

NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA PARA DISEÑO POR VIENTO

ÍNDICE

NOTACIÓN	3
TERMINOLOGÍA	7
ESTÁNDARES	11
1. CONSIDERACIONES GENERALES	12
1.1 Alcance	12
1.2 Limitaciones	12
1.3 Unidades	12
2. CRITERIOS DE DISEÑO	13
2.1 Aspectos generales	13
2.2 Clasificación de las estructuras	13
2.3 Estudios en túnel de viento	14
3. VELOCIDADES DE VIENTO PARA DISEÑO	17
3.1 Velocidad de diseño del viento para presiones estáticas, V_D	17
3.2 Velocidad de diseño del viento para presiones dinámicas, $V'D$	22
4. DISEÑO DE ELEMENTOS DE RECUBRIMIENTO	24
4.1 Coeficientes de presión para elementos de recubrimiento	24
4.2 Coeficiente de presión interior para diseño de elementos de recubrimiento	28
4.3 Espesor y deflexión de vidrio recocido en fachadas	28
5. EMPUJES ESTÁTICOS PARA DISEÑO POR VIENTO	32
5.1 Determinación de la presión estática para diseño por viento	32
5.2 Coeficientes de presión	32
5.3 Coeficientes de presión interna	61
6. EMPUJES DINÁMICOS INDUCIDOS POR EL VIENTO	62
6.1 Fuerza estática equivalente en la dirección del viento para estructuras	62
6.2 Factor de respuesta de ráfaga	62
6.3 Relación de amortiguamiento total	69
7. EFECTO DE VÓRTICES PERIÓDICOS SOBRE ESTRUCTURAS CILÍNDRICAS	70
7.1 Vibraciones generadas en estructuras cilíndricas	70
7.2 Vibraciones locales	71
7.3 Omisión de efectos dinámicos de vorticidad	71
8. ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO POR EFECTOS DEL VIENTO	72
8.1 Distorsiones permisibles	72
8.2 Desplazamientos permisibles en edificios altos	72
8.3 Aceleraciones permisibles en edificios altos	72
APÉNDICE A. VELOCIDADES REGIONALES PARA PERIODOS DE RETORNO FIJO DE ALGUNAS COLONIAS PERTENECIENTES A LAS 16 DEMARCACIONES TERRITORIALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO	76

APÉNDICE B. DISPOSITIVOS DE AMORTIGUAMIENTO AUXILIAR PARA MITIGAR LAS ACCIONES DEL VIENTO	99
B.1 Criterios generales de diseño	99
B.2 Alcance y definiciones básicas	99
B.3 Requisitos generales para el sistema estructura-dispositivo de amortiguamiento auxiliar	99
B.4 Diseño del sistema secundario y del sistema estructura-dispositivo.....	100
B.5 Inspección de las estructuras con sistemas de amortiguamiento auxiliar	100
B.6 Pruebas de laboratorio.....	100
B.7 Criterios de aceptación.....	100
B.8 Colocación e inspección.....	101
B.9 Documentación	101
REFERENCIAS.....	102

Espacio en blanco dejado de manera intencional

NOTACIÓN

A	área tributaria, m ²
A_a	área expuesta de una antena o un accesorio, m ²
A_A	área expuesta de una antena UHF, m ²
A_{At}	área de los miembros de la cara frontal de un tramo de una torre aislada, proyectada en un plano perpendicular a la dirección del viento, m ²
A_{exp}	área expuesta, proyectada en un plano perpendicular a la dirección del viento, m ²
A_{pp}	área de referencia para puentes peatonales, m ² (fig. 5.2.3.4.1)
A_{ppv}	área de referencia para puentes peatonales, m ² (fig. 5.2.3.4.1)
A_r	área expuesta del accesorio colocado en una torre, m ²
A_{ref}	área de referencia en banderas o torres de celosía, m ²
A_Z	área total proyectada del tramo de torre en que se encuentra un accesorio, m ²
a	altura de la zona de flujo laminar, m; también, flecha de una cubierta en arco (fig. 5.2.1.1.2), m; también lado mayor del panel de vidrio, mm
a_c	aceleración máxima crítica en la dirección del viento, mili-g
a_L	constante que limita las amplitudes de los desplazamientos de la estructura, adimensional
\hat{a}	aceleración máxima en el extremo superior del edificio en la dirección longitudinal del viento, m/s ²
B	factor de respuesta por turbulencia de fondo, adimensional
B_c	factor de respuesta por turbulencia de fondo para estructuras cilíndricas, adimensional
B_{ta}	factor de respuesta por turbulencia de fondo para torres de celosía, adimensional
b	ancho mínimo del área expuesta o ancho del edificio o diámetro exterior en estructuras cilíndricas con vórtices, m; también lado menor del panel de vidrio, mm
b_D, b_N	ancho de la superficie de barlovento expuesta transversalmente al flujo de viento de secciones de torres con antenas UHF, m
b_H	ancho de la estructura de celosía en la altura H , m
b_0	ancho proyectado de la base de la estructura a nivel del terreno, m
\bar{b}	coeficiente de escala de rugosidad para la velocidad media, adimensional
b_x, b_y	ancho del edificio en dirección x y y , m
C_a	coeficiente de fuerza de arrastre, adimensional
C_{ar}	constante aerodinámica dependiente de la sección transversal de la estructura o elemento estructural, adimensional
C_{at}	coeficiente de arrastre para torres con celosía, adimensional
C_{ate}	coeficiente de arrastre para tramos de torres con accesorios, adimensional
C_{au}	coeficiente de fuerza de arrastre del accesorio aislado, adimensional
C_D	coeficiente de arrastre en chimeneas y torres con accesorios, adimensional
C_{DE}	coeficiente de arrastre efectivo, adimensional
C_{dv}	factor de respuesta dinámica vertical para techos en voladizo, adimensional
C_{Fx}	coeficiente de fuerza en dirección x , adimensional
C_{Fy}	coeficiente de fuerza en dirección y , adimensional
C_m	coeficiente de momento, adimensional
C_p	coeficiente de presión, adimensional
C_{pe}	coeficiente de presión exterior, adimensional
C_{pi}	coeficiente de presión interior, adimensional
C_{pn}	coeficiente de presión neta, adimensional
C_{pb}	coeficiente de presión neta para la zona de barlovento en techos en voladizo, adimensional
C_{ps}	coeficiente de presión neta para la zona de sotavento en techos en voladizo, adimensional
C_{pp}	coeficiente de fuerza para puentes peatonales, adimensional
C_{pv1}	coeficiente de presión neta vertical en el extremo izquierdo, acorde a la fig. 5.2.2.2.1 y la tabla 5.2.2.2.2, adimensional
C_{pv2}	coeficiente de presión neta vertical en el extremo derecho, acorde a la fig. 5.2.2.2.1 y la tabla 5.2.2.2.2, adimensional
C_{RG} y C_G	constantes correctivas de la forma modal, adimensional
C_s	coeficiente de fuerza de lateral, adimensional
c	coeficiente de escala de rugosidad, adimensional

c_1, c_2	constantes para obtener la desviación estándar del desplazamiento transversal, adimensionales
D	ancho de la estructura en la dirección normal al viento, m
D_1	diámetro de la antena de microondas, m
d	dimensión de la estructura paralela a la acción del viento, m
\bar{d}	parámetro de escala de turbulencia, adimensional
E	módulo de Young del vidrio, N/mm ²
e	excentricidad horizontal, m
e_x	excentricidad de la fuerza estática equivalente en dirección x , m
e_y	excentricidad de la fuerza estática equivalente en dirección y , m
F_{am}	fuerza axial actuante a lo largo de la antena, N
F_{at}	fuerza de arrastre horizontal resultante sobre cada tramo de torres hechas de celosía, N
F_b	fuerza que induce el viento sobre una bandera, N
F_{eq}	fuerza estática equivalente, N
F_{eqx}	fuerza estática equivalente en dirección x , N
F_{eqy}	fuerza estática equivalente en dirección y , N
F_{pp}	fuerza sobre la superestructura de un puente peatonal, N
F_{pv}	fuerza vertical sobre la superestructura de un puente peatonal, N
F_{rz}	factor de exposición local, adimensional
F'_{rz}	factor de exposición local para la velocidad media del viento, adimensional
F_{sm}	fuerza lateral actuante perpendicularmente al eje la antena, N
F_x	fuerza sobre un perfil estructural en dirección x , N
F_y	fuerza sobre un perfil estructural en dirección y , N
F_{Al}	factor de aceleración máxima en la dirección del viento, que depende del porcentaje de personas que perciben la aceleración, adimensional
F_M	factor de corrección de la masa, adimensional
F_{RR}	factor de respuesta de ráfaga, adimensional
F_{RRc}	factor de respuesta de ráfaga para estructuras cilíndricas, adimensional
F_{RRT}	factor de respuesta de ráfaga para torres de celosía, adimensional
F_T	factor correctivo por topografía local del sitio de desplante, adimensional
F_W	fuerza de inercia por unidad de longitud para estructuras cilíndricas, N/m
F_a	fuerza de arrastre sobre el elemento o la estructura en la dirección del viento, N
G_h	factor de respuesta dinámica, adimensional
g	factor pico, adimensional
H	altura de la estructura, m
h	altura de edificio o estructuras con masas concentradas (fig. 6.2.1.1), m
h_b	altura de la bandera, m
h_e	dimensión vertical de un letrero aislado o altura de los muros de silos o tanques cilíndricos, m
h_r	altura promedio de la rugosidad de la superficie, m
h_l	altura de referencia en estructuras con masas concentradas (fig. 6.2.1.1), m
\bar{h}	altura de referencia, m
$I_v(z_s)$	índice de turbulencia a la altura de referencia z_s , adimensional
$I_v(\bar{h})$	índice de turbulencia a la altura \bar{h} , adimensional
K	factor de corrección, adimensional
K_a	factor de amortiguamiento aerodinámico, adimensional
$K_{a,máx}$	constante para obtener el factor de amortiguamiento aerodinámico, adimensional
K_{in}	factor de corrección por interferencia, adimensional
K_{re}	factor de corrección por relación de esbeltez para la altura total de la estructura, adimensional
K_{sc}	factor de reducción de tamaño, adimensional
k_p	factor pico de respuesta máxima, adimensional
L_b	longitud de la bandera, m
L_e	longitud del elemento individual o de la estructura, m
$L(z_s)$	longitud de escala de turbulencia a la altura de referencia z_s , m
L_v	longitud proyectada horizontalmente del claro del voladizo, como se muestra en la fig. 5.2.2.2.1, m
M	masa promedio por unidad de longitud, a lo largo del tercio superior de la estructura, kg/m
M_m	momento actuante en una antena, en el plano que contiene a F_{am} y F_{sm} , N-m

M_T	momento de torsión, N-m
$m(z)$	masa por unidad de longitud de la torre, kg/m
m_e	masa equivalente por unidad de longitud, kg/m
m_f	masa por unidad de área de la bandera, kg/m ²
m_{total}	masa total de la estructura, kg
m_r	masa generalizada de la estructura en la dirección longitudinal del viento, kg
m_0	masa modal de la estructura en la dirección longitudinal del viento, kg
n_o	frecuencia natural del edificio en la dirección del viento, Hz
$n_{1,x}$	frecuencia del modo de vibrar en flexión en la dirección del viento, Hz
$n_{1,y}$	frecuencia del modo de vibrar en flexión en la dirección perpendicular al viento, Hz
$n_{1,z}$	frecuencia del modo de vibrar en flexión en la dirección vertical, Hz
p_e	presión exterior, Pa
p_i	presión interior, Pa
p_n	presión neta, Pa
p_{v1}	presión neta en dirección transversal y vertical, en el extremo izquierdo del techo en voladizo, Pa
p_{v2}	presión neta en dirección transversal y vertical, en el extremo derecho del techo en voladizo, Pa
p_z	presión de diseño a la altura z , Pa
q_z	presión dinámica de base del viento ($0.52V_D^2$), Pa
q_{za}	presión dinámica de base del viento calculada a la altura z_a , Pa
R	factor de respuesta resonante, adimensional
R_h y R_b	funciones de admitancia aerodinámica, adimensionales
R_c	factor de respuesta resonante para estructuras cilíndricas, adimensional
R_e	número de Reynolds, adimensional
R_{ta}	factor de respuesta resonante para torres de celosía, adimensional
$R1, R2, R3$ y $R4$	tipos de rugosidad del terreno
r	radio de las esquinas de la sección transversal de un elemento prismático, m
r_c	altura de la cumbrera de cubiertas de arco circular, medida desde el inicio del arco, m
r_0, r_1, r_2	parámetros empleados en el cálculo de la deflexión máxima en vidrio recocido, adimensional
S	área del vidrio, m ²
S_f	espacio entre la cara inferior del panel solar y la superficie del techo, m
S_L	espectro de potencia del viento, adimensional
St	número de Strouhal, adimensional
$T1, T2, T3$ y $T4$	tipos de topografía del terreno
t	espesor de vidrio monolítico recocido, mm
V	fuerza cortante en el entrepiso o segmento en estudio, N
V_{cr}	velocidad crítica del viento, m/s
V_D	velocidad de diseño para una altura dada, m/s
V'_D	velocidad media de diseño para una altura dada durante un intervalo de 10 minutos, m/s
V_H	velocidad de diseño a la altura H , m/s
V_R	velocidad regional de ráfaga que corresponde al sitio de interés, m/s
W	suma de las cargas viva y muerta por encima de un entrepiso o segmento, N
w	deflexión máxima del panel de vidrio, mm
X	parámetro empleado en el cálculo de la deflexión máxima en vidrio recocido, adimensional
x	cota de desplazamiento empleada en salientes de fachadas, m
$Y_{F,máx}$	máximo desplazamiento transversal al flujo del viento, m
$y+$	parámetro relacionado con el comportamiento de un fluido cerca de una pared, adimensional
z	altura de un punto desde el terreno, m
$z_{mín}$	parámetro de altura mínima, m
z_s	altura de referencia para la determinación de la respuesta de ráfaga, m
z_{ta}	altura a la que se encuentra el punto medio de la longitud vertical de un tramo de una torre de celosía, m
z_0	longitud de rugosidad, m
α	exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura para intervalo de ráfaga de 3 segundos, adimensional
α'	exponente que determina la forma de la variación de la velocidad media del viento con la altura, adimensional
$\bar{\alpha}$	exponente que define la variación de la longitud de escala con la altura, adimensional

