

2014

NORMAS Y ESPECIFICACIONES  
PARA ESTUDIOS, PROYECTOS,  
CONSTRUCCIÓN E INSTALACIONES

**VOLUMEN 4**  
Seguridad Estructural

**TOMO III**  
Diseño por Viento

**VOLUMEN 4. SEGURIDAD ESTRUCTURAL.**

**TOMO III. DISEÑO DE ESTRUCTURAS POR VIENTO.**

**ÍNDICE**

<b>NOTACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1. CONSIDERACIONES GENERALES .....</b>	<b>4</b>
1.1 Alcance .....	4
<b>2. CRITERIOS DE ANÁLISIS .....</b>	<b>4</b>
2.1 Direcciones de análisis .....	4
2.2 Factores de carga y de reducción de resistencia .....	4
2.3 Seguridad contra el volteo .....	4
2.4 Seguridad contra el deslizamiento. ....	4
2.5 Presiones interiores .....	5
2.6 Seguridad durante la construcción .....	5
2.7 Efecto de grupo debido a construcciones vecinas .....	5
2.8 Análisis estructural .....	5
2.9 Interacción suelo-estructura.....	5
<b>3. CLASIFICACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES .....</b>	<b>5</b>
3.1 Según su importancia o destino.....	5
3.2 Según su respuesta ante la acción del viento .....	5
<b>4 EFECTOS DEL VIENTO QUE DEBEN CONSIDERARSE .....</b>	<b>6</b>
4.1 Empujes medios .....	6
4.2 Empujes dinámicos en la dirección del viento .....	6
4.3 Vibraciones transversales al flujo.....	6
4.4 Inestabilidad aerodinámica.....	6
<b>5. PROCEDIMIENTOS PARA DETERMINAR LAS ACCIONES POR VIENTO.....</b>	<b>7</b>
<b>6. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO .....</b>	<b>7</b>
6.1 Categorías de terrenos y clases de estructuras.....	8
6.2 Velocidad regional, $V_R$ .....	8
6.3 Factor de exposición, $F_e$ .....	12
6.3.1 Factor de tamaño, $F_C$ .....	12
6.3.2 Factor de rugosidad y altura $F_{rz}$ .....	12
6.4 Factor de topografía, $F_T$ .....	14
<b>7 PRESIÓN DINÁMICA DE BASE.....</b>	<b>14</b>

<b>8 ANÁLISIS ESTÁTICO .....</b>	<b>15</b>
8.1 Limitaciones .....	15
8.1.1 El método estático sólo puede utilizarse para diseñar estructuras o elementos estructurales poco sensibles a la acción turbulenta del viento. Esta condición se satisface cuando: .....	15
8.1.2 Para el caso de construcciones cerradas, techos aislados, toldos y cubiertas adyacentes, no es necesario calcular su periodo fundamental cuando se cumplan las siguientes condiciones .....	15
8.2 Presiones y fuerzas debidas a la acción del viento.....	16
8.2.1 <i>Empujes medios</i> .....	16
8.2.2 <i>Fuerzas sobre construcciones cerradas</i> .....	16
8.2.2.1 <i>Presiones exteriores</i> .....	19
8.2.2.2 <i>Presiones interiores</i> .....	23

## NOTACIÓN.

Cada símbolo empleado en estas especificaciones para el análisis por viento se define donde aparece por primera vez.

- $A$  Área tributaria, m<sup>2</sup>.
- $A_r$  Área expuesta del accesorio colocado en una torre, m<sup>2</sup>.
- $A_Z$  Área total proyectada del tramo de torre en que se encuentra un accesorio, m<sup>2</sup>.
- $a$  Altura de la zona de flujo laminar, m; también, flecha de una cubierta en arco (fig. 3.3), m.
- $B$  Factor por turbulencia de fondo.
- $b$  Ancho mínimo del área expuesta, m.
- $C_D$  Coeficiente de arrastre en chimeneas y torres.
- $C_{DE}$  Coeficiente de arrastre efectivo.
- $C_e$  Factor correctivo por exposición.
- $C_T$  Factor de empuje transversal.
- $C_z$  Factor correctivo por altura.
- $C_p$  Coeficiente local de presión.
- $D$  Dimensión de la estructura paralela a la acción del viento, m.
- $F$  Función relacionada con la distribución de la energía del viento.
- $F_L$  Fuerza estática equivalente, por unidad de longitud, que toma en cuenta el efecto de los vórtices, N/m (kg/m).
- $F_{TR}$  Factor correctivo por condiciones locales.
- $F_\alpha$  Factor de variación de la velocidad del viento con la altura.
- $G$  Factor de ráfaga.
- $g$  Factor de respuesta máxima.
- $H$  Altura de la estructura, m.
- $he$  Dimensión vertical de un letrero aislado, m.
- $n$  Parámetro para el cálculo de  $C_e$ .
- $n_o$  Frecuencia del modo fundamental, Hz.
- $p_z$  Presión de diseño, Pa (kg/m<sup>2</sup>).
- $R$  Factor de rugosidad.
- $r$  Relación altura a claro en techos arqueados.
- $S$  Factor de tamaño.
- $V$  Fuerza cortante en el entrepiso o segmento en estudio, N (kg).
- $V_{cr}$  Velocidad crítica del viento, m/s.
- $V_D$  Velocidad de diseño para una altura dada, m/s.
- $V_H$  Velocidad de diseño a la altura  $H$ , m/s.
- $V_R$  Velocidad regional para el sitio de interés, m/s.
- $W$  Suma de las cargas viva y muerta por encima de un entrepiso o segmento, N (kg).
- $x$  Relación separación a peralte en elementos de armaduras.
- $x_o$  Inverso de la longitud de onda, m<sup>-1</sup>.
- $z$  Altura de un punto desde el suelo, m.
- $\alpha$  Exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura.
- $\beta$  Fracción del amortiguamiento crítico; adimensional; también, ángulo de las cubiertas en arco para definir las zonas A, B y C (fig. 3.3), grados.
- $\delta$  Altura gradiente, m.
- $\theta$  Ángulo de inclinación en techos inclinados, grados.
- $\theta_1$  Ángulo de incidencia entre la dirección del viento y un plano vertical, grados.
- $\nu$  Tasa media de fluctuación, s<sup>-1</sup>.
- $\phi$  Relación de solidez. Relación entre el área efectiva sobre la que actúa el viento y el área inscrita por la periferia de la superficie expuesta.

$\phi$  Cociente del desplazamiento relativo entre dos niveles de piso o secciones horizontales, dividido entre la correspondiente diferencia de elevaciones.

## **1. CONSIDERACIONES GENERALES.**

En esté tomo se presentan los procedimientos necesarios mínimos para determinar las velocidades de diseño por viento en la República Mexicana y las fuerzas mínimas por viento que deben emplearse en el diseño de diferentes tipos de estructuras.

### **1.1 ALCANCE.**

En la determinación de las velocidades de diseño sólo se consideraron los efectos de los vientos que ocurren normalmente durante el año en todo el país y los causados por huracanes en las costas del Pacífico, del Golfo de México y del Caribe. No se tomó en cuenta la influencia de los vientos generados por tornados debido a que existe escasa información al respecto y por estimarlos como eventos de baja ocurrencia que sólo se presentan en pequeñas regiones del norte del país, particularmente y en orden de importancia, en los estados de Coahuila, Nuevo León, Chihuahua y Durango. Por esta razón, en aquellas localidades en donde se considere que el efecto de los tornados es significativo, deberán tomarse las provisiones necesarias.

Las disposiciones aquí presentadas se deben aplicar en la revisión de la seguridad del sistema de la estructura principal, ante el efecto de las fuerzas que generan las presiones (empujes o succiones) producidas por el viento sobre las superficies expuestas de la construcción. La revisión deberá considerar la acción estática del viento y la dinámica cuando la estructura sea sensible a estos efectos. Asimismo, estas normas se utilizan para el diseño local de los elementos expuestos de manera directa a la acción del viento, tanto los que forman parte del sistema estructural, tales como cuerdas y diagonales, como los que constituyen sólo un recubrimiento, tales como: elementos para cubiertas techumbre, elementos de fachada, cancelerías y vidrios.

## **2. CRITERIOS DE ANÁLISIS.**

Los requisitos generales que a continuación se listan son aplicables al diseño de estructuras sometidas a la acción del viento y deberán considerarse como los mínimos indispensables.

Los requisitos mínimos para el diseño por viento son:

### **2.1 DIRECCIONES DE ANÁLISIS.**

Las construcciones se analizarán suponiendo que el viento puede actuar por lo menos en dos direcciones horizontales perpendiculares e independientes entre sí. Se elegirán aquellas que representen las condiciones más desfavorables para la estabilidad de la estructura (o parte de la misma) en estudio.

