25^\circ$	$\leq 0.1$	-0.75
	$\geq 0.3$		-0.5	
	-0.2			
	Paralela ( $\theta = 90^\circ$ ) a la cumbrera, para techos a una o dos aguas	Cualquiera	$\leq 1.0$	-0.5
= 2.0			-0.3	
$\geq 4.0$			-0.2	

NOTAS:

- 1) Esta tabla se aplica con ayuda de la Figura 8.
- 2) Para valores intermedios de  $d/b$  y  $\gamma$ , los valores del coeficiente  $C_{pe}$ , pueden interpolarse linealmente.

**Si no se especifican valores de  $C_{pe}$  para alguno de los parámetros de las Tabla 5,**

- 3) Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9, o si se adoptan otros, éstos deben definirse o justificarse con base en resultados analíticos, experimentales en túnel de viento o presentados en la literatura especializada.

**Tabla 6 - Coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , para zonas de muros laterales (ML) de construcciones con planta rectangular cerrada**

Distancia horizontal a lo largo de un muro lateral, medida a partir de la arista común con el muro de barlovento	Coeficiente de presión exterior ( $C_{pe}$ )
$0$ a $1\bar{h}$	-0.65
$1\bar{h}$ a $2\bar{h}$	-0.50
$2\bar{h}$ a $3\bar{h}$	-0.30
$> 3\bar{h}$	-0.20

NOTAS:

- 1) Esta tabla se aplica con ayuda de la Figura 9.
- 2) La distancia horizontal se determina en función de la altura de la construcción  $\bar{h}$ .

**Tabla 7 - Coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , para zonas de techos de construcciones con planta rectangular cerrada. Cubierta de barlovento (CB) para  $\gamma \geq 10^\circ$**

Inclinación del techo, cubierta de barlovento (CB) ( $\gamma$ )	Relación $\bar{h}/d$	$C_{pe}$	
		Caso 1	Caso 2
10°	$\leq 0.25$	-0.7	-0.3
15°		-0.5	0.0
20°		-0.3	0.2
25°		-0.2	0.3
30°		-0.2	0.4
35°		0.0	0.5
$\geq 45^\circ$		0.0	$0.80 \text{ sen}(\gamma)$
10°	0.5	-0.9	-0.4
15°		-0.7	-0.3
20°		-0.4	0.0
25°		-0.3	0.2
30°		-0.2	0.3
35°		-0.2	0.4
$\geq 45^\circ$		0.0	$0.80 \text{ sen}(\gamma)$
10°	$\geq 1.00$	-1.3	-0.6
15°		-1.0	-0.5
20°		-0.7	-0.3
25°		-0.5	0.0
30°		-0.3	0.2
35°		-0.2	0.3
$\geq 45^\circ$		0.0	$0.80 \text{ sen}(\gamma)$

NOTAS: Estas notas aplican para las Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9, las cuales se emplean con ayuda de la Figura 7.

- 1) En los casos donde se muestren dos valores del coeficiente  $C_{pe}$ , el techo debe diseñarse para el más desfavorable, ya que, debido a la turbulencia del viento, el techo puede estar sometido a presiones positivas o negativas. Asimismo, deben considerarse las diferentes combinaciones entre presiones exteriores e interiores con el fin de seleccionar la condición más adversa en el diseño.
- 2) Si se requieren valores del coeficiente de presión correspondientes a valores intermedios de  $\gamma$ , y de la relación  $\bar{h}/d$ , puede realizarse una interpolación lineal, la cual se debe llevar a cabo entre valores del mismo signo.
- 3) Para la cubierta de sotavento (CS) ver Tabla 8 o Tabla 9.

**Tabla 8 - Coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , para zonas de techos de construcciones con planta rectangular cerrada. Cubierta de barlovento (CB) y cubierta de sotavento (CS), para  $\gamma < 10^\circ$ . Cubiertas transversales (CT) de techos a una o dos aguas y cualquier ángulo  $\gamma'$**

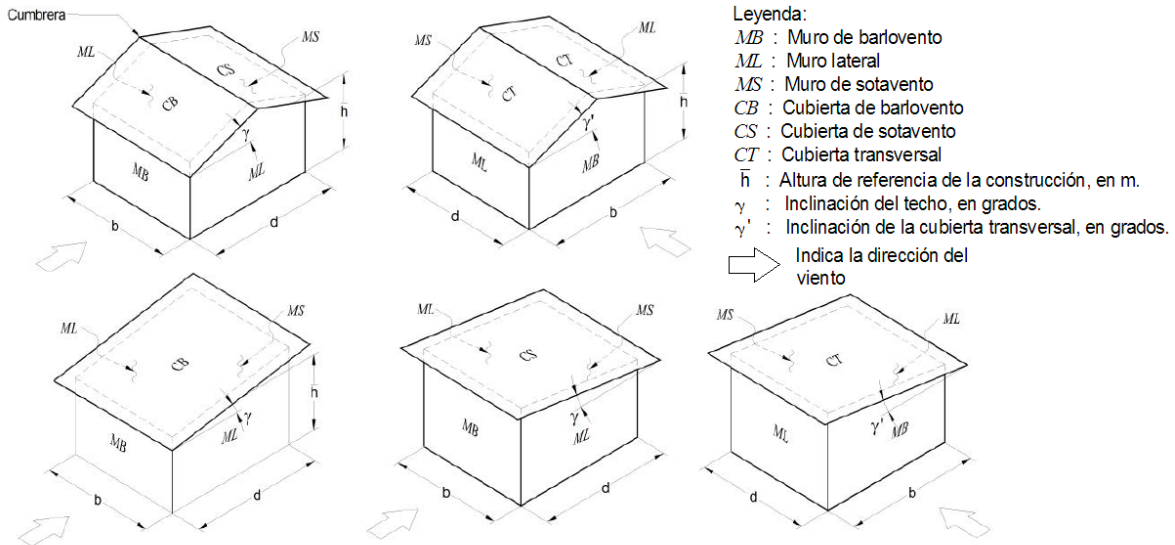
Zona e inclinación del techo		Relación $\bar{h}/d$	Distancia horizontal sobre el techo medida a partir de la arista superior del muro de barlovento	Coeficiente de presión exterior ( $C_{pe}$ )	
Cubierta transversal (CT) de techos a una o dos aguas ( $\gamma'$ )	Cubierta de barlovento (CB) y sotavento (CS) ( $\gamma$ )			Caso 1	Caso 2
Cualquiera	$0^\circ \leq \gamma < 10^\circ$	$\leq 0.5$	$0 \text{ a } 0.5\bar{h}$	-0.9	-0.4
			$0.5\bar{h} \text{ a } 1\bar{h}$	-0.9	-0.4
			$1\bar{h} \text{ a } 2\bar{h}$	-0.5	0
			$2\bar{h} \text{ a } 3\bar{h}$	-0.3	0.1
			$> 3\bar{h}$	-0.2	0.2
		$\geq 1.0$	$0 \text{ a } 0.5\bar{h}$	-1.3	-0.6
			$0.5\bar{h} \text{ a } 1\bar{h}$	(-0.7)	(-0.3) <sup>(1)</sup>
			$1\bar{h} \text{ a } 2\bar{h}$	(-0.7)	(-0.3)
			$2\bar{h} \text{ a } 3\bar{h}$	(-0.7)	(-0.3)
			$> 3\bar{h}$	(-0.7)	(-0.3)

NOTAS:

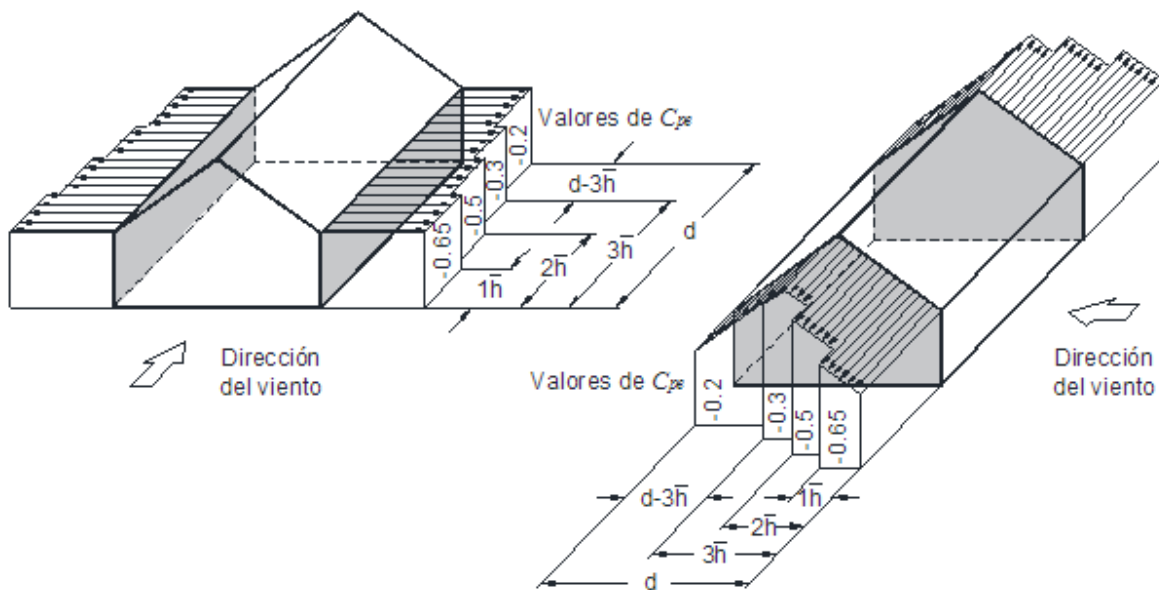
- 1) Los valores entre paréntesis se proveen para poder realizar las interpolaciones correspondientes.
- 2) Los casos 1 y 2 se deben analizar de manera independiente y se debe seleccionar la condición más crítica para el diseño.
- 3)  $\gamma'$  es el ángulo de inclinación de la cubierta transversal.