β	ángulo de las cubiertas en arco para definir las zonas A, B y C (fig. 5.2.1.1.2), grados
γ	pendiente de techos, grados
ΔC_D	coeficiente de arrastre adicional para antenas y torres con accesorios, adimensional
ΔC_{at}	coeficiente de arrastre adicional en un tramo de torre debido a accesorios, adimensional
δ	altura gradiente, m
η_b	frecuencia reducida considerando la dimensión b , adimensional
η_h	frecuencia reducida considerando la dimensión h , adimensional
θ	ángulo de inclinación en techos o dirección del viento, grados
θ_a	ángulo de desviación del flujo de viento con respecto a la línea que une el centro de la sección transversal de la torre con el centro del accesorio, grados
θ_l	ángulo empleado en el cálculo de θ_a , grados
λ_B	factor que depende del ancho superior e inferior de la torre, adimensional
λ_m	coeficiente que determina la variación de la forma modal con la altura, adimensional
$\mu(z)$	masa por unidad de altura del edificio, kg/m
ν	tasa media de fluctuación, s ⁻¹
ρ	densidad del aire, kg/m ³
σ_y	desviación estándar del desplazamiento transversal al flujo del viento, m
ζ_a	relación de amortiguamiento aerodinámico, adimensional
ζ_{est}	relación de amortiguamiento estructural, adimensional
ζ_d	relación de amortiguamiento asociado con algún mecanismo de amortiguamiento auxiliar, adimensional
ζ_t	relación de amortiguamiento total, adimensional
$\zeta_{t,y}$	relación de amortiguamiento total en la dirección transversal del viento, adimensional
$\Phi_{1,x}(z)$	configuración del primer modo, en la dirección longitudinal del viento, adimensional
$\Phi_{1,y}(z)$	configuración del primer modo, en la dirección perpendicular al viento, adimensional
$\Phi(z)$	modo fundamental de vibración, en la dirección longitudinal del viento, adimensional
ϕ	relación de solidez del anuncio, muro o tramo de torre de celosía, adimensional
ψ	cociente del desplazamiento relativo entre dos niveles de piso o secciones horizontales, dividido entre la correspondiente diferencia de elevaciones, adimensional

Espacio en blanco dejado de manera intencional

TERMINOLOGÍA

Aberturas

Aberturas o agujeros en la envolvente del edificio que permiten que el aire fluya a través de la envolvente del edificio.

Amortiguamiento aerodinámico

Fuerzas aerodinámicas proporcionales a la velocidad de la estructura, que se adicionan o sustraen del amortiguamiento estructural. El amortiguamiento aerodinámico puede ser positivo o negativo.

Amortiguamiento estructural

Término empleado para referirse a la disipación de energía en un material debido principalmente a la fricción interna causada por el deslizamiento de partículas en planos internos durante la deformación.

Amortiguamiento auxiliar

Dispositivos como masa sólida sintonizada, masa líquida sintonizada o amortiguador viscoso, frecuentemente empleados en edificios altos, particularmente en aquéllos susceptibles a vientos intensos. Estos dispositivos proveen un aumento importante de disipación de energía y reducción de la vibración.

Altura media del techo

El promedio de la altura del alero del techo y la altura hasta el punto más alto de la superficie del techo, excepto que, para ángulos de techo menores o iguales que 10° , se permite tomar la altura media del techo como la altura del alero del techo.

Armaduras

La armadura también llamada celosía, es una estructura compuesta por elementos o barras, por lo general rectos, interconectados en nudos, que forman triángulos planos, conocidos como celosías planas o pirámides tridimensionales, llamadas también celosías espaciales. La importancia e interés en esta clase de estructuras es que las barras se emplean de manera predominante a tensión (tracción) y compresión, presentando pequeñas flexiones que suelen ser despreciables. Los elementos que trabajan solo a tensión o compresión se les denomina elemento barra y los que pueden estar sometidos adicionalmente a flexión se les llama elementos viga.

Categoría del terreno

Se relaciona a una clasificación estándar según el tipo de rugosidad en los alrededores de un sitio de interés.

Coefficientes de presión sobre superficies

Coefficiente para determinar las presiones exteriores o interiores (empuje o succión).

Coefficientes de arrastre

Determinan la fuerza de arrastre sobre construcciones o elementos estructurales.

Coefficientes de presión neta sobre superficies

Determinan el efecto combinado de empujes y succiones para evaluar las fuerzas resultantes.

Coefficientes de fuerza sobre cuerpos

Determinan las fuerzas generales (fuerzas o momentos) sobre un cuerpo.

Coefficientes de presión sobre superficies

Coefficiente para determinar las presiones exteriores o interiores (empuje o succión) sobre superficies expuestas al flujo del viento.

Combinación de fuerzas del viento

Combinación de fuerzas horizontales y momento de torsión en edificios.

Componentes y revestimientos

Elementos de recubrimiento del edificio o los elementos de los accesorios del edificio y estructuras y equipos de techumbre que no califican como parte del sistema principal resistente a fuerzas de viento.

Cubierta

Superficies exteriores que envuelven un edificio o construcción por la parte superior.

Densidad espectral

Una medida de la contribución a una cantidad fluctuante (e.g., velocidad del viento, presión del viento, deflexión) dentro de un ancho de banda de frecuencia definido.

Desprendimiento de vórtices

Desprendimiento periódico de vórtices (remolinos) de un cuerpo inmerso en la corriente de viento.

Elementos de recubrimiento

Son elementos que no forman parte de la estructura principal y no contribuyen a la resistencia ante la acción del viento. Generalmente revisten la estructura y tendrán que resistir las presiones inducidas por el flujo del viento.

Estructuras de celosía

Es una estructura reticular de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos planos (en celosías planas) o pirámides tridimensionales (en celosías espaciales). También se les conoce como armaduras o reticulados. Las celosías metálicas son estructuras que salvan grandes claros con poco material, gracias a su morfología de barras formando triangulaciones. El triángulo es la forma geométrica que, aunque sus nodos están articulados, mantiene su forma, de modo que una serie de triángulos concatenados forman una estructura plana o espacial estable.

Estructuras reticulares

Una estructura reticular o reticulada (también conocida como estructura de barras) está formada por un conjunto de barras interconectadas y entrecruzadas unidas por medio de nudos articulados o rígidos formando triángulos.

Fuerza de diseño

Fuerza estática equivalente a utilizar en la determinación de cargas de viento para estructuras sensibles a los efectos dinámicos del viento.

Factor de respuesta de ráfaga

Cociente de la respuesta máxima esperada de la estructura en un periodo de tiempo definido (e.g., 10 minutos) a la respuesta media o estática en el mismo periodo de tiempo.

Factor pico

Relación del valor máximo menos el valor medio, con respecto a la desviación estándar, para la velocidad del viento, presión, fuerza o respuesta.

Fuerza longitudinal

Fuerza aerodinámica en la dirección del flujo del viento.

Fuerza transversal

Fuerza aerodinámica perpendicular a la dirección del flujo del viento.

Inestabilidad aeroelástica

Efecto que se presenta en estructuras en las que las fuerzas del viento en una dirección aumentan en razón del desplazamiento en la misma dirección.

Instituto

Instituto para la Seguridad de las Construcciones.

Intervalo o tiempo de medición

Es el intervalo o tiempo en el que se mide y promedia la velocidad del viento para evaluar el valor máximo.

Momento de torsión

Momento inducido por la variación de presiones instantáneas inducidas por el viento en la envolvente de edificios.

NTC-Acero

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero.

NTC-Cimentaciones

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Cimentaciones.

NTC-Concreto

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

NTC-Criterios

Norma Técnica Complementaria sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

NTC-Evaluación y Rehabilitación

Norma Técnica Complementaria para Evaluación y Rehabilitación Estructural de Edificios Existentes.

NTC-Madera

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Madera y Bambú.

NTC-Mampostería

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

NTC-Proyecto Arquitectónico

Norma Técnica Complementaria para Diseño de Proyecto Arquitectónico.

NTC-Revisión

Norma Técnica Complementaria para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones.

NTC-Sismo

Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo.

NTC-Viento

Norma Técnica Complementaria para Diseño por Viento.

Panel solar de techo

Dispositivo para recibir radiación solar y convertirla en electricidad o energía térmica. Típicamente se trata de un módulo fotovoltaico o panel solar térmico.

Presión de diseño

Presión estática equivalente a ser utilizada en la determinación de cargas de viento para edificios.

Presiones interiores

Presiones que se generan dentro de estructuras cerradas; podrán ser positivas o negativas, dependiendo de su permeabilidad o de la localización y del tamaño de las aberturas.

Procedimiento del túnel de viento

Un procedimiento experimental para determinar cargas de viento en edificios y otras estructuras, en las que las presiones y fuerzas y momentos se determinan para cada dirección del viento considerada, a partir de un modelo del edificio u otra estructura y sus alrededores.

Relación de esbeltez

Relación de la altura al lado menor de la estructura.

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.

Relación de aspecto de un vidrio

Relación entre el lado más largo del panel de vidrio y su lado más corto.

Respuesta dinámica

Respuesta de la estructura debido a los efectos turbulentos (dinámicos) del viento. La respuesta dinámica se conforma de la respuesta de fondo y la respuesta en resonancia.

Respuesta de fondo

Parte de la respuesta dinámica debida a ráfagas de frecuencia menor que la frecuencia natural de la estructura.

Respuesta en resonancia

Parte de la respuesta dinámica debida a ráfagas de frecuencia similar a la frecuencia natural de la estructura.

Umbral de aceleración

Niveles de aceleración inducida por el viento que son percibidos por los habitantes de un edificio alto.

Vidrio recocido

Vidrio que no ha sido sometido a endurecimiento, laminación y refuerzo térmico.

Velocidad regional

Velocidad de ráfaga, con intervalo de medición de 3 segundos, a 10 m de altura por encima del terreno natural, para una categoría del terreno tipo 2.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

ESTÁNDARES

Normas Mexicanas (NMX)

Norma NMX-R-060-SCFI-2013 – Ventanas: clasificaciones y especificaciones

Norma NMX-C-567-2-ONNCCE-2020 – Industria de la construcción-diseño por viento de edificaciones y otras construcciones-parte 2: métodos de ensayo en túnel de viento

Espacio en blanco dejado de manera intencional

1. CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 Alcance

1.1.1 En esta Norma se detallan y amplían los requisitos mínimos de diseño por viento contenidos en el Reglamento.

1.1.2 Los procedimientos aquí indicados se aplicarán conforme a los criterios generales de diseño especificados en el Reglamento. Deben aplicarse, a las acciones debidas al viento, los factores de carga correspondientes a acciones accidentales fijados en la NTC-Criterios.