### **2.2 FACTORES DE CARGA Y DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA.**

Para la determinación de estos factores se seguirán los lineamientos establecidos en estas normas correspondientes.

### **2.3 SEGURIDAD CONTRA EL VOLTEO.**

En este caso, la seguridad de las construcciones se analizará suponiendo nulas las cargas vivas que contribuyen a disminuir este efecto. Para las estructuras pertenecientes a los Grupos B y C, el cociente entre el momento estabilizador y el actuante de volteo no deberá ser menor que 1.5, y para las del Grupo A, no deberá ser menor que 2.0. La clasificación de las construcciones en grupos será de acuerdo a lo establecido en el capítulo 4.

### **2.4 SEGURIDAD CONTRA EL DESLIZAMIENTO.**

Al analizar esta posibilidad, deberán suponerse nulas todas las cargas vivas. La relación entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza que provoca el desplazamiento horizontal deberá ser por lo menos igual a 1.5 para las estructuras de los Grupos B y C, y para las del Grupo A, deberá ser por lo menos igual a 2.

## **2.5 PRESIONES INTERIORES.**

Se presentan en estructuras permeables, esto es, aquéllas con ventanas o ventilas que permitan la entrada del viento al interior de la construcción. El efecto de estas presiones se combinará con el de las presiones exteriores, de tal manera que para el diseño se deben tomar en cuenta los efectos más desfavorables.

## **2.6 SEGURIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN.**

En esta etapa deberán tomarse las medidas necesarias para garantizar la seguridad de las estructuras bajo la acción de un viento de diseño cuya velocidad corresponda a un periodo de retorno de diez años. Esta condición se aplicará también en el caso de estructuras provisionales que deban permanecer durante un periodo menor o igual a seis meses.

## **2.7 EFECTO DE GRUPO DEBIDO A CONSTRUCCIONES VECINAS.**

En todos los casos de este capítulo se supone que la respuesta de la estructura en estudio es independiente de la influencia, favorable o desfavorable, que otras construcciones cercanas pudieran proporcionarle durante la acción del viento.

## **2.8 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.**

A fin de llevarlo a cabo, se pueden aplicar los criterios generales de análisis que se señalan en estas normas,.

## **2.9 INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA.**

Cuando el suelo del sitio de desplante sea blando o compresible, deberán considerarse los efectos que en la respuesta ante la acción del viento pueda provocar la interacción entre el suelo y la construcción. Los suelos blandos para los cuales esta interacción es significativa, serán aquellos que tengan una velocidad media de propagación de ondas de cortante menor que 700 m/s. Asimismo, si se consideran esos efectos se seguirán los lineamientos previamente aceptados y recomendados por INIFED, en donde se establecen las herramientas para estimar el

periodo fundamental y el amortiguamiento equivalentes de la estructura. Estas características equivalentes se utilizarán para evaluar las cargas debidas al viento y la respuesta correspondiente.

## **3. CLASIFICACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES.**

### **3.1 SEGÚN SU IMPORTANCIA O DESTINO.**

La seguridad necesaria para que una construcción dada cumpla adecuadamente con las funciones para las que se haya destinado puede establecerse a partir de niveles de importancia o de seguridad. En la práctica, dichos niveles se asocian con velocidades del viento que tengan una probabilidad de ser excedidas y a partir de esta se evalúa la magnitud de las solicitudes de diseño debidas al viento. En esta cláusula, en atención a la importancia de las construcciones, estas se clasifican según se indica en el capítulo dos del tomo “Disposiciones Generales de Seguridad Estructural”.

### **3.2 SEGÚN SU RESPUESTA ANTE LA ACCION DEL VIENTO.**

De acuerdo con su sensibilidad ante los efectos de ráfagas del viento y a su correspondiente respuesta dinámica, las construcciones se clasifican en cuatro tipos. Con base en esta clasificación podrá seleccionarse el método para obtener las cargas de diseño por viento sobre las estructuras y la determinación de efectos dinámicos suplementarios si es el caso. En el capítulo 5 se indican dos procedimientos para definir las cargas de diseño (uno estático y otro dinámico), en el capítulo 8 de estas normas, solo se describe a detalle el primer procedimiento, que corresponde al Análisis Estático.

Tipo 1.- Estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento. Abarca todas aquéllas en las que la relación de aspecto  $\lambda$ , (definida como el cociente entre la altura y la menor dimensión en planta), es menor o igual a cinco y cuyo periodo natural de vibración es menor o igual a dos segundos. También incluye las construcciones cerradas

techadas con sistemas de cubierta suficientemente rígidos, es decir, capaces de resistir las cargas debidas al viento sin que varíe esencialmente su geometría. Se excluyen las cubiertas flexibles, como las de tipo colgante, a menos que por la adopción de una geometría adecuada, proporcionada por la aplicación de preesfuerzo u otra medida conveniente, logre limitarse la respuesta estructural dinámica.

Tipo 2.- Estructuras que por su alta relación de aspecto o las dimensiones reducidas de su sección transversal son especialmente sensibles a las ráfagas de corta duración (entre 1 y 5 segundos) y cuyos periodos naturales largos favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes en la dirección del viento. Dentro de este tipo se encuentran los edificios con relación de aspecto, mayor que cinco, o con periodo fundamental mayor que un segundo. Se incluyen también, tanques elevados, antenas, bardas, parapetos, anuncios y, en general, las construcciones que presentan una dimensión muy corta paralela a la dirección del viento. Se excluyen aquéllas que explícitamente se mencionan como pertenecientes a los Tipos 3 y 4.

Tipo 3.- Estas estructuras, además de reunir todas las características de las del Tipo 2, presentan oscilaciones importantes transversales al flujo del viento provocadas por la aparición periódica de vórtices o remolinos con ejes paralelos a la dirección del viento o de ejes paralelos a la mayor dimensión de la estructura. En este tipo se incluyen las construcciones y elementos aproximadamente cilíndricos o prismáticos esbeltos, tales como chimeneas, tuberías exteriores o elevadas, arbotantes para iluminación, postes de distribución y cables de líneas de transmisión.

Tipo 4.- Estructuras que por su forma o por lo largo de sus periodos de vibración (periodos naturales mayores que un segundo), presentan problemas aerodinámicos especiales. Entre ellas se hallan las formas aerodinámicamente inestables. También pertenecen a esta clasificación las cubiertas colgantes que no

puedan incluirse en el Tipo 1 y las estructuras flexibles con periodos de vibración próximos entre sí.

#### **4. EFECTOS DEL VIENTO QUE DEBEN CONSIDERARSE.**

A continuación se mencionan los efectos que según el tipo de construcción se deberán tomar en cuenta en el diseño de estructuras sometidas a la acción del viento.

##### **4.1 EMPUJES MEDIOS.**

Son los causados por presiones y succiones del flujo del viento prácticamente laminar, tanto exteriores como interiores, y cuyos efectos son globales (para el diseño de la estructura en conjunto) y locales (para el diseño de un elemento estructural o de recubrimiento en particular) Se considera que estos empujes actúan en forma estática ya que su variación en el tiempo es despreciable.

##### **4.2 EMPUJES DINÁMICOS EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO.**

Consisten en fuerzas dinámicas paralelas al flujo principal causadas por la turbulencia del viento y cuya fluctuación en el tiempo influye de manera importante en la respuesta estructural.

##### **4.3 VIBRACIONES TRANSVERSALES AL FLUJO.**

La presencia de cuerpos en particular cilíndricos o prismáticos, dentro del flujo del viento, genera entre otros efectos el desprendimiento de vórtices alternantes que a su vez provocan sobre los mismos cuerpos, fuerzas y vibraciones transversales a la dirección del flujo.

##### **4.4 INESTABILIDAD AERODINÁMICA.**

Se define como la amplificación dinámica de la respuesta estructural causada por los efectos combinados de la geometría de la construcción y los distintos ángulos de incidencia del viento.

En el diseño de las estructuras pertenecientes al tipo 1, bastará con tener en cuenta los empujes medios estáticos calculados de

acuerdo con lo establecido en el capítulo 8 y empleando las velocidades de diseño que se especifican en el capítulo 6.

Para diseñar las construcciones de tipo 2 deberán incluirse los efectos estáticos y los efectos dinámicos causados por la turbulencia del viento. Estos se tomarán en cuenta mediante la aplicación del factor de respuesta dinámica debida a ráfagas, el cual no se trata en las presentes normas.

Las estructuras del Tipo 3 deberán diseñarse de acuerdo con los criterios establecidos para las del Tipo 2, pero además deberá revisarse su capacidad para resistir los efectos dinámicos transversales generados por los vórtices alternantes.