**Tabla 9 - Coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , para zonas de techos de construcciones con planta rectangular cerrada. Cubierta de sotavento (CS) para  $\gamma \geq 10^\circ$ . Cubiertas transversales (CT) de techos a cuatro aguas y ángulo  $\gamma' \geq 10^\circ$**

Zona e inclinación del techo		Relación $\bar{h}/d$	Ángulo de inclinación de la cubierta ( $\gamma$ )	Coeficiente de presión exterior ( $C_{pe}$ )
Inclinación del techo Cubierta transversal (CT) de techos a cuatro aguas ( $\gamma'$ )	Cubierta de barlovento (CB) y sotavento (CS) ( $\gamma$ )			
$\gamma' \geq 10^\circ$	$\gamma \geq 10^\circ$	$\leq 0.25$	10°	-0.3
			15°	-0.5
			20°	-0.6
			$\geq 25^\circ$	Para $b/d \leq 3$ : 0.60
				Para $3 < b/d < 8$ : $-0.06 (7 + b/d)$
				Para $b/d \geq 8$ : -0.90
		0.50	10°	-0.5
			15°	-0.5
			20°	-0.6
			$\geq 25^\circ$	Para $b/d \leq 3$ : -0.60
				Para $3 < b/d < 8$ : $-0.06 (7 + b/d)$
				Para $b/d \geq 8$ : -0.90
		$\geq 1.00$	10°	-0.7
			15°	-0.6
			20°	-0.6
			$\geq 25^\circ$	Para $b/d \leq 3$ : 0.60
				Para $3 < b/d < 8$ : $-0.06 (7 + b/d)$
				Para $b/d \geq 8$ : -0.90



**Figura 8 - Definición de parámetros de construcciones con planta cerrada**



**Figura 9 - Definición de zonas en muros laterales**

#### 1.6.4.1.2 Factor de reducción de presión por tamaño de área, $K_A$

Los valores del factor  $K_A$  se indican en la Tabla 10 y sólo se aplican a las presiones exteriores; en ella puede observarse que este factor depende del área tributaria de diseño,  $A$ . Para los casos no contemplados, así como para los muros de silos, tanques cilíndricos y techos aislados, el valor de  $K_A$  será igual a la unidad.

**Tabla 10 - Factor de reducción  $K_A$ , para techos y muros laterales**

<b>Área tributaria en m<sup>2</sup> (A)</b>	<b>Factor de reducción (<math>K_A</math>)</b>
≤ 10	1.00
25	0.90
≥ 100	0.80

NOTA: Para valores intermedios del área tributaria,  $A$ , los valores de  $K_A$  pueden interpolarse linealmente.

El área tributaria es aquella sobre la cual se considera que actúa la presión de diseño; por ejemplo, en el caso de un sujetador de recubrimiento, ésta será el área tributaria que retendrá, en el caso de un larguero, ésta será la que resulte del producto del claro entre vigas o columnas principales por la separación entre los largueros, y para la estructura principal, su área tributaria será la que le corresponda según la distribución de marcos o elementos de carga principales.

La presión exterior,  $p_e$ , se verá afectada por el factor  $K_A$  cuando se diseñen los siguientes elementos de una construcción dada:

1. Estructura principal que soporta techos y muros laterales.
2. Recubrimientos de los techos y muros laterales.
3. Elementos que sostienen los recubrimientos (tales como los largueros).
4. Sistemas de sujeción de los recubrimientos.

Como se observa, este factor no interviene en el diseño de los elementos estructurales que soportan los muros de barlovento y sotavento, por lo que, en estos casos, será igual a 1.0.

#### **1.6.4.1.3 Factor de presión local, $K_L$**

El factor de presión local,  $K_L$ , se obtendrá de la Tabla 9 para las áreas de afectación indicadas en las Figura 10 a la Figura 12 y se aplicará sólo sobre las presiones exteriores, las cuales a su vez se combinarán con las interiores. Para el diseño, se considerarán los valores de  $K_L$  que causen los efectos más adversos e incluso puede tomar el valor de 1.0 si la combinación de presiones exteriores e interiores resulta así más desfavorable.

La presión exterior,  $p_e$ , será afectada por el factor  $K_L$  cuando se diseñen los siguientes elementos:

1. Recubrimientos de techos y muros de barlovento y laterales.
2. Elementos que soportan los recubrimientos (tales como los largueros).
3. Sistemas de sujeción de los recubrimientos.

Cuando se diseñe la estructura principal de la construcción, se trate del muro de sotavento, este factor se tomará igual a la unidad.

De la Figura 10 a la Figura 12, complementan la Tabla 11 para aclarar todas las variables y las zonas en donde se aplica el factor de presión local.

Cuando el área de un elemento de recubrimiento, o el área tributaria de un miembro de soporte, exceda las áreas de afectación o la distancia de proximidad al borde, indicadas en la Tabla 11 el factor de presión local,  $K_L$ , será igual a 1.0 para el área restante de dicho elemento. Al aplicar el factor de presión local, el límite negativo del producto  $K_L \times C_{pe}$  será de -3.0.

Para techos con pendientes menores que  $10^\circ$  y con parapetos, los valores de  $K_L$ , para las áreas  $CBA1$ ,  $CBA2$  y  $CBC1$  (cuando aplique) (Figura 10 a Figura 12), para la superficie que quede expuesta del lado de sotavento del parapeto, pueden ser modificados multiplicando los valores de la Tabla 11 por el factor de reducción por parapetos,  $K_r$ , dado en la Tabla 12. Sin embargo, los valores inferiores a 1.0 de la Tabla 12 sólo deben aplicarse a las zonas en las que el factor de presión local,  $K_L$ , es superior a 1.0.

#### **1.6.4.1.4 Factor de presión para recubrimientos y anclajes, $K_{ra}$**

El factor de presión para recubrimientos y anclajes,  $K_{ra}$ , es igual a 1.50 y afectará tanto a las presiones exteriores como a las interiores.

Las presiones exteriores e interiores,  $p_e$  y  $p_i$ , serán afectadas por el factor  $K_{ra}$  cuando se diseñen los siguientes elementos:

1. Recubrimientos de techos y muros de barlovento, sotavento y laterales.
2. Sistemas de sujeción de los recubrimientos (anclajes).

Cuando se diseñe la estructura principal y los elementos secundarios, este factor será igual a la unidad. Este factor únicamente afecta a las presiones de construcciones cerradas.

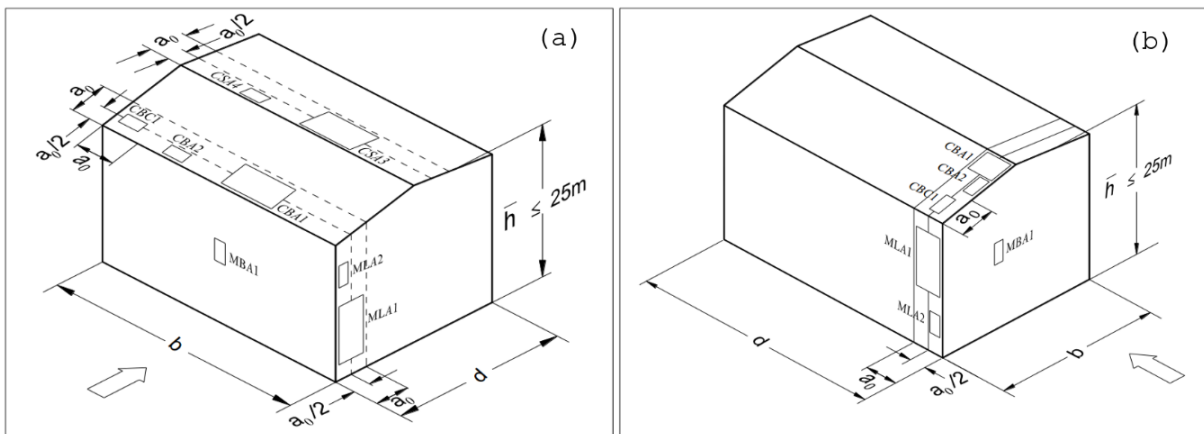
**Tabla 11 - Factor de presión local,  $K_L$ , para recubrimientos y sus soportes**

Presión externa	Caso	Referencia de las áreas	Relación de aspecto $\bar{h}/d$	Área de afectación ( $A_f$ )	Proximidad al borde	$K_L$
Empuje (+)	1	<i>MBA1</i>	Cualquiera	$\leq 0.25 \alpha_0^2$	Cualquiera	1.50
Succión (-)	2	<i>CBC1</i>	Cualquiera	$\leq 0.25 \alpha_0^2$	$< \alpha_0$ a partir de los bordes de esquina	3.00
	3	<i>CBA1</i>	Cualquiera	$\leq \alpha_0^2$	$< \alpha_0$	1.50
	4	<i>CBA2</i>	Cualquiera	$\leq 0.25 \alpha_0^2$	$< 0.50 \alpha_0$	2.00
	5	<i>CSA3</i>	Cualquiera	$\leq \alpha_0^2$	$< \alpha_0$	1.50
	6	<i>CSA4</i>	Cualquiera	$\leq 0.25 \alpha_0^2$	$< 0.50 \alpha_0$	2.00
	7	<i>MLA1</i>	$\leq 1$	$\leq \alpha_0^2$	$< \alpha_0$	1.50
	8	<i>MLA2</i>		$\leq 0.25 \alpha_0^2$	$< 0.50 \alpha_0$	2.00
	9	<i>MLA3</i>	$> 1$	$\leq 0.25 \alpha_0^2$	$> \alpha_0$	1.50
	10	<i>MLA4</i>		$\leq \alpha_0^2$	$< \alpha_0$	2.00
	11	<i>MLA5</i>		$\leq 0.25 \alpha_0^2$	$< 0.50 \alpha_0$	3.00
Todas las otras áreas, empuje o succión.	12	-	Cualquiera	-	-	1.00

## NOTAS:

- 1) Los casos de presiones negativas (succiones) son alternativos y no se aplican simultáneamente.
- 2) Para techos de edificios bajos que se encuentren adyacentes a edificios altos, y para construcciones altas que tengan muros con bordes inclinados o con salientes, expuestos a condiciones de alta turbulencia, un factor de presión local con un valor de 3.0 no resulta conservador. Estas situaciones están fuera del alcance de este apéndice por lo que deberá realizarse un estudio especializado o pruebas en túnel de viento.
- 3) Si un área de recubrimiento está sometida a más de un caso de los indicados en esta tabla, utilice el mayor valor obtenido para tales casos.
- 4) El área de afectación debe compararse con la tributaria para definir en qué área se aplican los valores de  $K_L$  que aquí se indican.