Comentario:

En esta versión de la Norma se presentan comentarios a los requisitos de análisis y diseño que permitan aclarar su interpretación. En el caso de temas no cubiertos en versiones anteriores, se presentan comentarios más amplios y detallados. Los comentarios y sus figuras no son de carácter obligatorio. Las referencias en los comentarios incluyen mayor información o criterios optativos que se recomienda sean consultadas.

Cuando se ha juzgado conveniente, se han añadido figuras en los comentarios con objeto de ilustrar un concepto o requisito, o para aclarar su interpretación. El pie de figura inicia con la letra C, de la palabra "Comentario", para distinguirlas de las figuras que forman parte del cuerpo normativo (por ejemplo, fig. C2.3.2). La numeración se puede referir a la sección o inciso general del tema que se comenta, o bien a un inciso específico para el cual se ha incluido la figura.

1.2 Limitaciones

1.2.1 Para la aplicación de los procedimientos indicados en esta Norma se considera que la respuesta estructural ante la acción del viento es lineal. Asimismo, estos procedimientos sólo son aplicables a las construcciones con las geometrías que se presentan más adelante, de lo contrario será necesario realizar estudios de modelos experimentales en túnel de viento para comprobar su seguridad y cumplimiento de condiciones de servicio.

Los procedimientos deberán limitarse también a las siguientes restricciones:

- a) La altura de la construcción no debe ser mayor que 200 m.
- b) Los claros de construcciones no deben ser mayores que 100 m.
- c) El periodo fundamental de la estructura no debe exceder de 5 s.

1.2.2 Si estas limitaciones no se cumplen deberán realizarse estudios de modelos experimentales en túnel de viento, como se indica en 2.3.

Comentario:

La normativa internacional no menciona un modo de vibrar específico; sin embargo, el viento puede excitar modos de translación o torsión.

1.3 Unidades

1.3.1 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, en primer lugar, la ecuación en términos de unidades del sistema internacional (SI) y, en segundo lugar, entre paréntesis, en términos de unidades del sistema métrico decimal usual.

1.3.2 Los valores correspondientes a los dos sistemas de unidades no son exactamente equivalentes, por lo que cada sistema debe utilizarse con independencia del otro, sin hacer combinaciones entre los dos.

2. CRITERIOS DE DISEÑO

2.1 Aspectos generales

2.1.1 Deberá revisarse la seguridad de la estructura principal ante el efecto de las fuerzas que se generan por las presiones (empujes o succiones) producidas por el viento sobre las superficies de la construcción expuestas al mismo y que son transmitidas al sistema estructural. La revisión deberá considerar la acción estática y dinámica del viento cuando la estructura sea sensible a estos efectos. Para la revisión de la seguridad de la estructura principal ante los efectos estáticos y dinámicos inducidos por el viento se seguirán los criterios de los Capítulos 5 y 6, respectivamente. Para la revisión de la seguridad de la estructura principal ante los efectos de vórtices periódicos sobre estructuras cilíndricas y prismáticas se seguirán los criterios del Capítulo 7.

2.1.2 Deberá realizarse, además, un diseño local de los elementos particulares directamente expuestos a la acción del viento, tanto los que forman parte del sistema estructural, tales como cuerdas, diagonales y montantes, como los que constituyen sólo un revestimiento (por ejemplo: láminas de cubierta, elementos de fachada y vidrios). Para el diseño local de estos elementos se seguirán los criterios del Capítulo 4.

2.1.3 Se deberán tomar precauciones durante la construcción y en estructuras provisionales. Para ello, se revisará la estabilidad de las construcciones 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 3, asociadas a un período de retorno de 10 años. En el caso de desprendimiento de elementos de fachada y cubiertas que puedan convertirse en proyectiles que puedan ocasionar daños importantes, tanto a la estructura por diseñar como a las de los alrededores, estos elementos deberán diseñarse para las velocidades que correspondan a la estructura principal.

2.1.4 Deberá revisarse que los estados límite de servicio en términos de distorsiones, desplazamientos y aceleraciones inducidos por la acción del viento cumplan con los límites establecidos en el Capítulo 8.

Comentario: Para el diseño de una estructura sometida a la acción del viento deben revisarse los estados límite de diseño de colapso y servicio, los cuales son considerados por separado.

Aunque no se menciona de manera explícita en las NTC-Viento, una estructura sometida a la acción del viento, diseñada para resistir la ocurrencia de los estados límite de colapso y servicio, previene que las pérdidas económicas sean excesivas.

En los últimos años, la aplicación de conceptos de diseño por desempeño a estructuras sometidas a viento ha tomado un gran auge. La prenorma "Prestandard for performance-based wind design" (ASCE, 2019) incluye diferentes objetivos de desempeño. Un objetivo de desempeño es un resultado específico para un elemento o sistema de un edificio durante o después de un evento de viento elegido por las partes interesadas y el proyectista. Los objetivos de desempeño se establecen al inicio del diseño y se miden de acuerdo con sus criterios de aceptación relacionados. Los objetivos de desempeño pueden ser tangibles, intangibles, económicos (evitar o retrasar el costo o la pérdida), o ambientales.

2.2 Clasificación de las estructuras

2.2.1 De acuerdo con su importancia

2.2.1.1 Para fines de diseño por viento y de acuerdo con la importancia para la cual serán destinadas, las estructuras están clasificadas en dos grupos, A y B, según el Reglamento. Además de las estructuras de los Grupos A y B, también se incluyen estructuras temporales, que permanezcan por más de una estación del año. Los periodos de retorno asociados con la velocidad regional para estructuras de los Grupos A, B y temporales serán 200, 50 y 10 años, respectivamente.

2.2.2 De acuerdo con su respuesta ante la acción del viento

2.2.2.1 Para fines de diseño por viento y de acuerdo con la naturaleza de los principales efectos que el viento puede ocasionar en ellas, las estructuras se clasifican en cuatro tipos:

- a) Tipo 1. Comprende las estructuras afectadas por la acción estática (media) del viento, que resultan poco sensibles 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 o cuyo período natural de vibración excede de 1 segundo. 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

- b) Tipo 2. Comprende las estructuras cuya esbeltez o dimensiones reducidas de su sección transversal, así como sus propiedades dinámicas, las hace especialmente sensibles a las ráfagas de corta duración, y cuyos periodos naturales largos favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes. 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 segundo. También las antenas, tanques elevados, parapetos, 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
- c) Tipo 3. Comprende estructuras como las definidas en el Tipo 2 en que, además, la forma de la sección transversal propicia la generación periódica de vórtices o remolinos que provocan fuerzas y vibraciones transversales a la dirección del viento. Son de este tipo las estructuras o componentes aproximadamente cilíndricos o prismáticos, tales como chimeneas y edificios
- d) Tipo 4. Comprende las estructuras o accesorios que por su forma o por lo largo de sus períodos de vibración presentan problemas aerodinámicos especiales. Entre ellas se hallan las cubiertas colgantes, que no pueden incluirse en el Tipo 1.

2.2.3 Efectos a considerar

2.2.3.1 En el diseño de estructuras sometidas a la acción de viento se tomarán en cuenta aquellos efectos que puedan ser importantes en cada caso, los efectos incluyen:

- a) Empujes y succiones estáticos
- b) Fuerzas dinámicas paralelas al flujo principal, causadas por turbulencia
- c) Vibraciones transversales al flujo causadas por vórtices alternantes
- d) Inestabilidad aeroelástica.

2.2.3.2 Para el diseño de las estructuras Tipo 1 bastará tener en cuenta los efectos estáticos del viento, calculados de acuerdo con el Capítulo 5.

2.2.3.3 Para el diseño de las estructuras Tipo 2 deberán incluirse los efectos estáticos y los dinámicos causados por turbulencia. Para considerar los efectos dinámicos en el diseño podrá aplicarse el método para determinar fuerzas estáticas equivalentes, de acuerdo con las secciones correspondientes de los Capítulos 5 y 6.

2.2.3.4 Las estructuras Tipo 3 deberán diseñarse de acuerdo con los criterios especificados para las de Tipo 2, pero además deberá revisarse su capacidad para resistir los efectos dinámicos de los vórtices alternantes, según se especifica en el Capítulo 7.

2.2.3.5 Para estructuras Tipo 4 los efectos de viento se valorarán con un procedimiento de análisis que tome en cuenta las características de la turbulencia y sus efectos dinámicos, pero en ningún caso serán menores que los especificados por el Tipo 3. Los problemas de inestabilidad aeroelástica ameritarán estudios de modelos experimentales en túnel de viento. En 2.3 se presentan los requisitos mínimos para el desarrollo de pruebas experimentales en túnel de viento.

2.3 Estudios en túnel de viento

2.3.1 En construcciones que no cumplan con los requisitos establecidos en 1.2 o que tengan forma geométrica no cubierta en esta Norma y con características que las hagan particularmente sensibles a los efectos de viento o cuando los efectos de bloqueo debido a topografías o edificios circundantes sean considerados, el cálculo de estos efectos se basará en resultados de estudios experimentales en túnel de viento. Para las pruebas experimentales se deberá cumplir con los requisitos de la NMX-C-567-2-ONNCCE-2020. Podrán tomarse como base resultados existentes de ensayos realizados en modelos de construcciones de características geométricas semejantes; la adopción de estos resultados deberá ser aprobada por el Instituto. Cuando no se cuente con estos resultados o cuando se trate de construcciones de particular importancia, deberá recurrirse a estudios de túnel de viento en modelos de la construcción misma.

2.3.2 Para construcciones que cumplan con los requisitos establecidos en 1.2, el propietario de la construcción podrá solicitar que se realicen pruebas experimentales de túnel de viento para evaluar los efectos del viento sobre la construcción. Los procedimientos de ensayos e interpretación de los estudios de túnel de viento seguirán técnicas reconocidas y deberán ser aprobados por el Instituto.

2.3.3 Para la realización de las pruebas y la interpretación de sus resultados se procederá como sigue:

2.3.3.1 Para las pruebas experimentales en túnel de viento, independientemente del tipo de modelo, se deberá reproducir el perfil de velocidad media del viento que represente las características de rugosidad del sitio destinado a la construcción, incluyendo los posibles efectos de construcciones vecinas, así como accidentes topográficos. Además, se deberá verificar la caracterización de la turbulencia simulada mediante la intensidad de turbulencia, la longitud integral de turbulencia y la densidad espectral de la turbulencia. Asimismo, se deberán definir los tiempos de medición y los intervalos para evaluar las velocidades y presiones medias.

2.3.3.2 Los tipos de modelos para pruebas experimentales en túnel de viento, la instrumentación y objetivos de las pruebas se presentan a continuación:

a) Pruebas de modelos rígidos

- 1) Para estructuras Tipo 1, poco sensibles a los efectos dinámicos del viento, se recurrirá a modelos rígidos a escala, con geometría similar a la estructura en estudio, diseñados para satisfacer condiciones de similitud fluidodinámica. Los modelos se instrumentarán con sensores de presión, que permitan definir coeficientes locales de presión en puntos predefinidos de la superficie exterior del modelo, con los cuales se puedan obtener isobaras o contornos de presión representativos de la acción del viento, para diversos ángulos de incidencia del viento, los cuales deberán ser definidos previamente
- 2) Para estructuras Tipo 2 y 3, sensibles a la acción de ráfagas, se podrán emplear modelos rígidos a escala, con geometría similar a la estructura en estudio. Estos modelos serán diseñados para satisfacer condiciones de similitud fluidodinámica y se podrán instrumentar de alguna de las siguientes formas:
 - 2.1) Con sensores de presión, que permitan definir las cargas dinámicas que produce el viento para diversos ángulos de incidencia definidos previamente
 - 2.2) Con bases instrumentadas, que permitan conocer las acciones que el viento produce en la base de la estructura, para diversos ángulos de incidencia. Las fuerzas en la base de la estructura podrán ser empleadas para proponer fuerzas estáticas equivalentes sobre la estructura en estudio.

b) Pruebas de modelos aeroelásticos

Para estructuras del Tipo 3 y 4 se podrán emplear modelos aeroelásticos a escala. Este tipo de prueba es recomendado para estructuras sensibles a los efectos dinámicos del viento, en las que además puedan presentarse oscilaciones importantes transversales al flujo del viento debido a vórtices o remolinos periódicos que interactúan con la estructura, o cuando la estructura pueda presentar condiciones de inestabilidad aeroelástica. El modelo aeroelástico, con geometría similar a la estructura, deberá reproducir la distribución de masas y rigideces, así como los niveles de amortiguamiento esperados en la construcción. Será indispensable la existencia de similitud dinámica entre los tres primeros modos de vibrar del modelo a escala y de la estructura en estudio. El modelo se instrumentará con sensores que permitan estimar la magnitud de los desplazamientos, y otras respuestas, en dos direcciones ortogonales, ante diversos ángulos de ataque. Además de obtener la respuesta inducida por el viento, las pruebas de modelos aeroelásticos permiten identificar procesos inestables que se producen por la interacción fluido-estructura y definir velocidades críticas del viento que generan estas inestabilidades o velocidades críticas del viento para la aparición de vórtices.