Finalmente, para las del Tipo 4 los efectos del viento se evaluarán con un procedimiento de análisis que tome en cuenta las características de la turbulencia y sus efectos dinámicos, con estudios representativos analíticos o experimentales; pero en ningún caso, los efectos resultantes podrán ser menores que los especificados para las construcciones del Tipo 3.

En las construcciones de forma geométrica poco usual y de características que las hagan particularmente sensibles a los efectos del viento, el cálculo de dichos efectos se basará en los resultados de los ensayos de prototipos o de modelos en túnel de viento. Asimismo, podrán tomarse como base los resultados existentes de ensayos en modelos de estructuras con características semejantes. Los problemas de inestabilidad aeroelástica ameritan estudios especiales que deberán ser aprobados por INIFED.

Los procedimientos de los ensayos en túnel de viento y la interpretación de los resultados seguirán las técnicas actuales ya reconocidas.

Se revisará la estabilidad de la construcción ante efectos de viento durante el proceso de erección. Pueden necesitarse por este concepto apuntalamientos y contravientos provisionales, especialmente en construcciones de tipo prefabricado. Para este

caso se evaluarán los empujes con las velocidades referidas en el Capítulo 6, asociadas a un período de retorno de 10 años

## **5. PROCEDIMIENTOS PARA DETERMINAR LAS ACCIONES POR VIENTO.**

A fin de evaluar las fuerzas provocadas por la acción del viento, se proponen principalmente tres procedimientos.

El primero, referido como análisis estático (véase el capítulo 8), se empleará cuando se trate de estructuras o elementos estructurales suficientemente rígidos, que no sean sensibles a los efectos dinámicos del viento.

En caso contrario, deberá utilizarse un segundo procedimiento en base a un análisis dinámico, en el cual se afirma que una construcción o elemento estructural es sensible a los efectos dinámicos del viento cuando se presentan fuerzas importantes provenientes de la interacción dinámica entre el viento y la estructura. Este caso no se contempla en el alcance de estas normas.

Un tercer procedimiento para evaluar la acción del viento sobre las construcciones consiste en llevar a cabo pruebas experimentales de modelos en túnel de viento. Estas pruebas deben realizarse cuando se desee conocer la respuesta dinámica de estructuras cuya geometría sea marcadamente diferente de las formas comunes para las cuales existe información disponible en los reglamentos o en la literatura. También se aconsejan cuando es necesario calcular coeficientes de presión para diseñar recubrimientos de estructuras que tengan una forma poco común.

## **6. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO.**

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, en km/h, se obtendrá de acuerdo con la ecuación:

$$V_D = F_T F_a V_R \quad 6.1$$

donde:

$F_T$  Es un 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, adimensional,

$F_a$  El factor que toma en cuenta el efecto combinado de las características de exposición locales, del tamaño de la construcción y de la variación de la velocidad con la altura (ecuación 6.2), adimensional, y

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

La velocidad regional  $V_R$  y los factores  $F_a$  y  $F_T$  se definen y se determinan según los incisos 6.2, 6.3 y 6.4, respectivamente.

**6.1 CATEGORÍAS DE TERRENOS Y CLASES DE ESTRUCTURAS.**

Tanto en el procedimiento de análisis estático como en el dinámico intervienen factores que dependen de las condiciones topográficas y de exposición locales del sitio en donde se desplantará la construcción, así como del tamaño de ésta. Por lo tanto, a fin de evaluar correctamente dichos factores, es necesario establecer clasificaciones de carácter práctico. En la Tabla 6.1 se consignan cuatro categorías de terrenos atendiendo al grado de rugosidad que se presenta alrededor de la zona de desplante (ver Figura 6.1 para mejor entendimiento). La Tabla 6.2 divide a las estructuras y a los elementos que forman parte de ellas en tres clases, de acuerdo con su tamaño. En la sección 6.4 se evalúa el efecto de la topografía local del sitio.

**TABLA 6.2 Clase de estructura según su tamaño.**

CLASE	DESCRIPCIÓN
<b>A</b>	Todo elemento de recubrimiento de fachadas, de ventanerías y de techumbres y sus respectivos sujetadores. Todo elemento estructural aislado, expuesto directamente a la acción del viento. Asimismo, todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea menor

	que 20 metros.
<b>B</b>	Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, varíe entre 20 y 50 metros.
<b>C</b>	Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea mayor que 50 metros.

En la dirección del viento que se esté analizando, el terreno inmediato a la estructura deberá presentar la misma rugosidad (categoría), cuando menos en una distancia denominada longitud mínima de desarrollo, la cual se consigna en la Tabla 6.1 para cada categoría de terreno. Cuando no exista esta longitud mínima, el factor de exposición  $F_a$  definido en la sección 6.3, 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 a fin de corregir el factor de exposición.

**6.2 VELOCIDAD REGIONAL.**

La velocidad regional,  $V_R$ , es la máxima velocidad media probable de presentarse con un cierto periodo de recurrencia en una zona o región determinada del territorio.

En este inciso se incluyen tablas con diferentes periodos de retorno, dicha velocidad se refiere a condiciones homogéneas que corresponden a una altura de 10 metros sobre la superficie del suelo en terreno plano (Categoría 2 según la Tabla 6.1); es decir, no considera las características de rugosidad locales del terreno ni la topografía específica del sitio. Asimismo, dicha velocidad se asocia con ráfagas de 3 segundos y toma en cuenta la posibilidad de que se presenten vientos debidos a huracanes en las zonas costeras. Para consultar velocidades regionales de otros sitios, ver Mapa de Isótopas de la Figura 6.2 o bien en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE-1993 para otros periodos de retorno.

La velocidad regional,  $V_R$  se determina tomando en consideración tanto la localización geográfica del sitio de desplante de la estructura como su destino.

En las Tabla 6.3 se muestran las velocidades regionales de las ciudades más importantes de la República Mexicana correspondientes a periodos de recurrencia de 10, 50, 100, 200 y 2000 años, respectivamente.

La importancia de las estructuras (véase la sección 3.1) dictamina los periodos de recurrencia que deberán considerarse

para el diseño por viento; de esta manera, los Grupos A, B y C se asocian con los periodos de retorno de 200, 50 y 10 años, respectivamente. El sitio de desplante se localizará en la Tabla 6.3, para mayor exactitud en la figura 6.2 se puede localizar el sitio con la georeferencia del lugar.

**TABLA 6.1 Categoría del terreno según su rugosidad.**

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS	LIMITACIONES
1	Terreno abierto, prácticamente plano y sin obstrucciones	Franjas costeras planas, zonas de pantanos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor. Superficies nevadas planas.	La longitud mínima de desarrollo este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 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 tienen alturas de 1.5 a 10 m, en una longitud mínima de 1500 m.
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 presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la construcción, la que sea mayor.
4	Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas	Centros de grandes ciudades 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 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 10 veces la altura de la construcción.

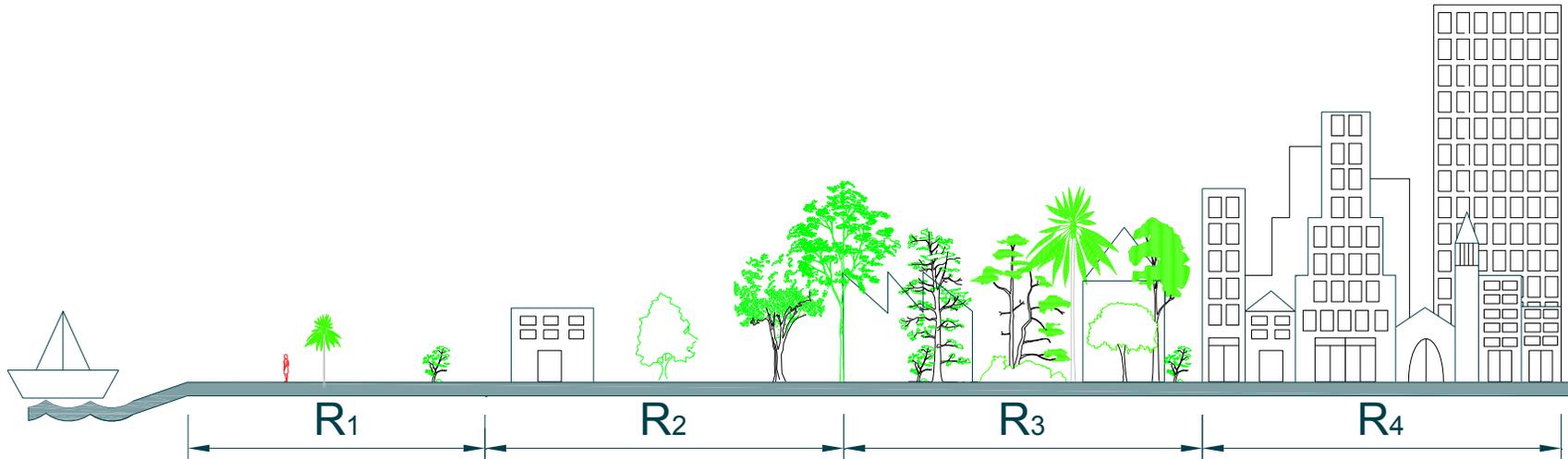


Figura 6.1 Categorías de rugosidad para la Tabla 6.1.