- 5) Cuando  $\gamma$  (ángulo de inclinación del techo) sea menor que diez grados, la zona de afectación del techo se definirá como si éste fuese horizontal (techo plano), por lo que el factor de presión local no se aplicará en la zona de la cumbrera.
- 6) La dimensión " $a_0$ ", en m, y las referencias de las áreas se definen en los casos desde la Figura 10 a la Figura 12.
- 7) La altura de referencia,  $\bar{h}$ , para construcciones con techos planos es igual a la altura  $H$  y  $D$  es la menor dimensión horizontal de la construcción.
- 8) El área de afectación  $CBC1$  solo aplica para techos con  $\gamma < 10^\circ$
- 9) La dimensión " $a_0$ " debe tomarse como la mínima de  $0.2b$ ,  $0.2d$  y  $\bar{h}$ .
- 10) La relación de lados de las áreas de afectación de presión local no debe exceder de 1:4.



**Figura 10 - Zonas para la determinación de los factores de presión local,  $K_L$ , para recubrimientos y sus soportes. Construcciones sin aleros: (a) Dirección del viento normal a la cumbrera,  $\theta = 0^\circ$ ; (b) Dirección del viento paralela a la cumbrera,  $\theta = 90^\circ$**

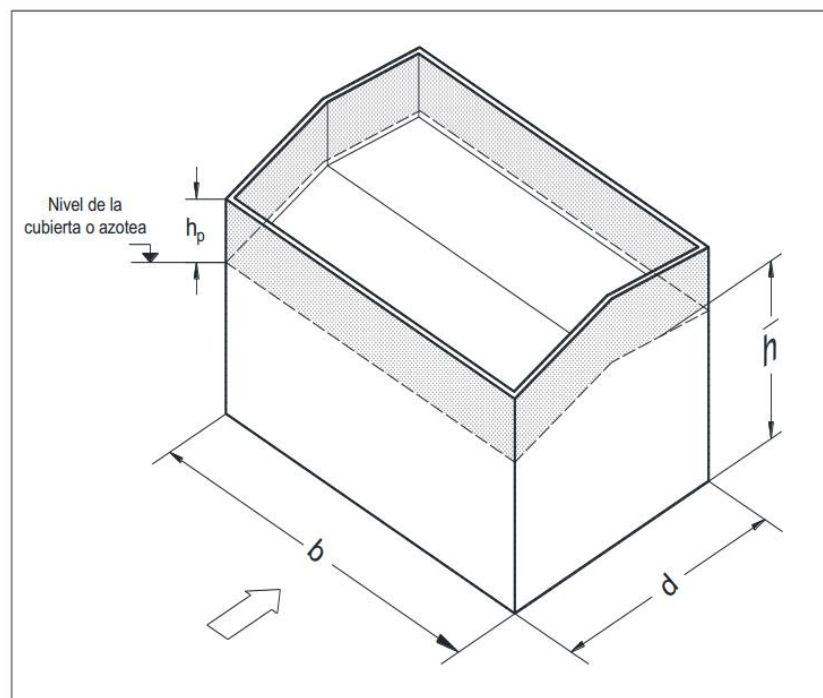


**Tabla 12 - Factor de reducción de presión local,  $K_r$ , por parapetos**

$\bar{h}$	$h_p$	$K_r$
$\leq 25$ m	$\leq 0.07 \bar{h}$	1.00
	$0.10 \bar{h}$	0.80
	$\geq 0.20 \bar{h}$	0.50
$> 25$ m	$\leq 0.02 D$	1.00
	$0.03 D$	0.80
	$\geq 0.05 D$	0.50

NOTAS:

1.  $h_p$  es la altura del parapeto medida desde el nivel de la cubierta (Figura 13), mientras que  $D$  es la menor dimensión horizontal de la construcción, ambas dimensiones en m.
2. Para valores intermedios puede emplearse una interpolación lineal.
3. Estos valores se utilizan para modificar los valores del factor  $K_L$ , obtenidos de la Tabla 11 Factor de presión local,  $K_L$ , para recubrimientos y sus soportes

**Figura 13 - Altura del parapeto medida desde el nivel de la cubierta**

### 1.6.4.1.5 Presiones Interiores

La presión interior,  $P_i$ , en  $Pa$ , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$P_i = C_{pi}K_{ra}q_z \quad (13)$$

En donde:

- $C_{pi}$  es el coeficiente de presión interior, adimensional,
- $K_{ra}$  el factor de presión para recubrimientos y anclajes, adimensional (Inciso 1.6.4.1.3)
- $q_z$  la presión dinámica de base, en  $Pa$ , (inciso 1.6.2).

Es importante remarcar que esta presión interior se considerará constante sobre todas las superficies interiores de la construcción y que, para diseñar las estructuras y sus recubrimientos, deberá tomarse en cuenta que las presiones interiores actúan simultáneamente con las exteriores descritas en la inciso 1.6.4.1, debiéndose seleccionar la combinación de ellas que resulte más desfavorable. Asimismo, para su cálculo se considerará la altura de referencia  $\bar{h}$ .

Los distintos valores del coeficiente de presión interior,  $C_{pi}$ , se dan en la Tabla 13 y en la Tabla 14. La Tabla 13 se aplica cuando las superficies son impermeables o permiten pequeñas filtraciones de viento al interior de la construcción –no son impermeables-. La Tabla 14 es aplicable cuando existen aberturas de tamaño considerable sobre las superficies que conforman la estructura. En estas tablas se emplean los conceptos de permeabilidad, impermeabilidad, aberturas y aberturas dominantes, las que se definen a continuación:

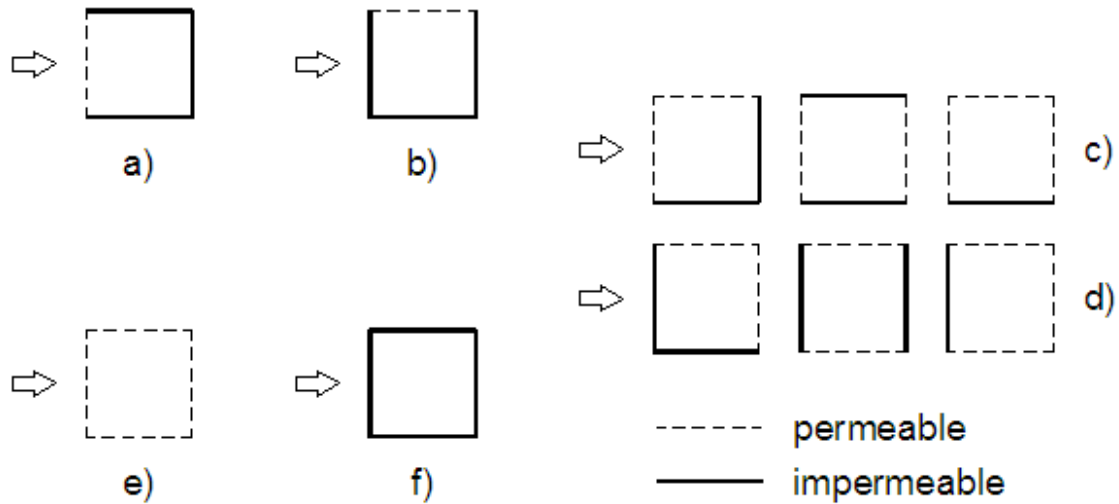
1. Permeabilidad. Si en una estructura existen huecos o hendiduras que permiten que el flujo de viento penetre a su interior, entonces se presentan presiones interiores que pueden alcanzar magnitudes importantes o actuar simultáneamente con las exteriores provocando condiciones desfavorables, por lo que deberán tomarse en cuenta. Para fines de este apéndice, la permeabilidad de una superficie se determina como el cociente entre el área de las hendiduras y huecos (pueden incluirse huecos pequeños tales como ventilas de ventanas), resultado de las tolerancias normales de la construcción, y el área total de esa superficie; Se considera una superficie permeable cuando el cociente de estas áreas resulta entre 0.001 y 0.005. Dado que resulta poco práctico evaluar esta permeabilidad, en la Tabla 11 se incluyen diferentes casos que, en forma cualitativa, toman en cuenta la permeabilidad de las superficies expuestas.
2. Impermeabilidad. Se considera como superficie impermeable aquella en la que el cociente del área abierta y el área total de la superficie es menor que 0.001.
3. Aberturas. Se consideran como tales las puertas y ventanas abiertas, ventilas para aire acondicionado y sistemas de ventilación, y aberturas en los recubrimientos, entre otras.
4. Aberturas dominantes. Se consideran de este tipo, cuando el cociente del área abierta y el área total de la superficie es mayor que 0.005. Una abertura

dominante no necesariamente es grande, también puede presentarse como resultado de un escenario particular al producirse una abertura mientras otras están cerradas.