Comentario:

Las pruebas experimentales en un túnel de viento deben satisfacer una serie de condiciones de similitud (geométrica, cinemática y dinámica) y realizar un adecuado escalamiento de los modelos. En términos generales, para la adecuada simulación del campo fluido, se debe tener un adecuado escalamiento y simulación de los siguientes factores: perfil medio del viento, intensidad de turbulencia, longitud integral de turbulencia, relación de velocidades de viento para diferentes tiempos de medición y densidad espectral de la turbulencia.

El adecuado control de los parámetros anteriores permitirá reducir la incertidumbre de las estimaciones de los efectos del viento. Algunas referencias, internacionalmente aceptadas y empleadas, para la correcta ejecución de pruebas experimentales en túnel de viento incluyen: ASCE (1999), ASCE (2012), BLWTL (1999) y Simiu (2009). De acuerdo con la prenorma "Performance Based Design for Wind Design" de ASCE (2019), las pruebas experimentales en túnel de viento mejoran el desempeño estructural.

En México, el estándar NMX-C-567-2-ONNCCE contiene información básica de pruebas experimentales en túnel de viento, la cual está basada en algunas de las referencias internacionales anteriormente mencionadas.

Cuando los efectos de bloqueo debido a topografías o edificios circundantes sean evaluados, los cambios futuros de edificios circundantes deben ser confirmados.

Actualmente no es posible verificar la confiabilidad y exactitud del análisis numérico con modelos de mecánica de fluidos computacional (MFC) y ninguna norma o reglamento recomienda su empleo; por tanto, este método no debe usarse para determinar fuerzas de viento. Sin embargo, la MFC puede emplearse como complemento a las pruebas experimentales en túnel de viento. Las principales ventajas de este método son: 1) no existen restricciones de similitud geométrica o cinemática, 2) las simulaciones siempre se desarrollan en condiciones totalmente controladas y 3) puede proporcionar información detallada sobre las variables del flujo (velocidad, presión, temperatura, etc.) en cualquier punto del dominio computacional de forma simultánea en una sola simulación. Algunas aplicaciones de MFC pueden ser en: 1) simulación del entorno de viento alrededor de edificios para transeúntes, 2) estudiar el confort en balcones, 3) analizar el comportamiento de lluvia impulsada por el viento en las fachadas de los edificios, 4) estudios de ventilación natural e intercambio de calor, 5) simulación de dispersión de contaminantes sobre edificios, entre otros. Sin embargo, la calidad de los resultados de MFC llega a ser cuestionable debido a que suelen subestimarse los efectos en las zonas de desprendimiento y siempre se requieren estudios de verificación y validación con resultados de pruebas experimentales. Por lo tanto, la MFC no reemplaza a las simulaciones experimentales y ambas metodologías son complemento una de la otra. Asimismo, debido a que estas simulaciones numéricas son muy sensibles a los múltiples parámetros definidos por el usuario, existen pautas de mejores prácticas (Franke et al., 2004, 2007, 2011; Blocken, 2007; Tominaga et al., 2008) que permiten desarrollar simulaciones más confiables y con menor incertidumbre. Los aspectos más importantes que deben cuidarse y reportarse en un estudio numérico con MFC son:

- a) La relación de bloqueo efectiva del modelo en el dominio computacional*
- b) La altura de la primera celda asociada a un valor de z_0 , así como el valor de y^+*
- c) Los perfiles de entrada para capa límite atmosférica*
- d) Modelo de turbulencia*
- e) El criterio de convergencia y monitoreo de residuales*
- f) La prueba de homogeneidad en un dominio vacío*
- g) La prueba de independencia de malla*
- h) La validación de los resultados numéricos con resultados experimentales si estos están disponibles en la literatura.*

Espacio en blanco dejado de manera intencional

3. VELOCIDADES DE VIENTO PARA DISEÑO

3.1 Velocidad de diseño del viento para presiones estáticas, V_D

3.1.1 Cálculo de la velocidad de diseño para presiones estáticas, V_D

3.1.1.1 Los efectos estáticos del viento sobre una estructura o componente de la misma se determinan con base en la velocidad de diseño, la que se obtendrá de acuerdo con:

$$V_D = F_T F_{rz} V_R \quad (3.1.1.1.1)$$

3.1.2 Determinación de la velocidad regional, V_R

3.1.2.1 La velocidad regional es la velocidad máxima del viento que se presenta a una altura de 10 m sobre el lugar de desplante de la estructura, para condiciones de terreno plano (terreno tipo R2, fig. 3.1.3.2.1 y tabla 3.1.3.2.1). Los valores de esta velocidad se obtendrán de las figs. 3.1.2.1.1, 3.1.2.1.2 y 3.1.2.1.3, que muestran mapas de contorno correspondientes a los periodos de retorno de 200, 50 y 10 años, recomendados para el diseño por viento de estructuras de los Grupos A, B y temporales, respectivamente. Estos valores incluyen el efecto de ráfaga que corresponde a tomar el valor máximo de la velocidad media durante un intervalo de medición de tres segundos. En el Apéndice A se presentan velocidades regionales para periodos de retorno fijo de algunas colonias pertenecientes a las 16 demarcaciones territoriales de la Ciudad de México.

Comentario:

La actualización de la regionalización eólica de la Ciudad de México se realizó con base en los registros de velocidades máximas provenientes de diferentes estaciones meteorológicas: estaciones del Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario (PEMBU), administradas por el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM, y estaciones administradas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que incluyen observatorios, estaciones sinópticas meteorológicas (ESIMEs) y estaciones meteorológicas automáticas (EMAs). Estos registros fueron analizados y depurados, posteriormente se realizó el análisis estadístico y probabilista de los valores extremos, finalmente se realizaron las interpolaciones rigurosas para cada demarcación territorial de la Ciudad de México.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

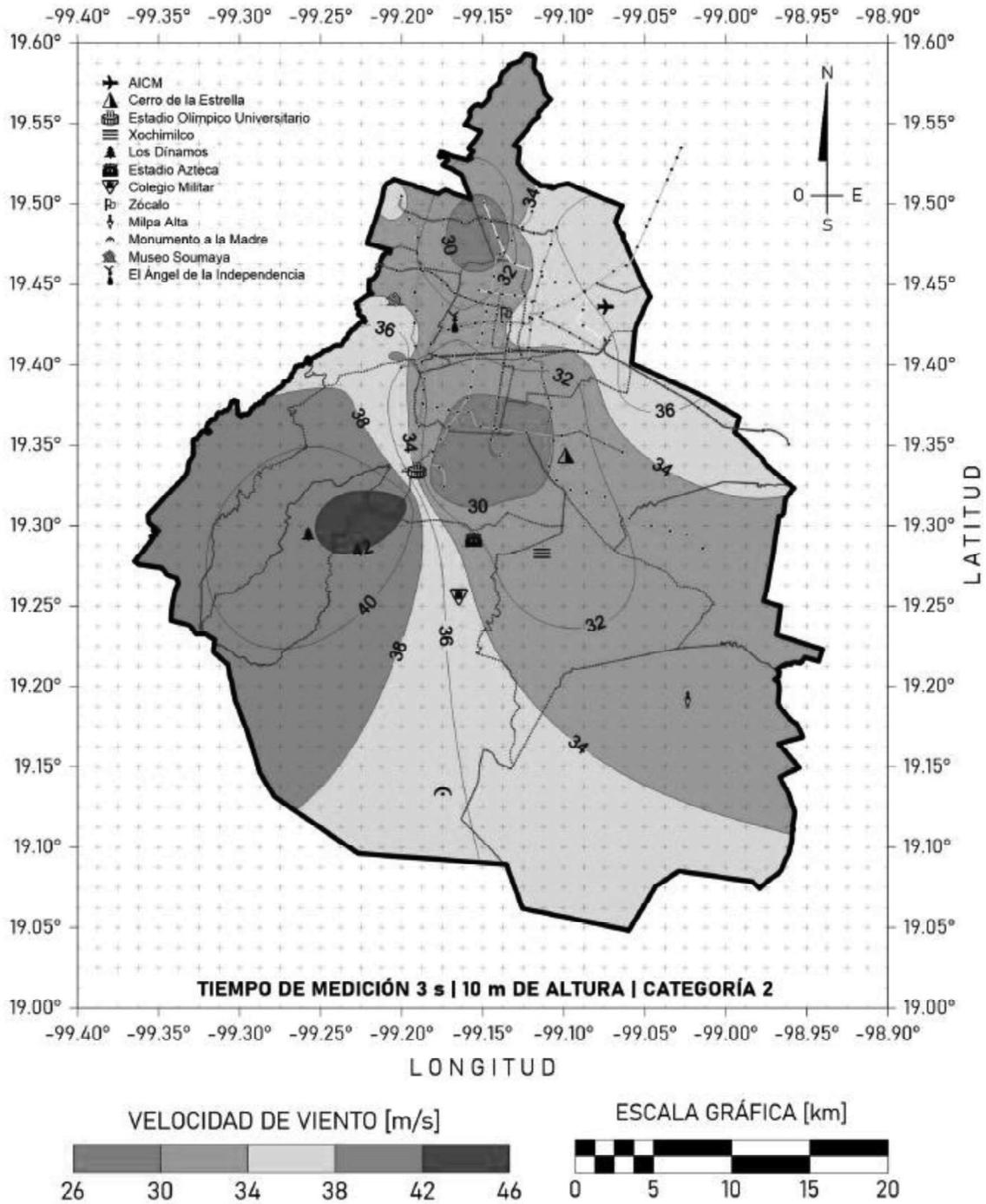


Figura 3.1.2.1.1 - Velocidades regionales, V_R , para un periodo de retorno de 200 años

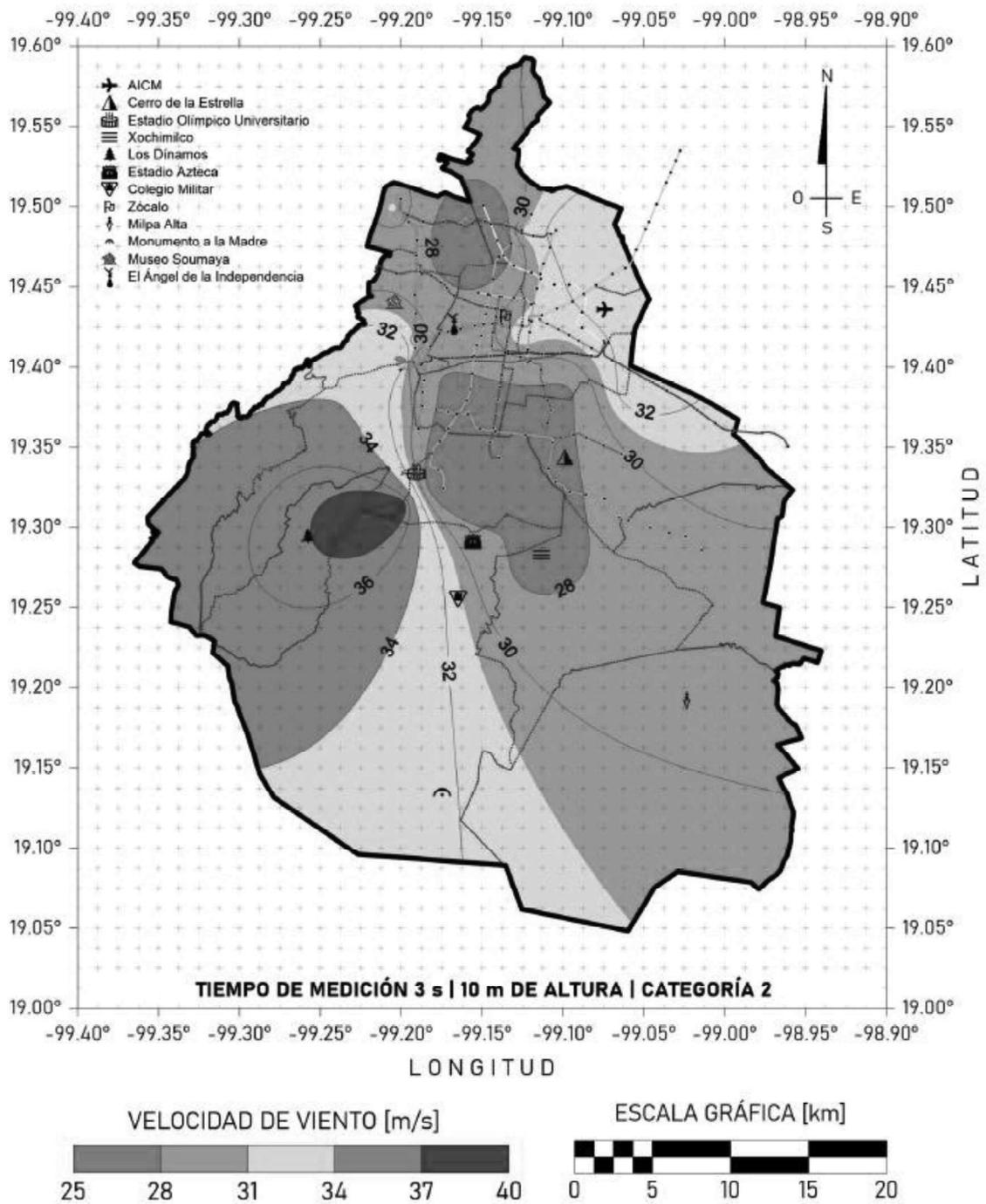


Figura 3.1.2.1.2 - Velocidades regionales, V_R , para un periodo de retorno de 50 años