TABLA 6.3 Velocidades regionales de las ciudades más importantes, (km/h).

CIUDADES	PERIODOS DE RETORNO				
	V10	V50	V100	V200 (*)	V2000
Acapulco, Gro.	129	162	172	181	209
Aguascalientes, Ags	118	141	151	160	189
Campeche, Camp.	98	132	146	159	195
Cd. Guzmán, Jal.	101	120	126	132	155
Cd. Juárez, Chih.	116	144	152	158	171
Cd. Obregón, Son.	147	169	177	186	211
Cd. Victoria Tamps.	135	170	184	197	235
Coatzacoalcos, Ver.	117	130	137	145	180
Colima, Col.	105	128	138	147	174
Colotlán, Jal.	131	148	155	161	178
Comitán, Chis.	72	99	112	124	160
Cozumel, Q. Roo.	124	158	173	185	213
Cuernavaca, Mor.	93	108	114	120	139
Culiacán, Sin.	94	118	128	140	165
Chapingo, Edo, Méx.	91	110	118	126	150
Chetumal, Q.Roo.	119	150	161	180	220
Chihuahua, Chih.	122	136	142	147	165

Chilpancingo, Gro.	109	120	127	131	144
Durango, Dgo.	106	117	122	126	140
Ensenada B.C.	100	148	170	190	247
Guadalajara, Jal.	146	164	170	176	192
Guanajuato, Gto.	127	140	144	148	158
Guaymas, Son.	130	160	174	190	237
Hermosillo, Son.	122	151	164	179	228
Jalapa, Ver.	118	137	145	152	180
La Paz, B.C.S.	135	171	182	200	227
Lagos de Moreno, Jal.	118	130	135	141	157
León, Gto.	127	140	144	148	157
Manzanillo, Col.	110	158	177	195	240
Mazatlán, Sin.	145	213	225	240	277
Mérida, Yuc.	122	156	174	186	214
Mexicali, B.C.	100	149	170	190	240
México, D.F.	98	115	120	129	150
Monclova, Coah.	123	145	151	159	184
Monterrey, N.L.	123	143	151	158	182
Morelia, Mich.	79	92	97	102	114

**TABLA 6.3 Continuación.**

CIUDADES	PERIODOS DE RETORNO				
	V10	V50	V100	V200 (*)	V2000
Nvas. Casas Gdes, Chih.	117	134	141	148	169
Oaxaca, Oax.	104	114	120	122	140
Orizaba, Ver.	126	153	163	172	198
Pachuca, Hgo.	117	128	133	137	148
Parral de Hgo. Hgo.	121	141	149	157	181
Piedras Negras Coah.	137	155	161	168	188
Progreso, Yuc.	103	163	181	198	240
Puebla, Pue.	93	106	112	117	132
Puerto Cortés, B.C.	129	155	164	172	196
Puerto Vallarta, Jal.	108	146	159	171	203
Querétaro, Qro.	103	118	124	131	147
Río Verde, S.L.P.	84	111	122	130	156
Salina Cruz, Oax.	109	126	135	146	182
Saltillo, Coah.	111	124	133	142	165
S.C. de las casas Chis.	75	92	100	105	126
San Luis Potosí, S.L.P.	126	141	147	153	169
Soto la Marina, Tamps.	130	167	185	204	252
Tampico, Tamps.	129	160	177	193	238
Tamuín, S.L.P.	121	138	145	155	172
Tapachula, Chis.	90	11	121	132	167
Tepic, Nay.	84	102	108	115	134
Tlaxcala, Tlax.	87	102	108	113	131
Toluca, Edo. Méx.	81	93	97	102	115
Torreón, Coah.	136	168	180	183	229
Tulancingo, Hgo.	92	106	110	116	130
Tuxpan, Ver.	122	151	161	172	204
Tuxtla Gtz, Chis.	90	106	110	120	141
Valladolid, Yuc	100	163	180	198	240
Veracruz, Ver.	150	175	185	194	222
Villahermosa, Tab	114	127	132	138	151
Zacatecas, Zac.	110	122	127	131	143
Monterrey, N.L.	123	143	151	158	182

(\*)Para las construcciones clasificadas dentro del Grupo A, se utilizarán los valores correspondientes al periodo medio de retorno de 200 años.

### 6.3 FACTOR DE EXPOSICIÓN.

El coeficiente  $F$  refleja la variación de la velocidad del viento con respecto a la altura  $Z$ . Asimismo, considera el tamaño de la construcción o de los elementos de recubrimiento y las características de exposición.

El factor de exposición se calcula con la siguiente expresión:

$$F_{\alpha} = F_C \cdot F_{rz} \quad 6.2$$

donde:

$F_C$  Es el factor que determina la influencia del tamaño de la construcción, adimensional, y

$F_{rz}$  El factor que establece la variación de la velocidad del viento con la altura  $Z$  en función de la rugosidad del terreno de los alrededores (ecuación 6.3), adimensional.

Los coeficientes  $F_C$  y  $F_{rz}$  se definen en las cláusulas 6.3.1 y 6.3.2, respectivamente.

Como se mencionó en la sección 6.1, cuando la longitud mínima de desarrollo de un terreno con una cierta rugosidad no satisface lo establecido en la Tabla 6.1, deberá seleccionarse la categoría que genere las condiciones más desfavorables para una dirección del viento dada. Alternativamente, la variación de la rugosidad alrededor de la construcción en un sitio dado podrá tomarse en cuenta corrigiendo el factor de exposición,  $F_e$ , utilizando para ello el procedimiento que se describe en el inciso 6.3.

#### 6.3.1 Factor de tamaño.

El Factor de Tamaño,  $F_C$  es el que toma en cuenta el tiempo en el que la ráfaga del viento actúa de manera efectiva sobre una construcción de dimensiones dadas. Considerando la clasificación de las estructuras según su tamaño (véase la Tabla

6.2), este factor puede determinarse de acuerdo con la Tabla 6.4.

**TABLA 6.4 Factor de tamaño,  $F_c$ .**

CLASE DE ESTRUCTURA	$F_c$
<b>A</b>	1.00
<b>B</b>	0.95
<b>C</b>	0.90

**6.3.2 Factor de rugosidad y altura.**

El factor de rugosidad y altura,  $F_{rz}$ , establece la variación de la velocidad del viento con la altura  $Z$ . Dicha variación está en función de la categoría del terreno y del tamaño de la construcción.

Se obtiene de acuerdo con las expresiones siguientes:

$$F_{rz} = 1.56 \left( \frac{10}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{si } Z \leq 10$$