La Tabla 13 se empleará cuando se considere el caso en el que las aberturas estén cerradas y la permeabilidad predomina. Por el contrario, la Tabla 14 se empleará en el caso de que se considere la existencia de aberturas dominantes.

**Tabla 13 - Coeficiente de presión interior,  $C_{pi}$ , para construcciones con planta rectangular cerrada sin aberturas dominantes mayores al 0.5 % del área del muro o techo correspondiente.**

Condiciones de permeabilidad posibles	Coeficiente de presión interior ( $C_{pi}$ )
1. Un muro permeable, los otros impermeables:  a) Muro de barlovento permeable  b) Muro de barlovento impermeable (Casos a y b de la Figura 14 respectivamente)	$C_{pe}$  -0.30
2. Dos o tres muros igualmente permeables, el (los) otro(s) impermeable(s):  a) Muro de barlovento permeable  b) Muro de barlovento impermeable (Casos c y d de la Figura 14, respectivamente)	-0.10 o 0.20 según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable.  -0.30
3. Todos los muros permeables (Caso e de la Figura 14)	-0.30 o 0.00 según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable.
4. Construcciones selladas eficientemente y que tengan ventanas que no puedan abrirse. (Caso f de la Figura 14)	-0.20 o 0.00 según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable
Nota: Cuando se muestran dos valores, éstos se deben considerar como casos de carga separados.	



**Figura 14 - Definición de ejemplos que muestran diferentes casos de permeabilidad en muros de edificaciones. La flecha indica la dirección del viento**

**Tabla 14 - Coeficiente de presión interior,  $C_{pi}$ , para construcciones con planta rectangular cerrada con aberturas dominantes mayores al 0.5% del área del muro o techo correspondiente**

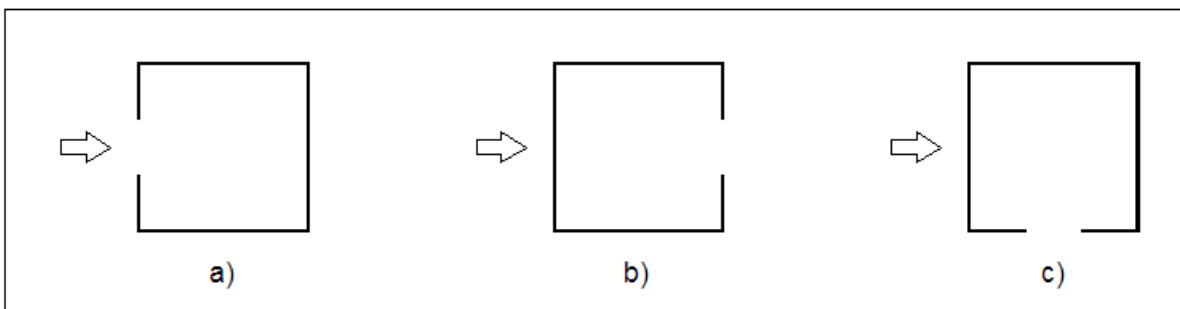
Ubicación de las aberturas dominantes	Relación entre el área de aberturas dominantes en una superficie y la suma de las áreas de las aberturas del techo y de los otros muros (incluyendo el área de posible permeabilidad)						
	≤ 0.5		1		2	3	≥ 6
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2			
a) En el muro de barlovento (MB); Caso a) de Figura 15	-0.30	0.00	-0.10	0.20	$0.70 \cdot C_{pe}$	$0.85 \cdot C_{pe}$	$C_{pe}$
b) En el muro de sotavento (MS); Caso b) de la Figura 15	-0.30	0.00	-0.30	0.00	$C_{pe}$	$C_{pe}$	$C_{pe}$
c) En un muro lateral (ML); Caso c) de la Figura 15	-0.30	0.00	-0.30	0.00	$C_{pe}$	$C_{pe}$	$C_{pe}$
d) En el techo	-0.30	0.00	-0.30	0.00	$C_{pe}$	$C_{pe}$	$C_{pe}$

Notas:  
El valor de  $C_{pe}$  que se seleccione debe corresponder al de la superficie con la mayor abertura dominante. Por ejemplo, para el caso en el que la abertura dominante se ubique en el muro en sotavento, cuando la relación entre el área total de las aberturas

dominantes y el área total del techo y de los otros muros sea 2, el  $C_{pi}$  será igual a  $C_{pe}$ , en donde el valor del  $C_{pe}$  deberá tomarse de la Tabla 5 para muros en sotavento.

**Dado que en las**

Tabla 6 a la Tabla 9 el  $C_{pe}$  varía según la zona de la superficie, para calcular el  $C_{pi}$  deberá localizarse, en la superficie en cuestión, el centroide de las aberturas y tomar el valor correspondiente a esa posición.



**Figura 15 - Ejemplos que muestran diferentes casos de aberturas dominantes en muros de edificaciones. La flecha indica la dirección del viento.**

**1.6.4.2 Caso III Cubiertas curvas soportadas por muros laterales**

Los valores del coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , para construcciones con cubierta circular y domos, desplantados sobre muros o sobre el terreno natural, se presentan en la Tabla 15. Para el caso del viento con dirección normal a la cumbre,  $\theta = 0^\circ$ . Cuando se enumeran dos valores, la cubierta debe diseñarse para el que produzca las condiciones más desfavorables ya que la superficie del techo puede estar sujeta a valores positivos o negativos debido a la turbulencia del viento. Se debe considerar una combinación alternativa de presiones exteriores e interiores para obtener las condiciones más severas para el diseño.

Los valores del coeficiente de presión exterior para el caso de la dirección del viento paralela a la cumbre,  $\theta = 90^\circ$ , se obtendrán de la Tabla 8.

Las presiones exteriores en los muros de la construcción (Figura 15), se determinarán de acuerdo con lo indicado en el inciso 1.6.4.1 de construcciones de planta rectangular cerrada; la pendiente del techo,  $\gamma$ , que se utilizará será la que corresponda a la secante del arco que une el punto de la cumbre con el del punto de arranque.

Para el caso de los techos con cubierta de arco circular, el efecto de la relación  $b/d$  se tomará en cuenta multiplicando los coeficientes de Tabla 15 por un factor de  $(b/d)^{0.25}$ , donde  $b$  es el ancho de la estructura perpendicular a la dirección del viento y  $d$  es el claro de la estructura paralela a la dirección del viento Figura 16. Si  $(b/d)^{0.25}$  es menor que 1.0, se tomará igual a 1.0.

Se revisarán todas las combinaciones de coeficientes de presión en barlovento, zona central y sotavento.

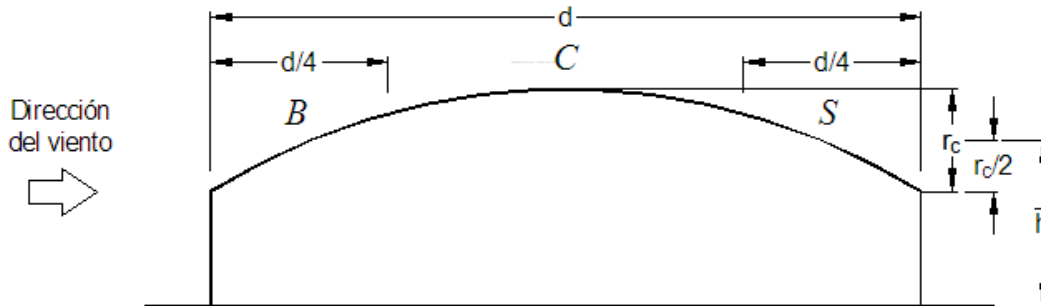


Figura 16 - Cubiertas en arco dirección del viento normal a la cubierta  $\theta = 0^\circ$

Tabla 15. Coeficientes de presión  $C_{pe}$  para cubiertas en arco o domo. Viento normal a la cumbrera,  $\theta = 0^\circ$

Relación $r_c/d$	Caso	Coeficiente de presión exterior ( $C_{pe}$ )		
		Zona barlovento (B)	Zona Central (C)	Zona sotavento (S)
0.9	1	$-(0.20 + 0.40 \bar{h}/r_c)$	$-(0.55 + 0.20 \bar{h}/r_c)$	$-(0.40 + 0.20 \bar{h}/r_c)$
	2	0.00		0.00
0.2	1	$(0.30 - 0.40 \bar{h}/r_c)$		$-(0.25 + 0.20 \bar{h}/r_c)$
	2	0.00		0.00
0.5	1	$(0.50 - 0.40 \bar{h}/r_c)$		$-(0.10 + 0.20 \bar{h}/r_c)$
	2	0.00		0.00

NOTAS:

- 1) Los parámetros que se emplean en esta tabla se ilustran en la Figura 16.
- 2)  $\bar{h}$  es la altura de referencia de la cubierta y  $r_c$  es la altura de la cumbrera como se muestra en la Figura 16
- 3) Para valores intermedios de relación altura-claro,  $r_c/d$ , los valores de  $C_{pe}$  pueden interpolarse linealmente.
- 4) Para  $\bar{h}/r_c > 2$ , se usará la Tabla 15 considerando  $\bar{h}/r_c = 2$ .
- 5) Para  $r_c/d < 0.09$ , se usará Tabla 8.
- 6) Los valores nulos proporcionados para la zona de barlovento son valores alternativos para los efectos de acción del viento, como la flexión, que son

sensibles a la distribución de la presión (la turbulencia y las fluctuaciones de presión producirán un intervalo de valores que ocurrirán en diferentes instantes de tiempo durante un evento eólico).