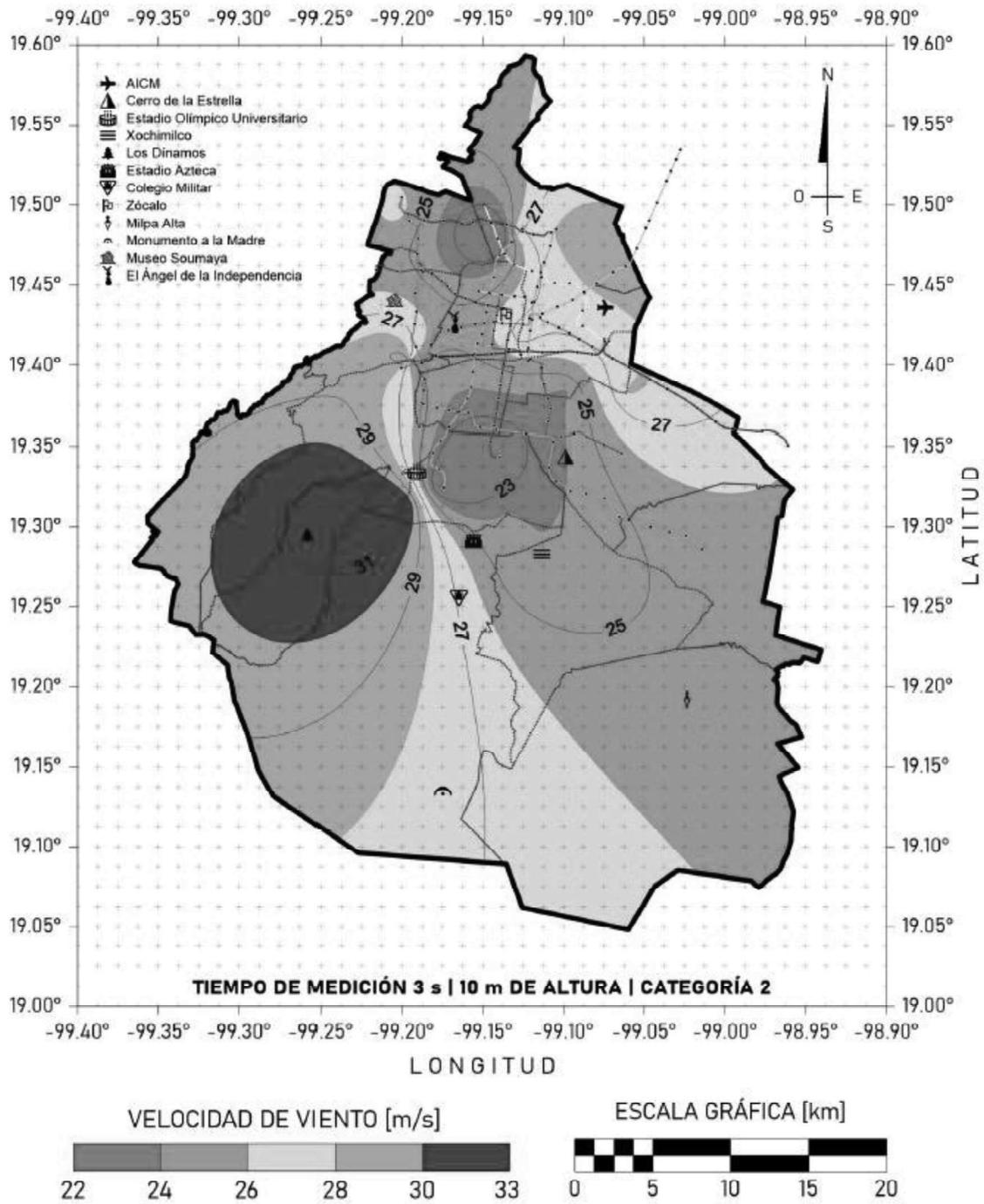


Figura 3.1.2.1.3 - Velocidades regionales, V_R , para un periodo de retorno de 10 años

3.1.3 Factor de exposición local, F_{rz}

3.1.3.1 Este factor establece la variación de la velocidad del viento con la altura z , en función de la rugosidad del terreno de los alrededores del sitio de desplante, y se calculará con:

$$\begin{aligned}
 F_{rz} &= c; & \text{si } z \leq 10 \text{ m} & & (3.1.3.1.1.a) \\
 F_{rz} &= c (z/10)^\alpha; & \text{si } 10 \text{ m} < z \leq \delta & & (3.1.3.1.1.b) \\
 F_{rz} &= c (\delta/10)^\alpha; & \text{si } z \geq \delta & & (3.1.3.1.1.c)
 \end{aligned}$$

3.1.3.2 Los valores de los parámetros c , α y δ , empleados en el cálculo de F_{rz} , se obtendrán de la tabla 3.1.3.2.1 de acuerdo con el tipo de rugosidad del terreno.

Tabla 3.1.3.2.1 - Valores de c , α y δ

Tipos de rugosidad del terreno		c	α	δ (m)
R1	Escasas o nulas obstrucciones al flujo de viento, como en campo abierto. 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.	1.142	0.061	280
R2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones. 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, la que sea mayor.	1.000	0.095	350
R3	Zona típica urbana y suburbana. El sitio está rodeado predominantemente por construcciones de mediana y baja altura o por áreas arboladas y no se cumplen las condiciones del Tipo R4. Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 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 construcción, la que sea mayor.	0.832	0.140	410
R4	Zona de gran densidad de edificios altos. Por lo menos la mitad de las edificaciones que se encuentran en un radio de 500 m alrededor de la estructura en estudio tiene altura superior a 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 20 veces la altura de la construcción, la que sea mayor.	0.668	0.192	470

Si en una dirección de análisis de los efectos del viento existen diferentes rugosidades con longitud menor que 500 m, se deberá considerar la que produzca los efectos más desfavorables. Esta tabla se complementa con la fig. 3.1.3.2.1.

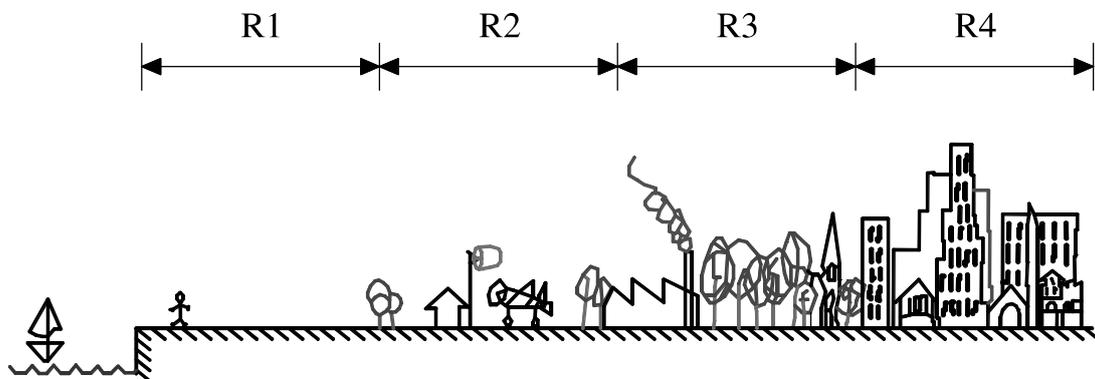


Figura 3.1.3.2.1 - Rugosidades del terreno

3.1.4 Factor correctivo por topografía, F_T

3.1.4.1 Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplante la estructura. Los valores de este factor se tomarán de la tabla 3.1.4.1.1.

Tabla 3.1.4.1.1 - Factor F_T

Tipos de topografía		F_T
T1	Base protegida de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento	0.8
T2	Valles cerrados	0.9
T3	Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores que 5 % (normal)	1.0
T4	Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10 %	1.1
T5	a) Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes entre 10 y 15 %, cañadas o valles cerrados	1.2
	b) Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores que 15 %, cañadas o valles cerrados	1.5

Esta tabla se complementa con la fig. 3.1.4.1.1.

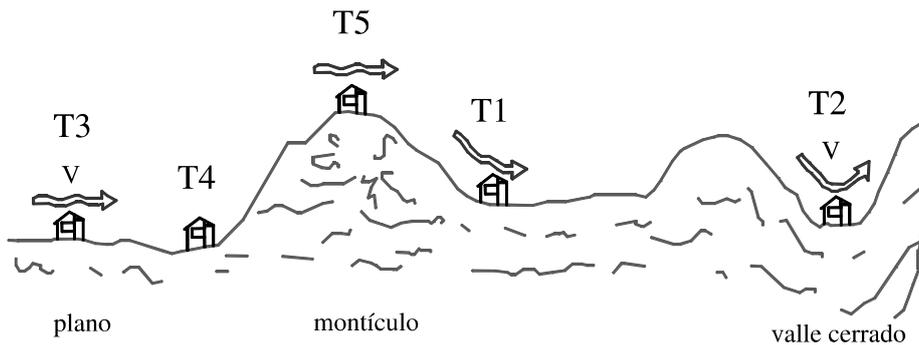


Figura 3.1.4.1.1 - Formas topográficas locales

Comentario:

Si los accidentes topográficos locales difieren de los aquí indicados, se deberán hacer pruebas en túnel de viento para tener una mejor estimación de éstos. El valor del factor de topografía calculado con este procedimiento experimental deberá ser aprobado por el Instituto.

3.2 Velocidad de diseño del viento para presiones dinámicas, V'_D

3.2.1 Cálculo de la velocidad de diseño del viento para presiones dinámicas, V'_D

3.2.1.1 Para el caso de los efectos dinámicos del viento sobre una estructura del Tipo 2 o 3, se empleará la velocidad media de viento asociada a un intervalo de medición de 10 minutos. Esta velocidad media se obtendrá de acuerdo con:

$$V'_D = F_T F'_{rz} V_R \tag{3.2.1.1.1}$$

3.2.1.2 Los factores para el cálculo de la ec. 3.2.1.1.1, V_R y F_T , se tomarán de 3.1.2.1 y 3.1.4.1, respectivamente. El factor F'_{rz} se define en 3.2.2.1. Este último factor depende del intervalo de la velocidad media del viento.

Comentario:

La velocidad de diseño para estimar las presiones dinámicas se asocia con un intervalo de medición de 10 minutos o 600 segundos. Lo anterior se debe a que las diferentes metodologías para el cálculo de la respuesta dinámica que se ha incluido en diversos códigos internacionales se asocian con velocidades medias con un intervalo de medición de 10 minutos. Por facilidad, el factor que convierte la velocidad de ráfaga de tres segundos a velocidad media con tiempo de medición de 10 minutos se incluye en el factor de exposición F'_{rz} , que se presenta en 3.2.2.1.

3.2.2 Factor de exposición local para la velocidad media del viento, F'_{rz}

3.2.2.1 Este factor considera el efecto combinado de las características de rugosidad local y de la variación de V'_D con la altura z , y se obtiene con:

$$F'_{rz} = 0.702\bar{b}; \quad \text{si } z \leq 10 \text{ m} \quad (3.2.2.1.1.a)$$

$$F'_{rz} = 0.702\bar{b} (z/10)^{\alpha'}; \quad \text{si } 10 \text{ m} < z \leq \delta \quad (3.2.2.1.1.b)$$

$$F'_{rz} = 0.702\bar{b} (\delta/10)^{\alpha'}; \quad \text{si } z \geq \delta \quad (3.2.2.1.1.c)$$

3.2.2.2 Los valores de los parámetros \bar{b} y α' dependen de las condiciones de rugosidad o categoría del terreno y sus valores se tomarán de la tabla 3.2.2.2.1.