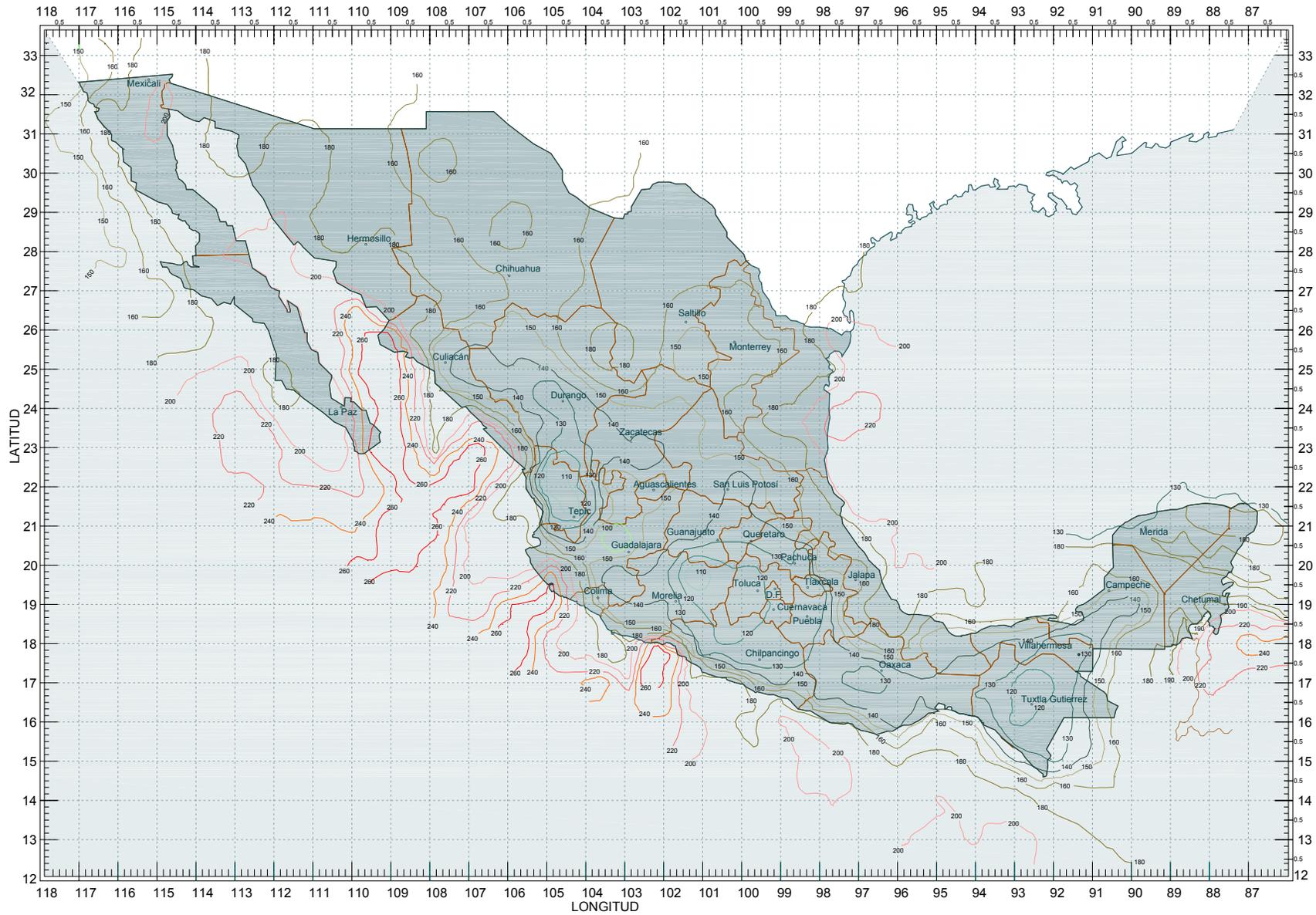
$$F_{rz} = 1.56 \left( \frac{Z}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{si } 10 < Z < \delta \quad 6.3$$

$$F_{rz} = 1.56 \quad \text{si } Z \geq \delta$$

donde:

$\delta$  Es 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 se puede suponer constante; a esta altura se le conoce como altura gradiente;  $\delta$  y  $Z$  están dadas en metros, y

$\alpha$  Exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura y es adimensional.



**Figura 6.2** Velocidades regionales de la República Mexicana para un período de retorno de 200 años.

Los coeficientes  $\alpha$  y  $\delta$  están en función de la rugosidad del terreno y del tamaño de la construcción. En la Tabla 6.5 se consignan los valores que se aconsejan para estos coeficientes.

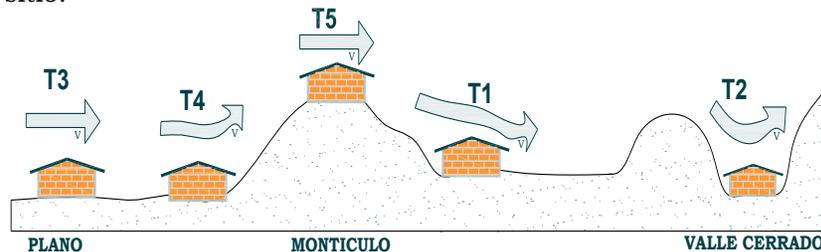
**TABLA 6.5 Valores de  $\alpha$  y  $\delta$ .**

CATEGORÍA DEL TERRENO	$\alpha$			$\delta$ (m)
	CLASE DE ESTRUCTURA			
	A	B	C	
1	0.099	0.101	0.105	245
2	0.128	0.131	0.138	315
3	0.156	0.160	0.171	390
4	0.170	0.177	0.193	455

**6.4 FACTOR DE TOPOGRAFÍA.**

El factor de topografía,  $F_T$ , 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.

En la Tabla 6.6 y Figura 6.3 se muestran los valores que se recomiendan con base en la experiencia para el factor de topografía, de acuerdo con las características topográficas del sitio.



**Figura 6.3 Formas topográficas locales.**

**TABLA 6.6 Factor de topografía local ( $F_T$ ).**

SITIOS	TIPO	TOPOGRAFÍA	$F_T$
Protegidos	T1	Base de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento	0.8
	T2	Valles cerrados	0.9
Normales	T3	Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores que 5%	1.0
Expuestos	T4	Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10%, valles abiertos y litorales planos.	1.1
	T5	Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores que 10%, cañadas cerradas y valles que formen un embudo o cañón, islas.	1.2

**7. PRESIÓN DINÁMICA DE BASE.**

Cuando el viento actúa sobre un obstáculo, genera presiones sobre su superficie 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 comúnmente presión dinámica de base y se determina con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.0048GV_D^2 \tag{7.1}$$

donde:

$G$  Es el factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar (ecuación 7.2), adimensional,

$V_D$  La velocidad de diseño, en km/h, definida en el capítulo 6, y

$q_z$  La presión dinámica de base a una altura  $Z$  sobre el nivel del terreno, en  $\text{kg}/\text{m}^2$ .

El factor de 0.0048 corresponde a un medio de la densidad del aire y el valor de  $G$  se obtiene de la expresión:

$$G = \frac{0.392\Omega}{273 + \tau} \quad 7.2$$

donde:

$\Omega$  Es la presión barométrica, en mm de Hg, y

$\tau$  La temperatura ambiental promedio en °C.

En la Tabla 7.1 se presenta la relación entre los valores de la altitud,  $h_m$ , en metros sobre el nivel del mar, *msnm*, y la presión barométrica,  $\Omega$ .

**TABLA 7.1 Relación entre la altitud y la presión barométrica.**

ALTITUD (msnm) $h_m$	PRESIÓN BAROMÉTRICA (mm de Hg) $\Omega$
0	760
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

Nota: Para valores intermedios de  $h_m$ , interpolar linealmente.

La presión actuante sobre una construcción determinada,  $p_z$  en  $\text{kg}/\text{m}^2$ , se obtiene tomando en cuenta principalmente su forma y está dada, de manera general, por la ecuación:

$$p_z = C_p q_z \quad 7.3$$

donde el coeficiente,  $C_p$ , se denomina coeficiente de presión y es adimensional. Los valores de los coeficientes de presión para diversas formas estructurales y el cálculo de las presiones globales y locales importantes, se especifican a partir de la sección 8.2.

## 8. ANÁLISIS ESTÁTICO.

Los empujes medios que se evalúan con este procedimiento son aplicables al diseño de las estructuras pertenecientes al Tipo 1.

### 8.1 LIMITACIONES.

**8.1.1 El método estático sólo puede utilizarse para diseñar estructuras o elementos estructurales poco sensibles a la acción turbulenta del viento. Esta condición se satisface cuando:**

- La relación  $H/d \leq 5$ , en donde  $H$  es la altura de la construcción y  $d$  es la dimensión mínima de la base, y
- El periodo fundamental de la estructura es menor o igual que dos segundos.

**8.1.2 Para el caso de construcciones cerradas, techos aislados, toldos y cubiertas adyacentes, no es necesario calcular su periodo fundamental cuando se cumplan las siguientes condiciones:**

- La altura total de la construcción,  $H$ , es menor o igual que 15 metros.
- La planta de la estructura es rectangular o formada por una combinación de rectángulos.
- La relación  $H/d$  es menor que cuatro para construcciones cerradas y menor que uno para techos

aislados, para toldos y cubiertas adyacentes en voladizo, el claro no debe ser mayor que 5 m.

- d) Para construcciones cerradas y techos aislados, la pendiente de sus techos inclinados o a dos aguas, no debe exceder los 20° y en techos de claros múltiples deberá ser menor que 60°; para toldos y cubiertas adyacentes, la pendiente no será mayor que 5°.

## 8.2 PRESIONES Y FUERZAS DEBIDAS A LA ACCIÓN DEL VIENTO.

### 8.2.1 Empujes medios.

Los empujes medios (estáticos) evaluados de acuerdo con lo especificado en estos incisos se aplican en el diseño de estructuras pertenecientes al Tipo 1 (capítulo 4). Asimismo, aquí se presentan las recomendaciones para calcular las presiones de diseño de cancelarias, elementos de fachada y recubrimientos de las construcciones Tipos 1, 2 y 3. Los empujes dinámicos correspondientes a las estructuras Tipos 2 y 3 no se contemplan en el alcance de estas normas.