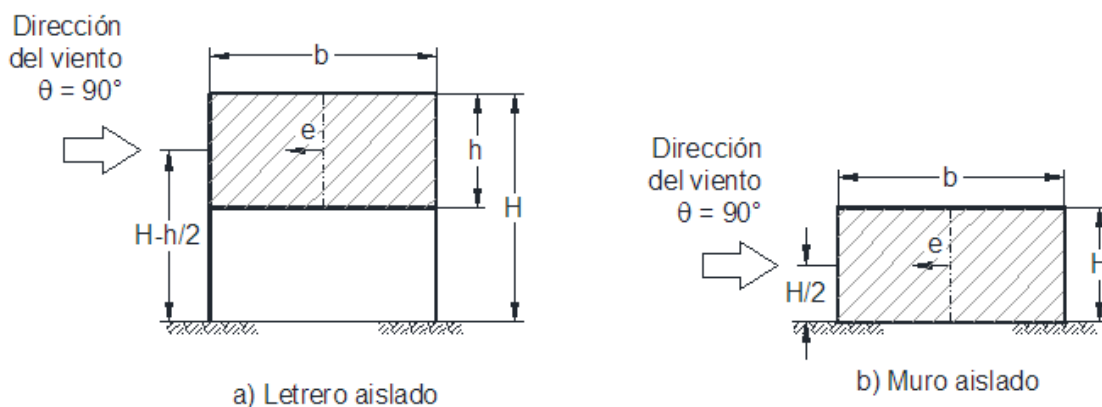
- 7) Si en la cumbrera del techo se coloca un extractor atmosférico o linternilla que tenga una altura de por lo menos 5 % de la altura total del techo, se le sumará 0.3 al coeficiente de presión exterior correspondiente a la zona central de la cubierta; por ejemplo, cuando el coeficiente de presión sea igual a  $-0.67$  en la zona central, deberá sustituirse por  $(-0.67 + 0.3) = -0.37$ . Dichas reducciones no se realizarán para la dirección del viento paralela a la cumbrera ya que, en este caso, el ventilador tiene poco efecto sobre el flujo del aire y sobre las presiones exteriores resultantes.

El factor de reducción de presión por tamaño de área,  $K_A$ , el factor de presión local,  $K_L$ , y el factor de presión para recubrimientos y anclajes,  $K_{ra}$ , se determinarán de acuerdo con los incisos 1.6.4.1.3 y 1.6.4.1.4.

Para el diseño de los elementos que no forman parte del sistema de la estructura principal, el factor  $K_L$ , se deberá obtener de la Tabla 11, considerando las áreas de afectación correspondientes a un techo plano. Finalmente, las presiones interiores se obtendrán conforme al inciso 1.6.4.1.5.

### 1.6.4.3 Caso IV (Muros aislados y Letreros)

En el caso de muros o bardas que tengan una reja que aumente su dimensión vertical, su altura efectiva se deberá incrementar incluyendo la de la reja. Sin embargo, el área de la reja, adicional a la de la pared, contribuirá solamente con un 50 % de su dimensión vertical para el cálculo de la presión. Este aumento de área expuesta se traduce no sólo en una mayor fuerza lateral sino también en un mayor momento de volteo, pues el brazo de palanca aumentará también debido a la reja. Para el caso de muros o bardas y techos aislados, los coeficientes de presión se describen a continuación.



**Figura 17 - Dimensiones de paredes aisladas y anuncios en dirección del viento**

Nota: Si la relación  $h/H > 0.70$ , el letrero deberá tratarse como un muro aislado.

La presión neta sobre la pared o anuncio, suma de los empujes de barlovento y succiones de sotavento, se debe calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$p_n = C_{pn} K_p q_z \quad (14)$$

En donde:

$C_{pn}$  es el coeficiente de presión neta actuando normal a la superficie del muro o letrero, se obtiene de las Tabla 16, y Tabla 18, según el caso (Figura 16 y Figura 17).

$K_p$  el factor de reducción de presión por porosidad, adimensional; este factor está dado por:  $[1 - (1 - \phi)^2]$ ; en donde  $\phi$  es la relación de solidez del letrero o muro,

$q_z$  la presión dinámica de base, en  $Pa$ , (Sección 11.6.2).

Al aplicar el  $C_{pn}$ , la fuerza resultante siempre actuará normal a la superficie del letrero o muro, sin importar la dirección del viento. Debe considerarse que el punto de aplicación de dicha fuerza resultante se ubica a la mitad de la altura del letrero ( $H - h/2$ ), o del muro ( $H/2$ ), y a una excentricidad horizontal, "e", definidas en las Tabla 16 a la Tabla 18, según sea el caso. Asimismo, se considerará que el espesor del letrero o muro es muy pequeño comparado con sus otras dos dimensiones.

**Tabla 16 - Coeficiente de presión neta,  $C_{pn}$ , para letreros y muros aislados. Dirección del viento  $\theta = 0^\circ$**

b/h	h/H	Coeficiente de presión neta ( $C_{pn}$ )	e
0.5 a 5.0	0.2 a 1.0	$1.30 + 0.50 [0.30 + \log_{10}(b/h)] (0.80 - h/H)$	0.00
> 5.0		$1.70 - 0.50 h/H$	0.00
Cualquiera	< 0.2	$1.40 + 0.30 \cdot \log_{10}(b/h)$	0.00

**Tabla 17 - Coeficiente de presión neta,  $C_{pn}$ , para letreros y muros aislados. Dirección del viento  $\theta = 45^\circ$** 

b/h	h/H	Coeficiente de presión neta ( $C_{pn}$ )	e
0.5 a 5.0	0.2 a 1.0	$1.30 + 0.50 [0.30 + \log_{10}(b/h)] (0.80 - h/H)$	$0.20 \cdot b$
	< 0.2	$1.40 + 0.30 \cdot \log_{10}(b/h)$	$0.20 \cdot b$

b/h	h/H	Distancia horizontal medida a partir del borde libre de barlovento	$C_{pn}$
> 5.0	$\leq 0.7$	0 a 2 h	3.00
		2 h a 4 h	1.50
		> 4 h	0.75
	> 0.7	0 a 2 H	2.40
		2 H a 4 H	1.20
		> 4 H	0.60

Nota: Cuando un letrero o muro forme una esquina que se extienda más allá de 1h, el  $C_{pn}$ , para una distancia de 0 a 2 h, será igual a 2.2 para un letrero y, para una distancia de 0 a 2 H, será igual a 1.8 para un muro.

**Tabla 18 - Coeficiente de presión neta,  $C_{pn}$ , para letreros y muros aislados. Dirección del viento  $\theta = 90^\circ$** 

b/h	h/H	Distancia horizontal medida a partir del borde libre de barlovento	Caso 1	Caso 2
Cualquiera	$\leq 0.7$	0 a 2 h	-1.20	1.20
		2 h a 4 h	-0.60	0.60
		> 4 h	-0.30	0.30
	> 0.7	0 a 2 H	-1.00	1.00
		2 H a 4 H	-0.25	0.25
		> 4 H	-0.25	0.25

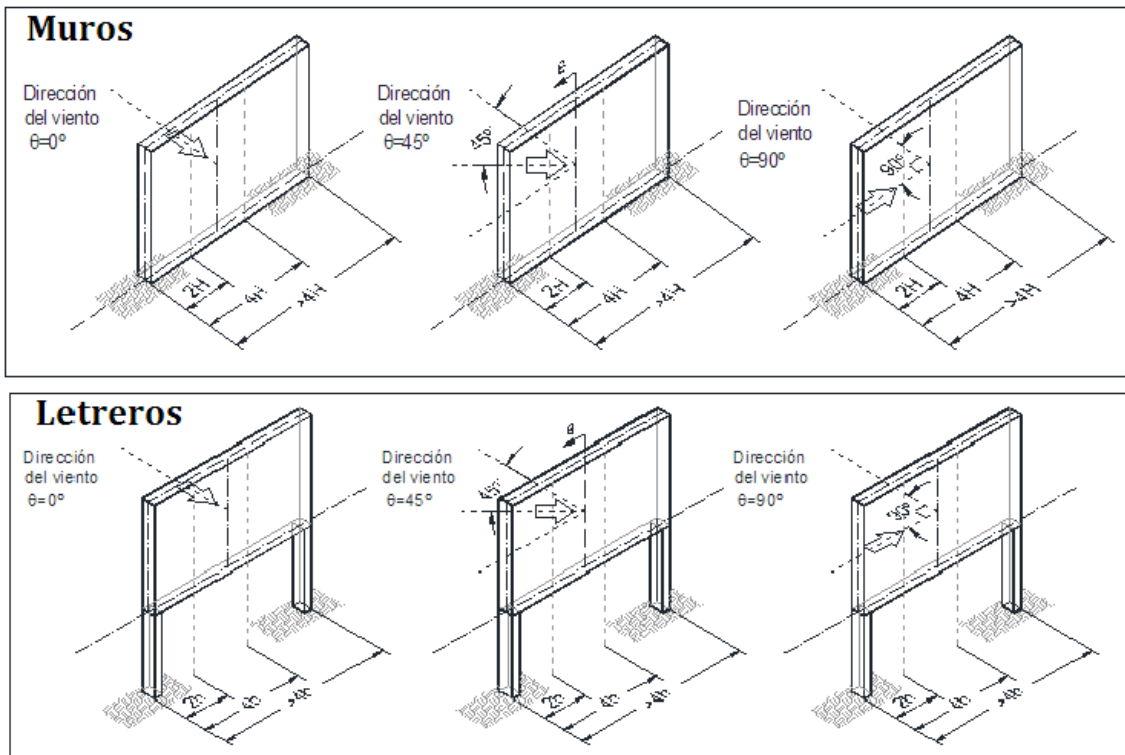


Figura 18 - Acción sobre paredes aisladas (muros) o anuncios (letreros)

#### 1.6.4.4 Banderas

La fuerza  $F_b$ , en  $N$ , que el viento ejerce sobre una bandera se determina con la siguiente ecuación:

$$F_b = C_{pn} A_{ref} q_z \quad (15)$$

En donde:

- $C_{pn}$  es el coeficiente de presión neta actuando normal a la superficie de la bandera, adimensional,
- $A_{ref}$  el área de referencia de la bandera proyectada en el plano normal a la dirección del viento, Figura 19, en  $m^2$ ,
- $q_z$  la presión dinámica de base del viento calculada según el inciso 0, a la altura total  $H$ , en  $Pa$ .