Tabla 3.2.2.2.1 - Parámetros \bar{b} y α' , según la categoría del terreno

Categoría del terreno	\bar{b}	α'
R1	1.17	0.10
R2	1.00	0.14
R3	0.82	0.19
R4	0.61	0.26

Comentario:

El factor 0.702, empleado en las ecuaciones 3.2.2.1.1 para definir F'_{rz} , se utiliza para transformar la velocidad regional asociada con un tiempo de medición de 3 s a uno de 10 minutos, a 10 m de altura sobre el terreno natural.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

4. DISEÑO DE ELEMENTOS DE RECUBRIMIENTO

4.1 Coeficientes de presión para elementos de recubrimiento

4.1.1 Presiones en elementos de recubrimiento

4.1.1.1 Se diseñarán con los criterios establecidos en este capítulo los elementos que no forman parte de la estructura principal y los que no contribuyen a la resistencia de la estructura ante la acción del viento, así como los que tienen por función recubrir la estructura. Cada elemento se diseñará para las presiones, tanto positivas (empujes) como negativas (succiones) que correspondan a la dirección más desfavorable del viento, calculadas con las ecuaciones presentadas en 5.1.

4.1.2 Coeficientes de presión exterior para edificios regulares cuya altura es mayor o igual que 20 m

4.1.2.1 Se usarán los coeficientes de presión exterior de la tabla 4.1.2.1.1 para elementos ubicados en edificios de más de 20 m de altura. La fig. 4.1.2.1.1 muestra las zonas de afectación del viento.

Tabla 4.1.2.1.1 - Coeficientes de presión exterior para elementos de recubrimiento en edificios cuya altura es mayor o igual que 20 m

Zona	Efecto	Coefficiente de presión, C_{pe}
1	succión	$-1.1 < 0.54 \log_{10}(A) - 1.54 < -0.75$
	empuje	$0.8 < -0.5 \log_{10}(A) + 1.60 < 1.1$
2	succión	$-2 < 1.07 \log_{10}(A) - 3.58 < -1.3$
	empuje	$0.8 < -0.6 \log_{10}(A) + 1.86 < 1.2$
3	succión	$-2.0 + 0.3 \log_{10}(A) < -2.0$
4	succión	$-2.5 + 0.3 \log_{10}(A) < -2.0$
5	succión	$-4 + 0.9 \log_{10}(A) < -2.5$

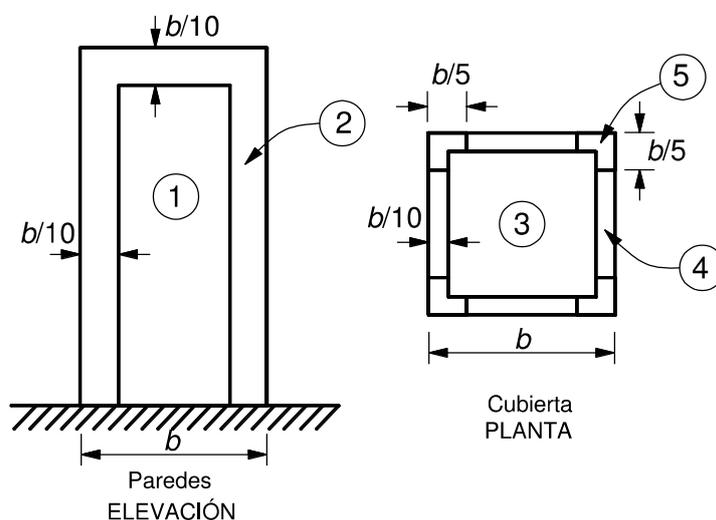


Figura 4.1.2.1.1 - Elementos de recubrimiento en edificios con $H \geq 20$ m

Comentario:

Las expresiones para calcular los coeficientes de presión exterior que se muestran en la tabla 4.1.2.1.1 fueron modificadas para mostrar con mayor precisión la variación de C_{pe} con respecto al área tributaria (A). Los límites superior e inferior de C_{pe} no fueron modificados, con respecto a la versión previa de la NTC-Viento.

La fig. 4.1.2.1.1 representa el caso ideal de un edificio con geometría prismática, en donde los recubrimientos resultan también en una geometría regular; sin embargo, el empleo de fachadas con geometrías no regulares es

frecuente en la práctica. Como complemento a la fig. 4.1.2.1.1, para diseño de componentes de recubrimientos en muros y azoteas se presenta la fig. C4.1.2.1 como guía para determinar las zonas de presión y succión en plantas no rectangulares. En plantas con ángulos internos menores que 135° , la zona 2 en los muros y la zona 5 en la azotea deben ser consideradas. También, en salientes con valores de $x > b/10$, la zona 2 en los muros y la zona 5 en la azotea deben ser consideradas. Para el cálculo de $b/10$, la planta del edificio debe estar contenida en un rectángulo, siendo b el lado menor del mismo.

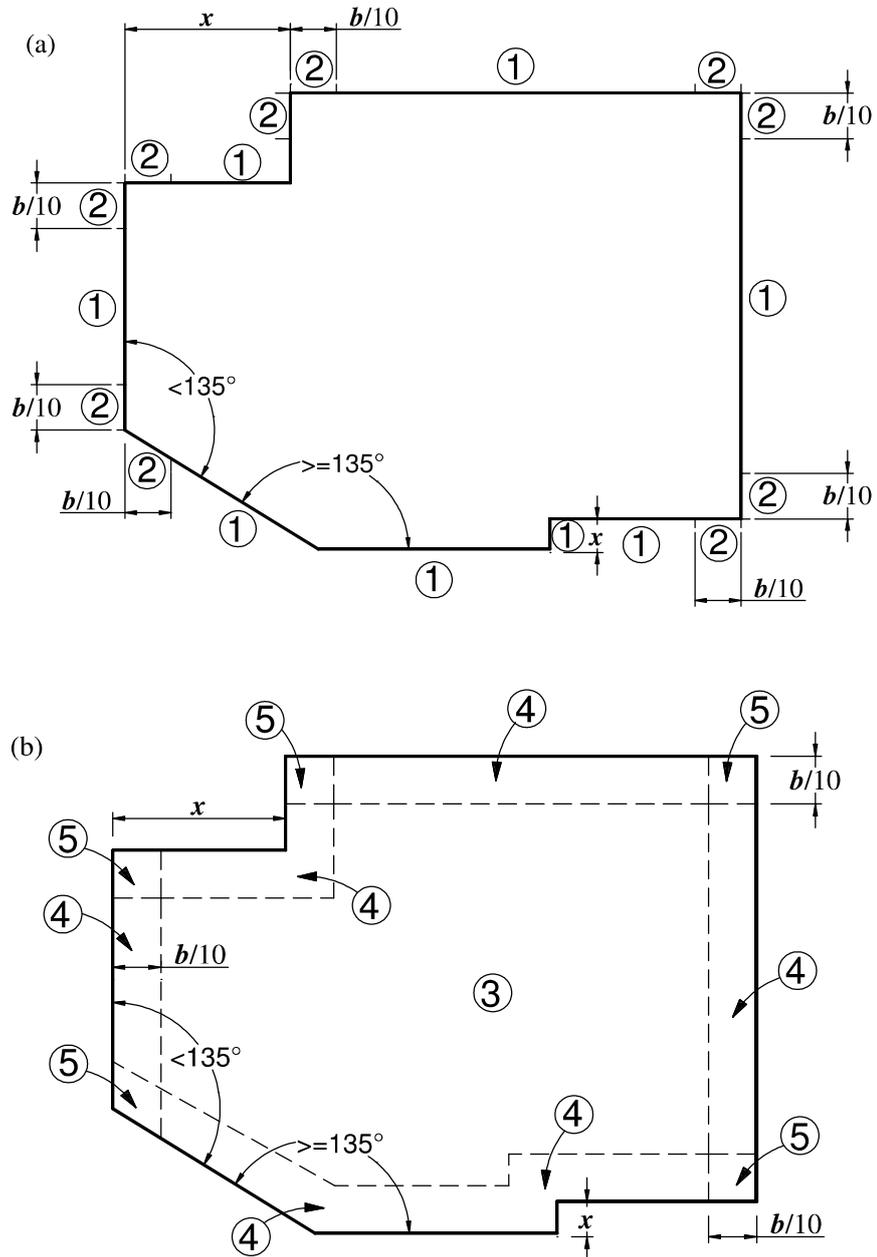


Figura C4.1.2.1 - Definición de zonas de presión para elementos de recubrimiento en fachadas con geometría no regular (adaptada de ASCE 7 (2022)): (a) Muros; (b) Azoteas

4.1.3 Edificios regulares cuya altura es menor que 20 m

4.1.3.1 Se usarán los coeficientes de presión exterior de la tabla 4.1.3.1.1 para los elementos de recubrimiento que se encuentran en edificios de altura menor que 20 m. La fig. 4.1.3.1.1 muestra las zonas de afectación del viento.

Tabla 4.1.3.1.1 - Coeficientes de presión exterior para elementos de recubrimiento en edificios cuya altura es menor que 20 m

Zona	Efecto	Coefficiente de presión, C_{pe}
1	succión	$0.54 \log_{10}(A) - 2.00 < -1.1$
	empuje	$0.8 < -1.29 \log_{10}(A) + 3.17 < 1.5$
2	succión	$0.20 \log_{10}(A) - 1.4 < -1.2$
3	succión	$\log_{10}(A) - 3.0 < -2.0$
4	succión	$0.20 \log_{10}(A) - 1.4 < -1.2$
	empuje	$-0.20 \log_{10}(A) + 1.3 > 1.1$
5	succión	$0.30 \log_{10}(A) - 1.7 < -1.4$
	empuje	$-0.20 \log_{10}(A) + 1.3 > 1.1$

Para $0 \leq \theta \leq 30^\circ$

Para $\theta > 30^\circ$

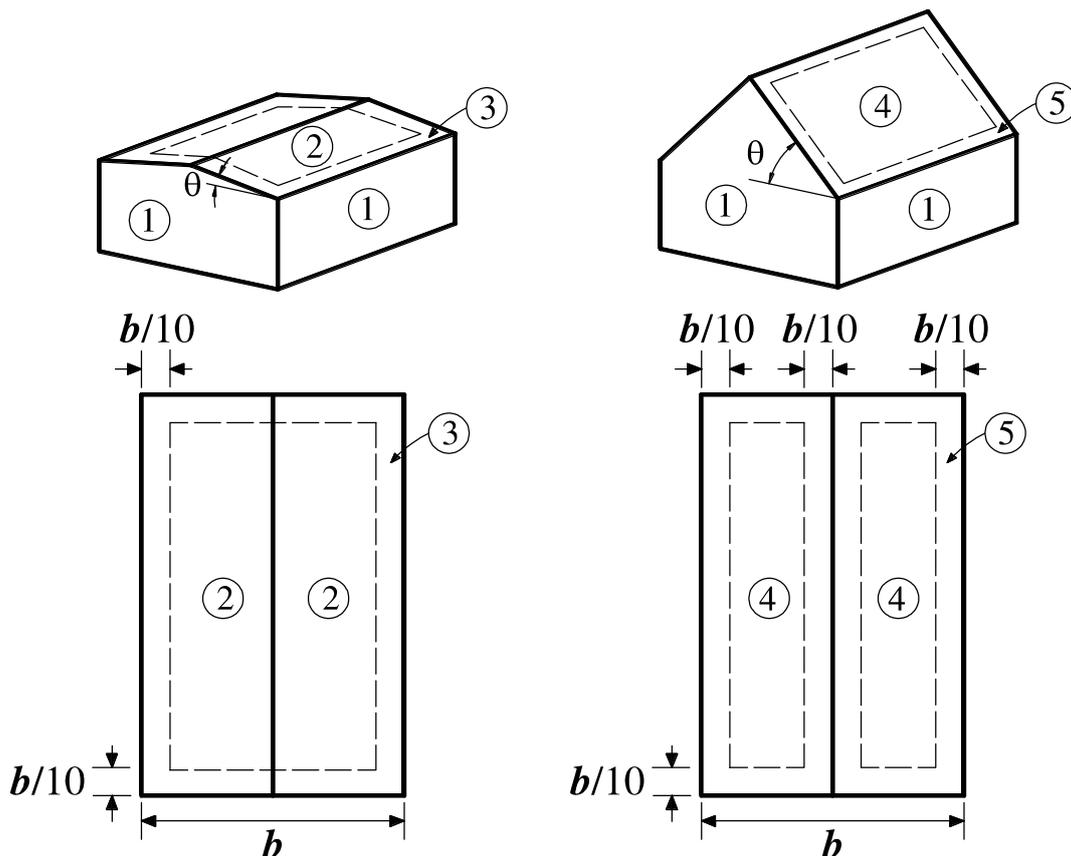


Figura 4.1.3.1.1 - Elementos de recubrimiento en edificios con $H < 20$ m

Comentario:

Las expresiones para calcular los coeficientes de presión exterior que se muestran en la tabla 4.1.3.1.1 fueron modificadas para mostrar con mayor precisión la variación de C_{pe} con respecto al área tributaria (A). Los límites superior e inferior de C_{pe} no fueron modificados con respecto a la versión previa de las NTC-Viento.