### 8.2.2 Fuerzas sobre construcciones cerradas.

Para los fines de este inciso, una estructura cerrada es la que se compone de muros y techos a una o dos aguas, dispuestos de tal manera que forman una construcción prismática; dichos techos y muros no son necesariamente impermeables, pueden tener aberturas, tales como ventanas o puertas, por donde el flujo del viento puede penetrar y generar presiones interiores. Asimismo, una estructura de planta regular 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 tres muros o menos, éstos se diseñarán como elementos aislados.

Las fuerzas que se ejercen sobre los elementos de estructuras cerradas, muros y techos, serán las resultantes de las presiones actuantes sobre sus superficies exteriores e interiores y deberán calcularse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F_e = p_z A_z \quad 8.1$$

donde:

$p_z = (p_e - p_i)$ , para construcciones cerradas ó:

$p_z = p_n$ , para el caso en que se aplique la presión neta.

En donde:

$F_e$  Es la fuerza del viento que actúa perpendicularmente a la superficie de un elemento de la construcción en kg,

$p_z$  Es la presión de diseño a la altura  $Z$ , en kg/m<sup>2</sup>,

$p_e$  Es la presión exterior, en kg/m<sup>2</sup> (ver inciso 8.2.2.1),

$p_i$  Es la presión interior, en kg/m<sup>2</sup> (inciso 8.2.2.2),

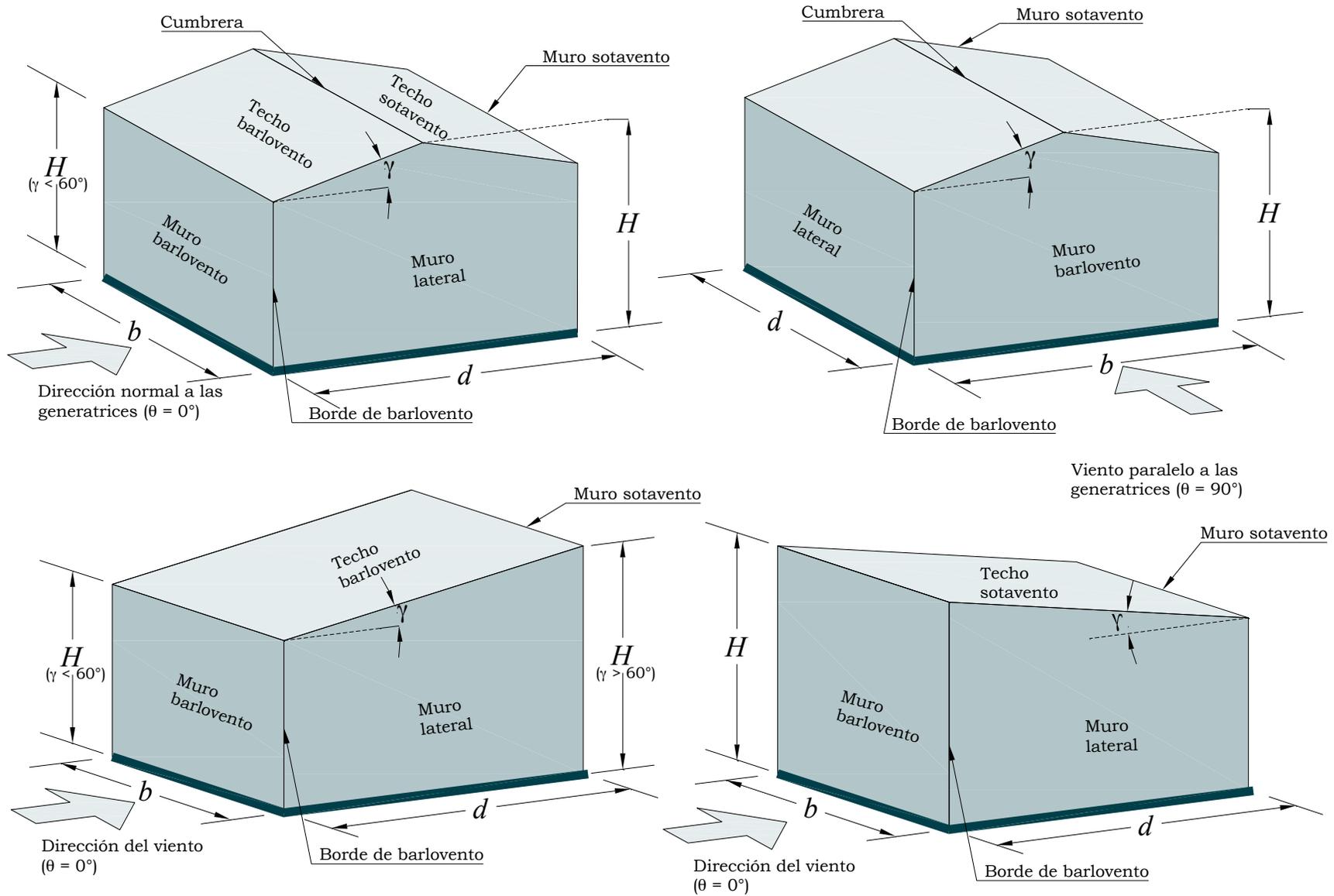
$p_n$  Es la presión neta, en kg/m<sup>2</sup>,

$A_z$  El área de la estructura, o parte de ella, en m<sup>2</sup>, a la altura  $Z$ , sobre la que actúa la presión de diseño,  $p_z$ .

Ella corresponderá:

- A una parte de alguna de las superficies de la construcción en la que la presión de diseño corresponde a una velocidad y dirección del viento dada, y que se verá afectada por el coeficiente de presión,  $C_p$ , el cual a su vez depende de la forma de la estructura.
- A la superficie de la construcción o de un elemento estructural, proyectada sobre un plano normal al flujo del viento; la presión de diseño se verá afectada por el coeficiente de arrastre,  $C_a$ , según la forma de la construcción o del elemento estructural.
- A las superficies que se indiquen en los incisos correspondientes, cuando se empleen coeficientes de fuerza,  $C_f$ , o coeficientes de presión neta,  $C_{pn}$ , para evaluar la fuerza total de diseño.

Las fuerzas y los momentos de volteo totales que actúan sobre una construcción deberán obtenerse sumando los efectos de las presiones exteriores e interiores, o de las presiones netas, que se presenten sobre sus superficies.