La altura de referencia se considera igual a la altura total,  $H$ , de la bandera con respecto al nivel del suelo (Figura 19).

El valor de  $C_{pn}$ , adimensional, se calcula según lo que se indica a continuación:

- 1) Bandera fija, el  $C_{pn}$  debe obtenerse de acuerdo con las recomendaciones dadas

para los letreros (inciso 1.6.4.3).

- 2) Bandera libre (incluyendo efectos dinámicos, como es el aleteo), el  $C_{pn}$  se determina con la siguiente ecuación:

$$C_{pn} = 0.05 + 0.7 \frac{m_f}{\rho h_b} \left( \frac{A_{ref}}{h_b^2} \right)^{-1.25} \quad (16)$$

En donde:

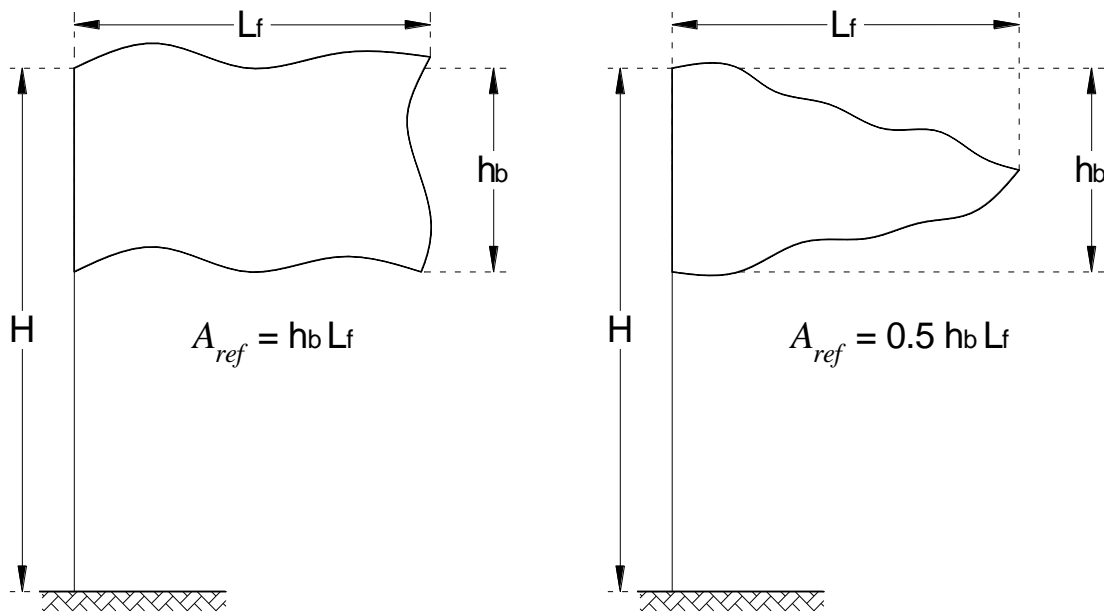
$m_f$  es la masa por unidad de área de la bandera, en  $\text{kg/m}^2$

$\rho$  la densidad del aire del sitio, en  $\text{kg/m}^3$ ,

$h_b$  la altura de la bandera (Figura 19), en m

$L_f$  la longitud de la bandera (Figura 19), en m.

El área de referencia  $A_{ref}$ , es la definida en la Figura 19. En la Ecuación (16) el valor de  $C_{pn}$  no debe ser mayor que 0.76. La fuerza resultante  $F_b$ , se deberá aplicar a la altura  $H - (h_b/2)$ .



**Figura 19 - Área de referencia para la bandera**

### 1.6.5 Aspectos a considerar en zonas de impacto de huracanes

Por otra parte, en las zonas propensas a sufrir el impacto de huracanes (zonas dentro de una franja de 1 km de ancho sobre la costa o con velocidades de 200 km/h o mayores), los sistemas de aire acondicionado, las cancelerías, vidrios y anclajes, deberán diseñarse para resistir impactos de proyectiles conforme a lo que indica el CDV-MDOC vigente. Adicionalmente, será necesario dejar trabas a los lados de las ventanas para que en caso de la víspera de un huracán se coloquen tablas para su protección; también pueden colocarse sistemas de cortinas plegables que hayan tenido un desempeño satisfactorio en huracanes pasados.

### 1.6.6 INFE empleada como refugios contra tornados

Las fuerzas debidas a vientos de tornado que se ejercen sobre los muros y techos de estructuras cerradas serán las resultantes de las presiones actuantes sobre sus superficies exteriores e interiores y deberán calcularse de acuerdo con la Ecuación ( 11 ).

Los coeficientes de presión son aplicables a estructuras con las siguientes limitaciones:

- 1) altura de construcción,  $H$ , menor o igual a 10 m.
- 2) cubierta a dos aguas con inclinación del techo menor o igual a 20°.
- 3) relación  $h/d$  menor o igual a 0.5.

Para el cálculo de las presiones exteriores,  $p_e$ , sobre una de las superficies de una construcción cerrada, se empleará la ecuación ( 12 ). En la estimación de las presiones en estructuras de baja altura, el coeficiente de presión exterior indicado en la ecuación ( 12 ) se sustituirá por el coeficiente de presión medio estático por tornado  $C_{pet}$ , adimensional, que se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{pet} = F_{tr} C_{pe} \quad (17)$$

En donde:

$F_{tr}$  es el factor de incremento del coeficiente de presión por tornados (Tabla 19), adimensional, y

$C_{pe}$  es el coeficiente de presión exterior, adimensional, dado en el inciso 1.6.4.1

En la Tabla 19 se proporcionan los valores del factor de incremento del coeficiente de presión para tornados  $F_{tr}$ , para muros y techos de construcciones con planta rectangular cerrada.

**Tabla 19 - Factor de incremento del coeficiente de presión exterior para tornado  $F_{tr}$ , para construcciones con planta rectangular cerrada**

Descripción	Factor de incremento del coeficiente de presión para tornados ( $F_{tr}$ )
Muro barlovento	1.00
Muro sotavento	1.00
Muros laterales	1.50
Techos a dos aguas con inclinación del techo menor o igual a 20°	3.20

## 1.7 Empujes Dinámicos por Efectos del Viento

### 1.7.1 Limitaciones del método dinámico

El análisis dinámico se emplea para evaluar la acción resultante de la interacción dinámica entre el flujo del viento y las estructuras pertenecientes al Tipo 2 y Tipo 3. Las fuerzas y presiones actuantes sobre algunas de las partes o subsistemas, como tramos de muros o cubiertas, deben determinarse mediante el análisis estático, con los coeficientes y factores de presión correspondientes al método empleado. El procedimiento de análisis dinámico se aplicará para calcular las cargas estáticas equivalentes inducidas por el viento que actúan sobre las estructuras sensibles a los efectos dinámicos producidos por la turbulencia del viento; dichas estructuras tienen además un comportamiento elástico lineal.

Para la aplicación del método dinámico se deberá satisfacer alguna de las siguientes condiciones:

- 1) La relación  $H/D > 5$ , en donde  $H$  es la altura de la construcción y  $D$  la dimensión mínima de la base, ambas en  $m$ , o
- 2) El periodo fundamental de la estructura (en la dirección del empuje dinámico del viento) es mayor que un segundo y menor o igual que cinco segundos.

Si el periodo de la estructura es mayor que cinco segundos y su altura mayor a los 200  $m$ , este procedimiento no es aplicable y deberán realizarse estudios experimentales en túnel de viento o numéricos.

### 1.7.2 Fuerza estática equivalente en la dirección del viento $F_{eq}(z)$

La fuerza estática equivalente actuando sobre la estructura, en  $N$ , para una altura sobre el nivel del terreno,  $z$  en  $m$ , se obtiene con la Ecuaciones ( 18 ) y ( 19 ).