4.1.4 Cubiertas en arco

4.1.4.1 Se usarán los factores para obtener los coeficientes de presión exterior de la tabla 4.1.4.1.1 para los elementos de recubrimiento que se encuentren en cubiertas de arco, de acuerdo con las zonas de afectación del viento de la fig. 4.1.4.1.1. Estos factores deberán multiplicarse por los valores de coeficientes de presión indicados en las tablas 5.2.1.2.1 a 5.2.1.2.4.

Tabla 4.1.4.1.1 - Factores para obtener los coeficientes de presión exterior para elementos de recubrimiento en cubiertas de arco

Zona	Efecto	Área tributaria		
		10	25	100
1	succión	3	2.7	2.4
	empuje	2.25	2.025	1.8
2, 3	succión	3	2.7	2.4

Para valores intermedios de área tributaria, los factores pueden interpolarse linealmente. Al aplicar los factores de la tabla, el límite negativo de los coeficientes de presión para elementos de recubrimiento de cubiertas en arco para las Zonas 2 y 3 será de -3.0.

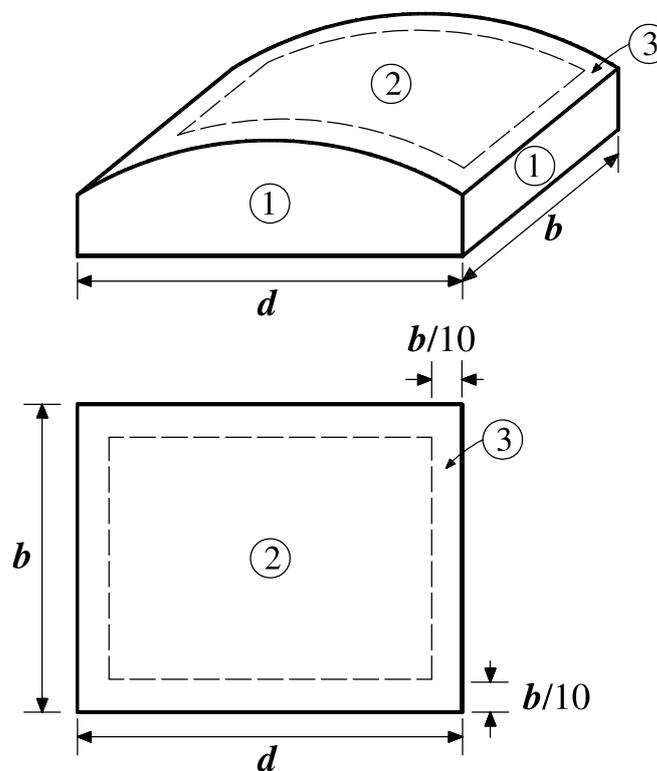


Figura 4.1.4.1.1 - Elementos de recubrimiento en cubiertas en arco

4.2 Coeficiente de presión interior para diseño de elementos de recubrimiento

4.2.1 Se considerarán los efectos de las presiones interiores, calculadas como se indica en 5.1.1, para construcciones en cuyas paredes puede haber aberturas que abarquen más de 30 por ciento de la superficie. Cuando este porcentaje no exceda de 30 por ciento se considerará para el diseño de los elementos de recubrimiento un coeficiente de presión interior, C_{pi} , de ± 0.25 .

Comentario:

Los signos más y menos del coeficiente de presión interna para recubrimientos significan presiones actuando hacia y desde las superficies internas, respectivamente. Las presiones internas son aplicadas de manera constante a todas las superficies internas y se deberá seleccionar la combinación de ellas que resulte más desfavorable. La presión interna se calculará para un nivel z igual a la altura del edificio.

4.3 Espesor y deflexión de vidrio recocido en fachadas

4.3.1 Cálculo de espesor mínimo de vidrio para construcciones menores que 10 m

4.3.1.1 Para el cálculo del espesor de vidrio recocido se considerarán las hipótesis siguientes y la fig. 4.3.1.1.1, en caso de que estas hipótesis no se cumplan, se podrán emplear procedimientos experimentales o analíticos para calcular el espesor mínimo de vidrio; la adopción de estos resultados deberá ser aprobada por el Instituto.

- El panel de vidrio se encuentra en posición vertical
- La carga de viento actúa perpendicularmente al plano del vidrio
- El vidrio se encuentra apoyado en sus cuatro borde
- La relación de aspecto (a/b) debe ser menor que 1.5
- El área máxima del panel de vidrio no será mayor que 4 m^2
- La carga es de corta duración (3 s), como la de viento.

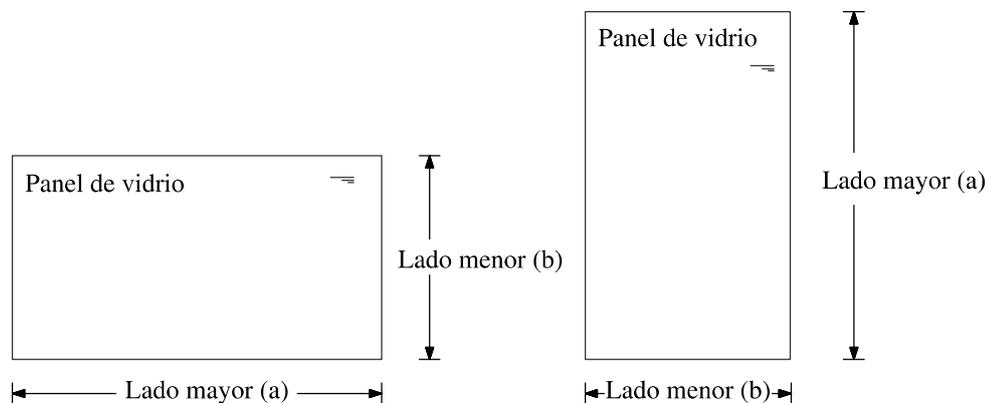


Figura 4.3.1.1.1 - Geometría de una placa de vidrio recocido

4.3.1.2 El espesor del vidrio recocido, t , se calculará con:

$$t = 0.1179 \sqrt{S \cdot |p_z|} \quad (4.3.1.2.1)$$

Comentario:

La expresión 4.3.1.2.1 fue adoptada de la norma NMX-R-060-SCFI. Para verificar su empleo, se realizaron comparaciones con expresiones provistas en el código canadiense CAN/CGSB 12.20-M89 (1989) y la norma ASTM E 1300-04 (2004). La comparación indicó que el empleo de la ecuación 4.3.1.2.1 es adecuado para la determinación del espesor de vidrio recocido, bajo las hipótesis indicadas en 4.3.1.1. La presión p_z que se emplea en la ec. 4.3.1.2.1 se calcula con las ecuaciones presentadas en 5.1, empleando los coeficientes de presión para elementos de recubrimiento del capítulo 4.

4.3.2 Cálculo de deflexión máxima en vidrio recocido

4.3.2.1 La deflexión máxima (w) en vidrio recocido se calculará de acuerdo con las ecuaciones de la tabla 4.3.2.1.1.

Tabla 4.3.2.1.1 - Expresiones para el cálculo de la deflexión máxima en vidrio recocido

Ecuación	Condición
$w = t \exp(r_0 + r_1 X + r_2 X^2)$	$w \leq \frac{b}{60}$ 6 $w \leq 19 \text{ mm}$ la que resulte más desfavorable
$X = \ln \left\{ \ln \left[\frac{p_z \cdot (ab)^2}{Et^4} \cdot 10^{-6} \right] \right\}$	Se empleará el valor absoluto de p_z
$r_0 = 0.553 - 3.83 \left(\frac{a}{b}\right) + 1.11 \left(\frac{a}{b}\right)^2 - 0.069 \left(\frac{a}{b}\right)^3$	
$r_1 = -2.29 + 5.83 \left(\frac{a}{b}\right) - 2.17 \left(\frac{a}{b}\right)^2 + 0.2067 \left(\frac{a}{b}\right)^3$	
$r_2 = 1.485 - 1.908 \left(\frac{a}{b}\right) + 0.815 \left(\frac{a}{b}\right)^2 - 0.0822 \left(\frac{a}{b}\right)^3$	

Comentario:

El procedimiento para el cálculo de la deflexión (w) fue adoptado de la norma NMX-R-060-SCFI. Para verificar su empleo, se realizaron comparaciones con expresiones provistas en el código canadiense CAN/CGSB 12.20-M89 (1989) y la norma ASTM E 1300-04 (2004). La comparación indicó que el procedimiento propuesto es adecuado para la determinación de la deflexión de vidrio recocido, bajo las hipótesis indicadas en 4.3.1.1. La presión p_z que se emplea en el procedimiento propuesto se calcula con las ecuaciones presentadas en el inciso 5.1, empleando los coeficientes de presión para elementos de recubrimiento del capítulo 4.

Para el análisis y diseño estructural de una fachada al menos se deberán considerar las cargas de peso propio, viento, sismo y los efectos de temperatura. También deberán considerarse los desplazamientos verticales de los elementos estructurales a los cuales se sujeta la fachada, distorsiones de entrepiso y el posible impacto de proyectiles debidos al viento. En relación con el posible impacto de proyectiles, aunque éste es más probable de ocurrir en zonas costeras, deberá tomarse en cuenta cuando lo amerite. La norma ASTM E1996 – 17 (2017) ofrece un procedimiento de diseño para el impacto de proyectiles debido a los efectos del viento.

Para caracterizar las cargas debidas al viento en la fachada, se deberán aplicar los procedimientos indicados en el capítulo 4. Cuando los procedimientos para el cálculo de las cargas de viento no sean aplicables, se deberán realizar pruebas en túnel de viento para determinar las cargas del viento sobre la fachada.

Debido a que la mayoría de los paneles de fachada se colocan de forma vertical (fachadas prefabricadas de cristal y aluminio, fachadas prefabricadas de concreto, paneles de fibra de vidrio (Glass Fiber Reinforced Concrete)) y similares, no se consideran cargas vivas en el diseño, salvo por algunas excepciones como barandales y fachadas especiales en donde el ingeniero responsable lo considere pertinente. La aplicación de cargas sobre la fachada debe considerar las combinaciones y factores de carga especificados en las NTC-Criterios.

Cuando los elementos de fachada no formen parte del sistema estructural, éstos deben considerarse como apéndices. En tal sentido, se deben estimar los efectos sísmicos inerciales provocados por el peso de panel de fachada en las anclas, así como las distorsiones de entrepiso. También se deben estimar las holguras necesarias en la estructura de fachada para poder acomodar los cambios geométricos de sus componentes debido a los gradientes de temperatura. Además, durante el diseño de la fachada deben considerarse las deformaciones a corto y largo plazo de los elementos estructurales como losas y trabes de borde de los cuales se sujeta la fachada.

Las condiciones de apoyo de las fachadas deberán asegurar la estabilidad de los paneles. Algunas configuraciones típicas de apoyos se ilustran en las figs. C4.3.2.1 y C4.3.2.2.