**Figura 8.1** Definición de parámetros de construcciones con planta cerrada.

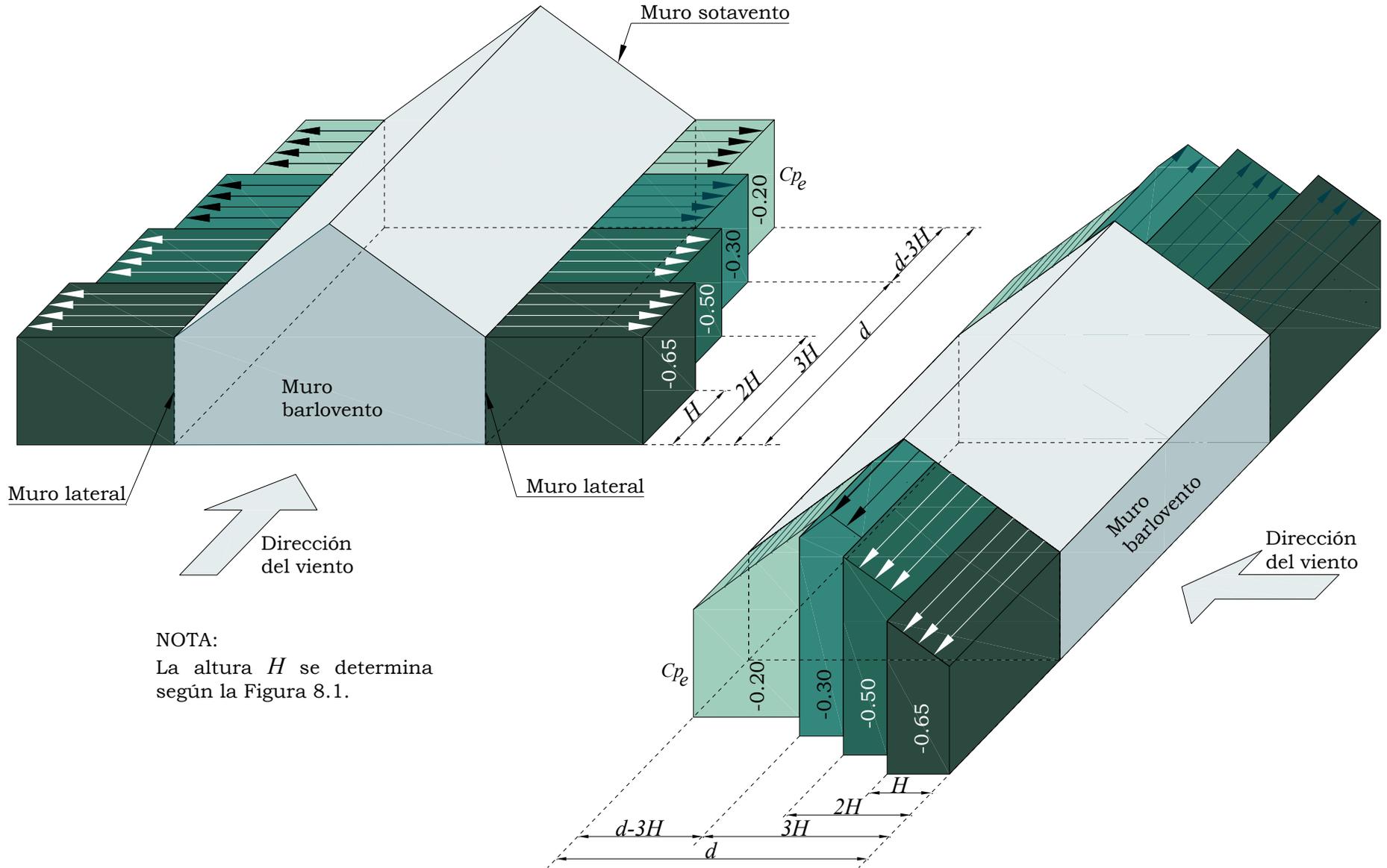


Figura 8.2 Definición de zonas en muros laterales para aplicar los coeficientes de presión exterior.

### 8.2.2.1 Presiones exteriores.

La presión exterior  $p_e$ , sobre una de las superficies de una construcción cerrada se calculará utilizando la siguiente ecuación:

$$p_e = C_{pe} K_A K_L q_Z \quad 8.2$$

donde:

$p_e$  Es la presión exterior en  $\text{kg}/\text{m}^2$ ,

$C_{pe}$  Es el coeficiente de presión exterior, adimensional,

$K_A$  Es el factor de reducción de presión por tamaño de área, adimensional,

$K_L$  Es el factor de presión local, adimensional, y

$q_Z$  Es la presión dinámica de base del viento, en  $\text{kg}/\text{m}^2$ , calculada según el capítulo 7.

En las Tablas 8.1, 8.2 y 8.3 se proporcionan los valores del coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , para muros y techos de construcciones con planta regular cerrada. Los parámetros referidos en esas tablas se ilustran en la Figura 8.1, en la que es importante observar que la denominación de los muros depende de la dirección en la que actúa el viento, y que en algunos casos, la altura  $H$  es función del ángulo  $\gamma$ .

Cuando el valor de  $C_{pe}$  sea positivo, se tratará de un empuje sobre el área en cuestión; cuando sea negativo, se tratará de una succión. Esto significa que las presiones positivas actúan hacia la superficie y las negativas se alejan de ésta.

- a) Factor de reducción de presión por tamaño de área.

Los valores del factor  $K_A$ , se indican en la Tabla 8.4, en ella puede observarse que este factor depende del área tributaria de diseño. Para los casos no contemplados, así como para tanques cilíndricos, el valor  $K_A$  será igual a la unidad.

**TABLA 8.1 Coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , Para muros en barlovento y sotavento de construcciones con planta rectangular cerrada.**

SUPERFICIE	DIRECCIÓN DEL VIENTO $\theta$	d/b	INCLINACIÓN DEL TECHO $\gamma$	$C_{pe}$	
Barlovento	Normal o paralela a las generatrices	Cualquiera	Cualquiera	0.8	
Sotavento	Normal a las generatrices ( $\theta = 0^\circ$ )	$\leq 1$	$< 10^\circ$	-0.5	
		$= 2$		-0.3	
		$\geq 4$		-0.2	
	Paralela a las generatrices ( $\theta = 90^\circ$ )	Cualquiera	Cualquiera	$10^\circ \leq \gamma \leq 15^\circ$	-0.3
				$= 20^\circ$	-0.4
				$= 25^\circ$	-0.5
Paralela a las generatrices ( $\theta = 90^\circ$ )	Cualquiera	Cualquiera	$\leq 1$	-0.5	
			$= 2$	-0.3	
			$\geq 4$	-0.2	

NOTAS: 1 Interpolar para obtener valores intermedios de  $d/b$  y  $\gamma$ . Esta Tabla se aplica con la ayuda de la Figura 8.1.

**TABLA 8.2 Coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , Para zonas de muros laterales 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 $C_{pe}$
de 0 a 1 H	-0.65
de 1H a 2H	-0.50
de 1H a 2H	-0.30
> 3H	-0.20

NOTAS:

1. Esta Tabla se aplica con la ayuda de la Figura 8.2.

2. La distancia horizontal se determina en función de la altura de la construcción  $H$ , la cual a su vez se calcula según la Figura 8.1

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 esos techos y muros.
3. Elementos que sostienen los recubrimientos (tales como los largueros), y
4. Dispositivos de sujeción de dichos recubrimientos.

En el diseño de los muros de barlovento y sotavento, este factor no aplica.

b) Factor de presión local.

El factor de presión local,  $K_L$ , se obtendrá de la Tabla 8.5 y afectará sólo a las presiones exteriores, las cuales a su vez se combinarán con las interiores. Sin embargo, se tomará como 1.0 si la combinación de presiones exteriores e interiores resulta así más desfavorable.

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

1. recubrimientos de muros y techos,
2. elementos que soportan los recubrimientos (tales como los largueros), y
3. dispositivos de sujeción de los recubrimientos.

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

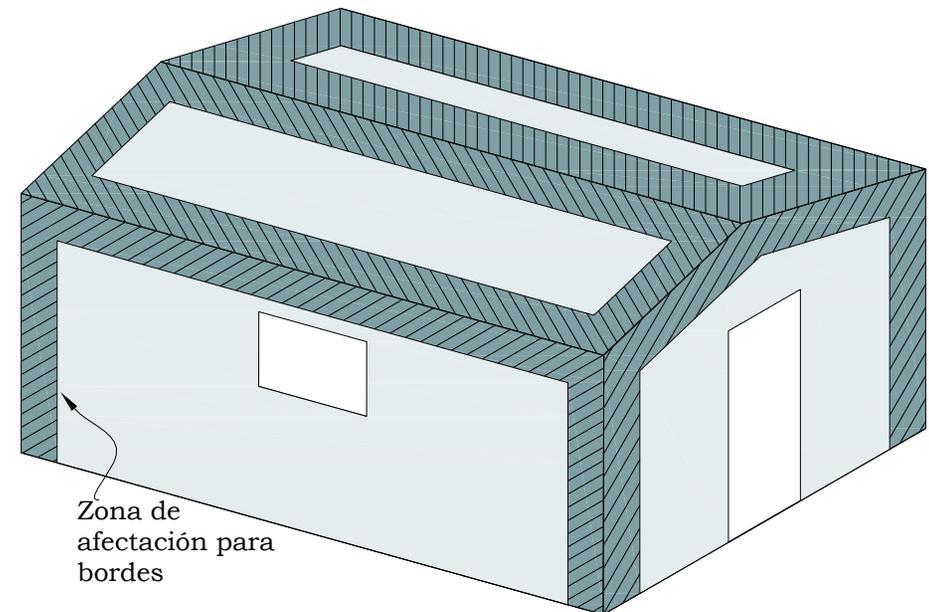
Cuando el área de un elemento de recubrimiento, o de un miembro de soporte de éste, exceda las áreas de afectación dadas en la Tabla 8.5, el factor de presión local,  $K_L$ , será igual a 1.0 para el área restante de dicho elemento.

**TABLA 8.4 Factor de reducción,  $K_A$  Para techos y muros laterales.**

Área tributaria en $m^2$ , $A$	Factor de reducción, $K_A$
$\leq 10$	1.0
25	0.9
$\geq 100$	0.8

<sup>(a)</sup> Puede interpolarse para valores intermedios del área tributaria,  $A$ .

Las Figuras 8.1 y 8.3 complementan la Tabla 8.5, donde se aclaran las variables y las zonas donde se aplica el factor de presión local.