Para estructuras cerradas:

$$F_{eq}(z) = \left( \frac{P_{ze}}{1 + 7I_v(z_s)} F_{RR} - P_{zi} \right) A_{exp} \quad (18)$$

Para estructuras abiertas o en la que no existe presión interna:

$$F_{eq}(z) = \left( \frac{P_n}{1 + 7I_v(z_s)} F_{RR} \right) A_{exp} \quad (19)$$

En donde:

$P_e$  la presión exterior, en  $Pa$  (definida en el inciso 11.6.3),

$P_i$  la presión interior, en  $Pa$  (definida en el inciso 11.6.3),

$P_n$  la presión neta, en  $Pa$  (para el cálculo de esta presión se consultará el CDV-MDOC vigente),

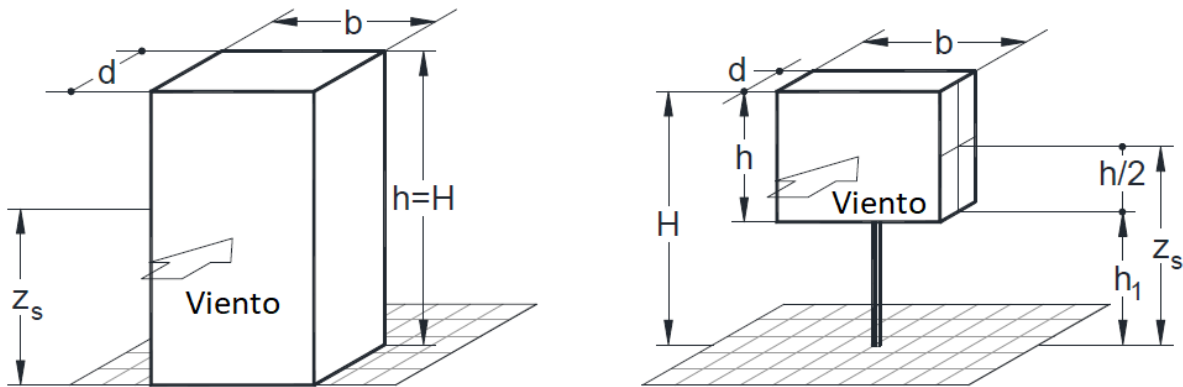
$A_{exp}$  es el área expuesta proyectada en un plano perpendicular a la dirección del viento, en  $m^2$ , y

$F_{RR}$  es el factor de respuesta de ráfaga paralela a la dirección del viento, calculado de acuerdo a la inciso 1.7.3

### 1.7.3 Determinación del factor de respuesta de ráfaga paralela a la dirección del viento, $F_{RR}$

Este procedimiento sólo podrá emplearse si se cumplen las siguientes condiciones:

La estructura corresponde a una de las siguientes formas generales:



**Figura 20 - Formas generales de estructuras contempladas en el análisis dinámico y alturas de referencia ( $z_s$ )**

Para estructuras verticales se calcula con la siguiente expresión:

$$z_s = 0.6 H \geq z_{min} \quad (20)$$

Para estructuras con masas concentradas como anuncios espectáculos o tanques elevados se calcula con la siguiente expresión:

$$z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{\min} \quad (21)$$

La respuesta máxima en la dirección del viento está dada principalmente por la contribución del modo fundamental de vibrar, cuyas coordenadas espectrales tendrán el mismo signo. Por tanto, la contribución de los modos de vibrar superiores se considera despreciable.

El factor de respuesta de ráfaga para estas estructuras se calcula con la siguiente expresión:

$$F_{RR} = 1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2} \quad (22)$$

En donde:

$$I_v(z_s) = \bar{d} \left( \frac{z_s}{10} \right)^{-\alpha'} \quad z_{\min} \leq z_s \leq 200 \quad (23)$$

$$I_v(z_s) = \frac{1}{\ln \left( \frac{z_{\min}}{z_0} \right)} \quad z_s \leq z_{\min} \quad (24)$$

$$k_p = \sqrt{2 \ln(600v)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \ln(600v)}} \geq 3.0 \quad (25)$$

$$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \geq 0.08 \quad (26)$$

En donde:

$n_{1,x}$  es la frecuencia natural de vibración de la estructura en el modo fundamental, en Hertz.

Los valores de los parámetros  $\bar{d}$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  y  $\alpha'$  dependen de la categoría del terreno y se presentan en la Tabla 20.

**Tabla 20 - Valores de los parámetros  $\bar{d}$ ,  $z_0$ ,  $z_{min}$ ,  $\alpha'$** 

Categoría del terreno	$\bar{d}$	$z_0$ (m)	$z_{min}$ (m)	$\alpha'$
1	0.12	0.001	1	0.10
2	0.17	0.020	2	0.14
3	0.25	0.200	5	0.19
4	0.39	1.000	10	0.26

El factor de respuesta de fondo ( $B^2$ ) y el factor de respuesta en resonancia ( $R^2$ ), que se definen en la inciso 1.7.5, dependen de la velocidad media del viento para empujes dinámicos ( $V'_D$ ), la cual se define en la siguiente Sección.

#### 1.7.4 Determinación de la velocidad media para empujes dinámicos, $V'_D$

La velocidad media del viento, correspondiente a un tiempo promediado de 600 segundos para el cálculo de empujes dinámicos, se determinará con la siguiente expresión:

$$V'_D = \frac{F_T F'_{rz} V_r}{3.6} \quad (27)$$

En donde:

$F_T$  es el factor de topografía, definido en la Sección 1.6.1.3,

$V_r$  es la velocidad regional de ráfaga, obtenida de los mapas de velocidades regionales de la versión del CDV-MDOC vigente, y

$F'_{rz}$  es el factor de exposición para la velocidad media, definido en la siguiente Sección.

##### 1.7.4.1 Determinación del factor de exposición para empujes dinámicos, $F'_{rz}$

El factor de exposición,  $F'_{rz}$ , considera el efecto combinado de las características de rugosidad local y de la variación de la velocidad con la altura, y se define como:

$$F'_{rz} = 0.702\bar{b} \quad \text{Si } z \geq 10 \quad (28)$$

$$F'_{rz} = 0.702\bar{b} \left( \frac{z}{10} \right)^{\alpha'} \quad \text{Si } 10 \leq z < 200 \quad (29)$$

En donde:

$z$  es la altura medida a partir del nivel medio del terreno, en la cual se desea calcular la velocidad media del viento, en m;

$\bar{b}$  es un coeficiente adimensional, que se obtiene de la Tabla 21, y

$\alpha'$  es un exponente adimensional que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura, cuyos valores se presentan en la Tabla 20.

**Tabla 21 - Valores del parámetro  $\bar{b}$**

Categoría del terreno	$\bar{b}$
1	1.17
2	1.00
3	0.82
4	0.61

### 1.7.5 Determinación del factor de respuesta de fondo ( $B^2$ ) y del factor de respuesta en resonancia ( $R^2$ )

El factor de respuesta de fondo,  $B^2$ , y el factor de respuesta en resonancia,  $R^2$ , se calculan con las siguientes expresiones respectivamente:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.90 \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0.63}} \tag{30}$$

$$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_{t,x}} S_L(z_s, n_{1,x}) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b) \tag{31}$$

En donde:

$b$  y  $h$  son el ancho y la altura de la estructura (Figura 20) ambas en m,

$L(z_s)$  la longitud de la escala de turbulencia, adimensional, a la altura de referencia  $z_s$ , en m.

La longitud de escala de turbulencia se define como:

$$L(z_s) = 300 \left( \frac{z_s}{200} \right)^{\bar{\alpha}} \quad \text{para } z_s \geq z_{\min} \tag{32}$$

$$L(z_s) = 300 \left( \frac{z_{\min}}{200} \right)^{\bar{\alpha}} \quad \text{para } z_s < z_{\min} \tag{33}$$

Los valores de  $z_{\min}$  se presentan en la Tabla 20 y los valores del parámetro  $\bar{\alpha}$  se presentan en la Tabla 22 para diferentes categorías del terreno.

**Tabla 22 - Valores del parámetro  $\bar{\alpha}$**

Categoría del terreno	$\bar{\alpha}$
-----------------------	----------------

1	0.44
2	0.52
3	0.61
4	0.67

La densidad de potencia espectral del viento,  $S_L(z_s, \eta_{1,x})$  y las funciones de admitancia aerodinámica  $R_h(\eta_h)$  y  $R_b(\eta_b)$  están dadas por:

$$S_L(z_s, \eta_{1,x}) = \frac{6.8 \left( \frac{\eta_{1,x} L(z_s)}{V'_D(z_s)} \right)}{\left[ 1 + 10.2 \left( \frac{\eta_{1,x} L(z_s)}{V'_D(z_s)} \right) \right]^{5/3}} \quad (34)$$

$$R_h(\eta_h) = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}); \quad R_h(\eta_h) = 1.0 \quad \text{para } \eta_h = 0 \quad (35)$$

$$R_b(\eta_b) = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}); \quad R_b(\eta_b) = 1.0 \quad \text{para } \eta_b = 0 \quad (36)$$

En donde:

$S_L(z_s, \eta_{1,x})$  densidad de potencia espectral del viento;  
 $R_h(\eta_h)$  y  $R_b(\eta_b)$  admitancia aerodinámica;

En donde:

$$\eta_h = \frac{4.6 h \eta_{1,x}}{V'_D(z_s)} \quad \text{y} \quad \eta_b = \frac{4.6 b \eta_{1,x}}{V'_D(z_s)} \quad (37)$$

La relación de amortiguamiento total ( $\xi_{t,x}$ ) está dada por tres componentes adimensionales, éstos son: el amortiguamiento estructural ( $\xi_{est,x}$ ), el aerodinámico ( $\xi_{a,x}$ ) y el asociado con dispositivos especiales de amortiguamiento ( $\xi_{d,x}$ ), y se calcula como:

$$\xi_{t,x} = \xi_{est,x} + \xi_{a,x} + \xi_{d,x} \quad (38)$$

Algunos valores representativos de relación de amortiguamiento estructural son: 0.015; 0.01 y 0.013 para edificios de concreto reforzado y presforzado, edificios de acero y estructuras mixtas de concreto y acero, respectivamente. Otros valores de relación de amortiguamiento estructural pueden consultarse en el CDV-MDOC vigente.

Para el cálculo de los empujes dinámicos paralelos a la dirección del viento de estructuras con forma diferente a las mostradas en la Figura 20, así como los empujes transversales, se pueden emplear los procedimientos descritos en el CDV-MDOC

vigente, en donde también se hace una descripción detallada de los términos y factores empleados para el cálculo de los empujes dinámicos.

## 1.8 Estados límite de servicio

### 1.8.1 Desplazamiento y distorsiones

Los valores límite permisibles para las condiciones de servicio de estructuras sometidas a la acción del viento en términos de distorsiones de entrepiso y desplazamiento lateral se presentan en la Tabla 23.

La revisión de los estados límites de servicio se debe realizar independientemente del tipo de análisis empleado (estático o dinámico). El diseñador podrá optar por revisar los estados límites de servicio para las velocidades asociadas con periodos de retorno de 10 o 50 años, proporcionadas en los mapas de isotacas del CDV-MDOC vigente.

**Tabla 23- Estados límite de servicio de distorsiones y de desplazamiento lateral para estructuras con geometría regular**

<b>Efecto a controlar</b>	<b>Estado límite de servicio<sup>(1)(3)</sup></b>	<b>Observaciones</b>
Distorsiones de entrepiso <sup>(2)</sup>	1/200	Cuando no existan elementos no estructurales que puedan dañarse como consecuencia de las deformaciones angulares
	1/500	Cuando no existan elementos no estructurales que puedan dañarse como consecuencia de las deformaciones angulares
Desplazamiento lateral <sup>(4)</sup>	$H/500$	Calculado a la altura máxima del edificio, $H$ .

NOTAS:

1. El diseñador podrá optar por revisar estos límites para las velocidades asociadas con periodos de retorno de 10 o 50 años.
2. La distorsión de entrepiso se evaluará como la relación entre el desplazamiento relativo y la altura del entrepiso correspondiente, adimensional.
3. El valor del estado límite de servicio para distorsiones de entrepiso es adimensional.
4. El valor del estado límite de servicio para el desplazamiento lateral,  $H/500$ , tendrá las mismas unidades que las que se utilicen para la altura máxima del edificio,  $H$ .

### 1.8.2 Aceleraciones en edificios

Se presentan dos procedimientos, el primero, denominado procedimiento simplificado, permite calcular la aceleración máxima en función de las propiedades dinámicas del edificio y de las condiciones del viento del sitio considerado, y el segundo, denominado procedimiento detallado, además de considerar las propiedades dinámicas del edificio y las condiciones del viento del sitio en estudio, también incluye el porcentaje de personas que percibiría la aceleración máxima inducida por el viento. Se podrá emplear cualquiera de los dos procedimientos para verificar los niveles de aceleración debida a empujes dinámicos. Para la revisión de aceleraciones, se empleará una velocidad asociada con un periodo de retorno de 10 años, proporcionada en los mapas de isotacas del CDV-MDOC vigente.

### 1.8.2.1 Procedimiento simplificado

La aceleración máxima en la dirección del viento en el extremo superior del edificio,  $\hat{a}$ , en *mili-g*, se determina de acuerdo con la ecuación (83). Para la determinación de la aceleración se empleará la velocidad media de diseño del viento para análisis dinámicos asociada con un periodo de retorno de 10 años. La aceleración calculada con este procedimiento deberá ser menor que el límite de aceleración establecido en la Tabla 40.

$$\hat{a} = \frac{1000}{9.81} \left( g \frac{1}{m_0} \rho b h C_a [V_D'(z_s)]^2 I_v(z_s) R K \right) \quad (\text{mili-g}) \quad (39)$$

En donde:

$m_0$  es la masa modal en, dada por  $m_0 = \int_0^h \mu(z) \phi^2(z) dz$ ;  $\mu(z)$  es la masa por unidad de longitud, en (kg/m), y  $\phi(z)$  es la forma del primer modo de vibrar del edificio, aproximada por  $(z/h)^\beta$ ,

$K$  es un factor de corrección por forma modal dado por  $K = \frac{(1.67)^{2\alpha'}}{1 + \left(\frac{2\alpha' - \beta}{1 + 2\beta}\right)}$ ,

$C_a$  es el coeficiente de arrastre igual a 1.2,  $\beta$  es el exponente de la forma modal considerada, con valor de 1.0 para edificios estructurados en forma de tubo, con muros centrales y columnas periféricas o columnas esbeltas y contravientos, e igual a 1.5 para edificios esbeltos empotrados en la base, estructurados por medio de muros de cortante centrales. El resto de los parámetros fueron definidos a lo largo de la Sección 11.7.

**Tabla 24 - Ecuaciones valores límites recomendados para las aceleraciones de edificios, en mili-g**

Uso del edificio	Límite de aceleración (mili-g)
------------------	--------------------------------

Oficinas	$-4.35\ln(n_{1,x}) + 5.5$ para $0.2 \leq n_{1,x} \leq 1.0$
Residencial	$-2.36\ln(n_{1,x}) + 3.0$ para $0.2 \leq n_{1,x} \leq 1.0$
Notas: $n_{1,x}$ es la frecuencia fundamental del modo de vibrar en flexión de la estructura, en la dirección longitudinal al flujo del viento, en $H_z$ .	

### 1.8.2.2 Procedimiento detallado

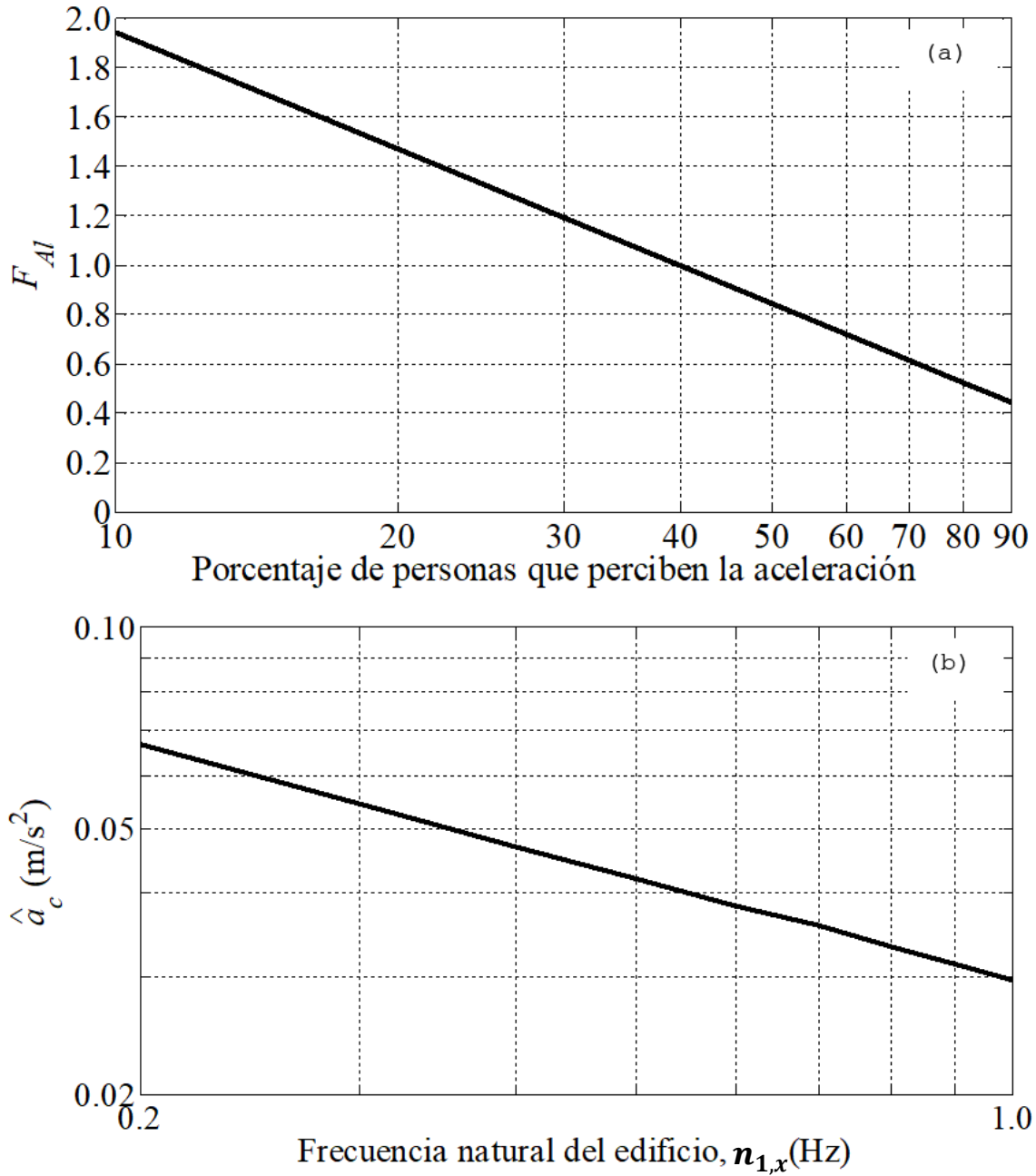
Se considerará que la aceleración máxima inducida por el viento en un edificio es aceptable si:

$$(\hat{a} \times F_{AI}) \leq a_c \quad (\text{mili-g})$$

En donde:

$F_{AI}$  es el factor de aceleración, que se obtiene de la Figura 21 (a),

$a_c$  es la aceleración crítica, que se obtiene de la Figura 21 (b).



**Figura 21 - Parámetros empleados en el procedimiento detallado:**  
**(a) Factor de aceleración ( $F_{AI}$ ) en función del porcentaje de personas que perciben la aceleración; (b) Aceleración crítica ( $\hat{a}_c$ ) en función de la frecuencia natural del edificio ( $n_{1,x}$ ).**