**Figura 8.3 Zonas de recubrimientos y soportes.**

**TABLA 8.3 Coeficiente de presión exterior,  $C_{pe}$ , Para zonas de techos de construcciones de planta rectangular cerrada.**

Dirección del viento, $\theta$	Angulo $\gamma$	H/d	Distancia horizontal sobre el techo, medida a partir de la arista sup. del muro de barlovento	$C_{pe}$	
				Barlovento	Sotavento
$\theta = 0^\circ$ Normal a las generatrices	10°	$\leq 0.25$	Toda el área del techo	-0.7	-0.3
	15°			-0.5, 0.0	-0.5
	20°			-0.3, 0.2	-0.6
	25°			-0.2, 0.3	-0.6
	30°			-0.2, 0.3	-0.6
	40°			0.0, 0.4	-0.6
	45°			0.5	-0.6
	$\geq 60^\circ$			$0.01\gamma$	-0.6
	10°	0.50	Toda el área del techo	-0.9	-0.5
	15°			-0.7	-0.5
	20°			-0.4, 0.0	-0.6
	25°			-0.3, 0.2	-0.6
	30°			-0.2, 0.2	-0.6
	40°			-0.2, 0.3	-0.6
	45°			0.0, 0.4	-0.6
	$\geq 60^\circ$			$0.01\gamma$	-0.6
	10°	$\geq 1.0$	Toda el área del techo	-1.3	-0.7
	15°			-1.0	-0.6
	20°			-0.7	-0.6
	25°			-0.5, 0.0	-0.6
	30°			-0.3, 0.2	-0.6
	40°			-0.2, 0.2	-0.6
	45°			0.0, 0.3	-0.6
	$\geq 60^\circ$			$0.01\gamma$	-0.6
Normal a las generatrices $\theta = 0^\circ$ y $\gamma < 10^\circ$ o paralela a las generatrices $\theta = 90^\circ$ y $\gamma$ todos		$\leq 0.50$	DE 0 A 1H	-0.9	
			de 1H a 2H	-0.5	
			de 1H a 2H	-0.3	
			> 3H	-0.2	
		$\geq 1.0$	de 0 a H/2	-1.3	
			> H/2	-0.7	

1. Esta Tabla se utiliza conjuntamente con las Figuras 8.1 y 8.2.

2. Cuando se muestren dos valores, el techo deberá diseñarse para el más desfavorable. Deben considerarse las diferentes combinaciones de presiones exteriores e interiores a fin de utilizar la condición mas adversa.

3. Si se requieren valores de coeficiente de presión correspondientes a valores intermedios de  $\gamma$  y de la relación  $H/d$ , puede realizarse una interpolación lineal, la cual se llevará a cabo entre valores del mismo signo.

**TABLA 8.5 Factor de presión local,  $K_L$  Para recubrimientos y soportes.**

Presión externa	Casos	Parte de la estructura	Altura de la estructura	Zona de afectación	Área de afectación	$K_L$
Empuje (+)	1	Muro de barlovento.	Cualquiera	Cualquiera sobre el muro de barlovento.	$\leq 0.25 a^2$	1.25
Succión (-)	2	(a) Techo.	Cualquiera	El ancho de la zona será de $1.0a$ , a todo lo largo del techo incluyendo la cumbrera si es un techo a dos aguas.	$\leq a^2$	1.50
		(a) Muros laterales.	$H < 25 \text{ m}$	El ancho de la zona será de $1.0a$ , a todo lo largo de los bordes verticales del muro de barlovento	$\leq a^2$	1.50
		(b) Muros laterales.	$H \geq 25 \text{ m}$	La zona afectada se localiza a una distancia mayor que $1.0a$ , a partir del borde del muro de barlovento	$\leq 0.25 a^2$	1.50
	3	(a) Techo	Cualquiera	El ancho de la zona será de $0.5a$ , a todo lo largo del borde del techo, incluyendo la cumbrera si es un techo a dos aguas.	$\leq 0.25 a^2$	2.00
		(a) Muros laterales	$H < 25 \text{ m}$	El ancho de la zona será de $0.5a$ , a todo lo largo de los bordes verticales del muro de barlovento.	$\leq 0.25 a^2$	2.00
		(b) Muros laterales	$H \geq 25 \text{ m}$	El ancho de la zona será de $1.0a$ , a todo lo largo de los bordes verticales del muro de barlovento.	$\leq a^2$	2.00
	4	Muros laterales	$H \geq 25 \text{ m}$	El ancho de la zona será de $0.5a$ , a todo lo largo de los bordes verticales del muro de barlovento.	$\leq 0.25 a^2$	3.00

1. Los casos 2, 3 y 4 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 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 estas normas, por lo que deberá recurrirse a las recomendaciones de especialistas.

3. Cuando se presenten presiones positivas (empujes) en zonas de techos, el valor de  $K_L$  será igual a 1.0.

4. El área de afectación debe compararse con la tributaria para definir en que área se aplican los valores de  $K_L$  que aquí se indican.

5. Cuando  $\gamma$  sea menor que  $10^\circ$ , la zona de afectación del techo se definirá como si este fuese horizontal, por lo que el factor de presión local no se aplicará en la zona de cumbrera.

Al aplicar el factor de presión local, el límite negativo del producto  $K_L C_{pe}$  será de -2.0.

### 8.2.2.2 Presiones interiores.

La presión Interior,  $p_i$ , se calculará utilizando la siguiente expresión:

$$p_i = C_{pi} q_z \quad 8.3$$

donde:

- $p_i$  Es la presión interior, en kg/m<sup>2</sup>,
- $C_{pi}$  El coeficiente de presión interior, adimensional, y
- $q_z$  La presión dinámica de base, en kg/m<sup>2</sup> (capítulo 7).

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 el inciso 8.2.2.1, debiéndose seleccionar la combinación de ellas que resulte más desfavorable.

Los distintos valores del coeficiente de presión interior,  $C_{pi}$ , se dan en las Tablas 8.6 y 8.7 la primera de ellas se aplica para el caso en que las superficies permiten pequeñas filtraciones al interior de la construcción -son permeables-, mientras que la segunda es aplicable cuando existen aberturas de tamaño considerable sobre las distintas superficies que conforman la estructura. En estas tablas se emplean conceptos esenciales que se definen junto con ellas.

**TABLA 8.6 Coeficiente de presión interior,  $C_{pi}$ , Para construcciones de planta rectangular cerrada y muros permeables.**

ESTADO DE PERMEABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	$C_{pi}$
Un muro permeable, los otros muros impermeables: Viento normal al muro permeable Viento normal a un muro impermeable	0.6 -0.3
Dos o tres muros igualmente permeables, el (los) otro(s) impermeable(s): Viento normal a un muro permeable Viento normal a un muro impermeable	0.2 -0.3
Todos los muros igualmente permeables.	-3.0 o 0.0, según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable
Construcciones selladas eficientemente y que tengan ventanas que no puedan abrirse.	-2.0 o 0.0, según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable

#### c) 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 capítulo, la permeabilidad de una superficie se define como el cociente entre el área de las hendiduras y huecos resultado de las tolerancias normales de

la construcción, y el área total de esa superficie; dado que en la práctica es difícil evaluarla, en la Tabla 8.6 se incluyen diferentes casos que, en forma cualitativa, toman en cuenta la permeabilidad de las superficies expuestas.

**TABLA 8.7 Coeficiente de presión interior,  $C_{pi}$ , Para construcciones con planta rectangular cerrada y superficies con aberturas.**

ABERTURAS EN LA CONSTRUCCIÓN			$C_{pi}$
Aberturas dominantes	En muro de barlovento: La relación entre el área abierta de este muro y el área abierta total de los techos y los otros muros (incluyendo permeabilidad) sometidos a succión exterior. Es igual a:	<0.5 1.0 1.5 2.0 3.0 6.0 >	-3.0 o 0.0 ± 0.1 0.3 0.5 0.6 0.8
	En muro de sotavento		-0.5
	En muro lateral.		Valor de $C_{pe}$ para muros laterales. (Tabla 8.2)
	En el techo.		Valor de $C_{pe}$ para techos (Tabla 8.3)
	Igual área de aberturas en dos o más muros.		-3.00.0, según lo que produzca la combinación de carga mas desfavorable.

NOTA: 1.- Dado que en la Tablas 8.2 y 8.3, el  $C_{pe}$  varía según la zona de la superficie, para calcular el  $C_{pi}$  deberá considerarse un valor promedio de acuerdo con los casos de esta tabla, en función del tamaño y ubicación de las aberturas. Otra forma de seleccionar el coeficiente en esas tablas es localizar en la superficie en cuestión el centroide de las aberturas y tomar el valor correspondiente a esa posición.

d) 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.

e) Aberturas dominantes.

Se presentan sobre una superficie donde la suma de sus áreas excede la suma de las áreas de las aberturas de cualquiera de las otras superficies; una abertura dominante no necesariamente es grande.

f)Ciclones.

En regiones propensas a ciclones, las ventanas deberán considerarse como aberturas, a menos que sean capaces de resistir el impacto de una pieza de madera de 4 kg y 10 cm x 5 cm de sección transversal, que las golpee a una velocidad de 15 m/s. Este requisito puede ser diferente en el caso de estructuras especiales, en cuyo caso deberá justificarse el empleo de otros valores.