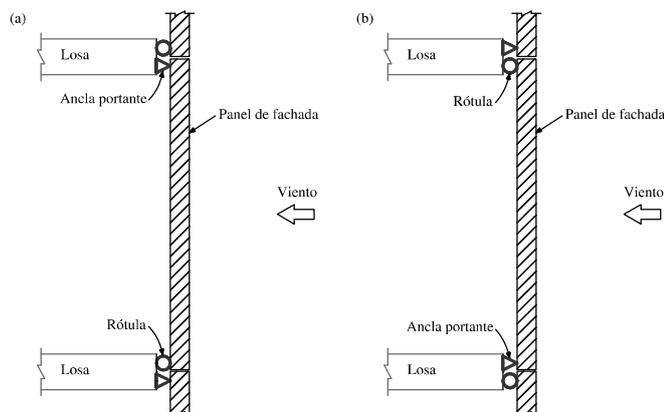


Figura C4.3.2.1 Configuración de paneles por fuera de losa: (a) anclas portantes superiores; (b) anclas portantes inferiores

No se recomienda que ambos extremos de los paneles queden restringidos totalmente a movimientos verticales en vista que los desplazamientos verticales y horizontales de los elementos estructurales del edificio, así como los efectos de temperatura, pueden generar esfuerzos de tracción o flexo-compresión más allá de las solicitaciones con las cuales han sido diseñados. Se debe dejar un ancla portante (peso propio y viento) y un ancla de viento, como se observa en las figs. C4.3.2.1 y C4.3.2.2.

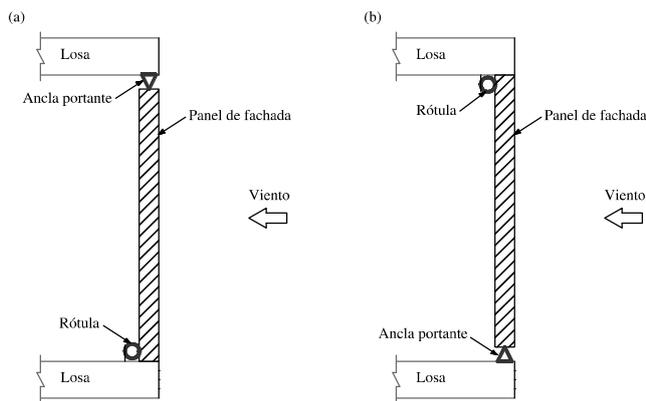


Figura C4.3.2.2 Fachadas de piso a techo: (a) anclas portantes superiores; (b) anclas portantes inferiores

En los sistemas tipo muro cortina, la fachada se ubica por fuera del paño de losa. En su extremo superior los paneles se sujetan a las losas o traves de borde mediante diversos tipos de anclas, quedando colgados, mientras que en su extremo inferior se le da continuidad al sistema para resistir las cargas de viento a través de una rótula, como lo muestra la fig. C4.3.2.3. Esta rótula, libera totalmente este punto de momento y únicamente transmite, de un módulo a otro, los cortantes provocados por la acción del viento. La fig. C4.3.2.3 también corresponde a muros tapón o no estructurales que sirven de cerramiento y fachada para determinadas edificaciones. Estos muros deben desligarse adecuadamente de la estructura, evitando que ésta le transmita cualquier otro tipo de carga.

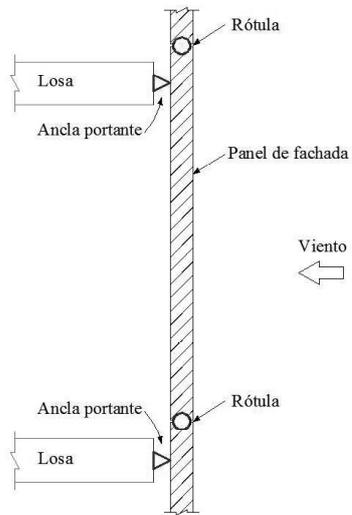


Figura C4.3.2.3 Fachada tipo muro cortina

En la fig. C4.3.2.4 se aprecia la configuración típica de módulos de fachada tipo faldón en donde, tanto el ancla portante como el ancla de viento, se fijan al mismo elemento resistente de borde.

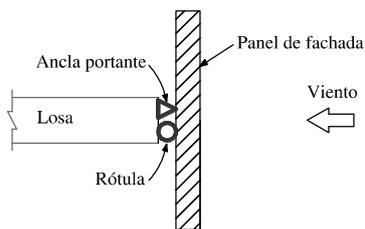


Figura C4.3.2.4 Fachada tipo faldón

Espacio en blanco dejado de manera intencional

5. EMPUJES ESTÁTICOS PARA DISEÑO POR VIENTO

5.1 Determinación de la presión estática para diseño por viento

5.1.1 La presión estática para diseño que ejerce el flujo de viento sobre una construcción se obtiene tomando en cuenta su forma y está dada de manera general por:

a) Construcciones cerradas
$$p_z = p_e - p_i \tag{5.1.1.1.a}$$

b) Construcciones abiertas
$$p_z = p_n \tag{5.1.1.1.b}$$

5.1.2 Las presiones exteriores e interiores para las construcciones se determinarán con:

a) Construcciones cerradas
$$p_e = 0.52 C_{pe} V_D^2 \tag{5.1.2.1}$$

$$p_i = 0.52 C_{pi} V_D^2 \tag{5.1.2.2}$$

b) Construcciones abiertas
$$p_n = 0.52 C_{pn} V_D^2 \tag{5.1.2.3}$$

5.1.3 Los coeficientes de presión exterior, interiores y netos para el caso de empujes estáticos, se determinarán según el tipo y forma de la construcción, de acuerdo con las siguientes secciones.

Comentario:

En las ecuaciones (5.1.2.1), (5.1.2.2) y (5.1.2.3) se incluye el coeficiente 0.52. Este valor proviene de calcular el producto $\frac{1}{2} \times \rho$ (i.e., un medio por la densidad del aire). De acuerdo con los parámetros de temperatura y presión barométrica, representativos del clima de la Ciudad de México, la densidad del aire calculada es igual a 1.03 kg/m³. Esta corrección de la densidad del aire tiene como finalidad reflejar de mejor manera las características del clima de la Ciudad de México en el cálculo de presiones. Por lo que su empleo en otras entidades federativas no es aplicable. El producto $\frac{1}{2} \times \rho \times V_D^2$ (i.e., 0.52 x V_D^2) es definido como presión dinámica de base, q_z .

5.2 Coeficientes de presión

5.2.1 Edificios y construcciones cerradas

5.2.1.1 Para el cálculo de la presión de diseño para edificios y construcciones cerradas se emplearán los coeficientes de presión exterior de la tabla 5.2.1.1.1.

Tabla 5.2.1.1.1 - Coeficientes de presión exterior para edificios y construcciones cerradas

Zona de afectación	C_{pe}
Pared de barlovento	0.8
Pared de sotavento	-0.4
Paredes laterales	-0.8
Techos planos	-0.8
Techos inclinados lado de sotavento	-0.7
Techos inclinados lado de barlovento	-1.0 para $0^\circ < \theta < 20^\circ$ -1.0 < 0.05 θ - 2.0 < 0.5 θ para $20^\circ < \theta < 50^\circ$

La succión se considerará constante en toda la altura de la pared de sotavento, muros laterales y cubierta, y se calculará para un nivel z igual a la altura del edificio. θ es el ángulo de inclinación del techo en grados, como se muestra en la fig. 5.2.1.1.1.

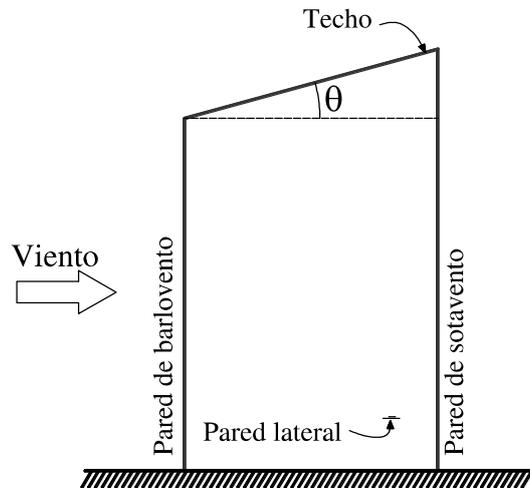


Figura 5.2.1.1.1 - Ángulo de inclinación en techos inclinados lado de barlovento

5.2.1.2 Para el cálculo de la presión de diseño de edificios y construcciones cerradas con cubierta circular y domos, desplantados sobre muros o sobre el terreno natural, se emplearán los coeficientes de presión externa de las tablas 5.2.1.2.1, 5.2.1.2.2, 5.2.1.2.3 y 5.2.1.2.4.

Tabla 5.2.1.2.1 - Coeficientes de presión exteriores para edificios y construcciones cerradas con cubierta de arco circular o domo. Viento normal a la cumbre, $\theta = 0^\circ$

Relación r_c/d	Caso	C_{pe}				
		Zona barlovento (B)	Zona central (C)	Zona sotavento (S)		
0.09	1	$-(0.20 + 0.40 \bar{h}/r_c)(b/d)^{0.25}$	$-(0.55 + 0.20 \bar{h}/r_c)(b/d)^{0.25}$	$-(0.40 + 0.20 \bar{h}/r_c)(b/d)^{0.25}$		
	2	0.00		0.00		
0.20	1	$(0.30 - 0.40 \bar{h}/r_c)(b/d)^{0.25}$		$-(0.55 + 0.20 \bar{h}/r_c)(b/d)^{0.25}$	$-(0.25 + 0.20 \bar{h}/r_c)(b/d)^{0.25}$	
	2	0.00			0.00	
0.50	1	$(0.50 - 0.40 \bar{h}/r_c)(b/d)^{0.25}$			$-(0.55 + 0.20 \bar{h}/r_c)(b/d)^{0.25}$	$-(0.10 + 0.20 \bar{h}/r_c)(b/d)^{0.25}$
	2	0.00				0.00

Los parámetros que se emplean en esta tabla se ilustran en la fig. 5.2.1.2.1; \bar{h} es la altura de referencia de la cubierta y r_c es la altura de la cumbre como se muestra en la fig. 5.2.1.2.1 Si $b/d < 1$, 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, se tomará $b/d = 1$. Para valores intermedios de relación altura-claro, r_c/d , los valores de C_{pe} pueden interpolarse linealmente; para $\bar{h}/r_c > 2$, se usará la tabla 5.2.1.2.1 considerando $\bar{h}/r_c = 2$. Para $r_c/d < 0.09$, se usarán los coeficientes de la tabla 5.2.1.1.1 considerando los casos de techos inclinados lado de barlovento (B) y techos inclinados lado de sotavento (S), cuyas longitudes de afectación se considerarán iguales a $d/2$, sin incluir la zona central (C).

Tabla 5.2.1.2.2 - Coeficientes de presión exteriores para edificios y construcciones cerradas con cubierta de arco circular o domo. Viento paralelo a la cumbrera, $\theta = 90^\circ$

Relación \bar{h}/d	Distancia horizontal sobre el techo medida a partir de la arista superior del muro de barlovento	C_{pe}	
		Caso 1	Caso 2
≤ 0.5	0 a $0.5\bar{h}$	-0.90	-0.40
	$0.5\bar{h}$ a $1\bar{h}$	-0.90	-0.40
	$1\bar{h}$ a $2\bar{h}$	-0.50	0.00
	$2\bar{h}$ a $3\bar{h}$	-0.30	0.10
	$> 3\bar{h}$	-0.20	0.20
> 0.5	0 a $0.5\bar{h}$	-1.30	-0.60
	$0.5\bar{h}$ a $1\bar{h}$	-0.70	-0.30
	$1\bar{h}$ a $2\bar{h}$	-0.70	-0.30
	$2\bar{h}$ a $3\bar{h}$	-0.70	-0.30
	$> 3\bar{h}$	-0.70	-0.30

Los casos 1 y 2 se deben analizar de manera independiente y se debe seleccionar la condición más crítica para el diseño.

Tabla 5.2.1.2.3 - Coeficientes de presión exteriores para muros de barlovento y sotavento de construcciones con planta rectangular cerrada

Muro	Dirección del viento	Ángulo formado por la secante del arco que une el punto de la cumbrera con el punto de arranque (γ)	b/d	C_{pe}
Barlovento	Normal ($\theta = 0^\circ$) o paralelo ($\theta = 90^\circ$) a la cumbrera	Cualquiera	Cualquiera	0.8
Sotavento	Normal ($\theta = 0^\circ$) a la cumbrera	$0 < \gamma < 10^\circ$	< 1	-0.5
			2	-0.3
			> 4	-0.2
	Paralela ($\theta = 90^\circ$) a la cumbrera		< 1	-0.5
			2	-0.3
			> 4	-0.2

Para valores intermedios de d/b , los valores del coeficiente pueden interpolarse. Si no se especifican valores de coeficiente para alguno de los parámetros mostrados en la tabla, éstos deben definirse con base en pruebas experimentales de túnel de viento.

Tabla 5.2.1.2.4 - Coeficientes de presión exteriores para muros laterales de construcciones con planta rectangular cerrada

Distancia horizontal a lo largo de un muro lateral, medido a partir de la arista común con el muro de barlovento	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

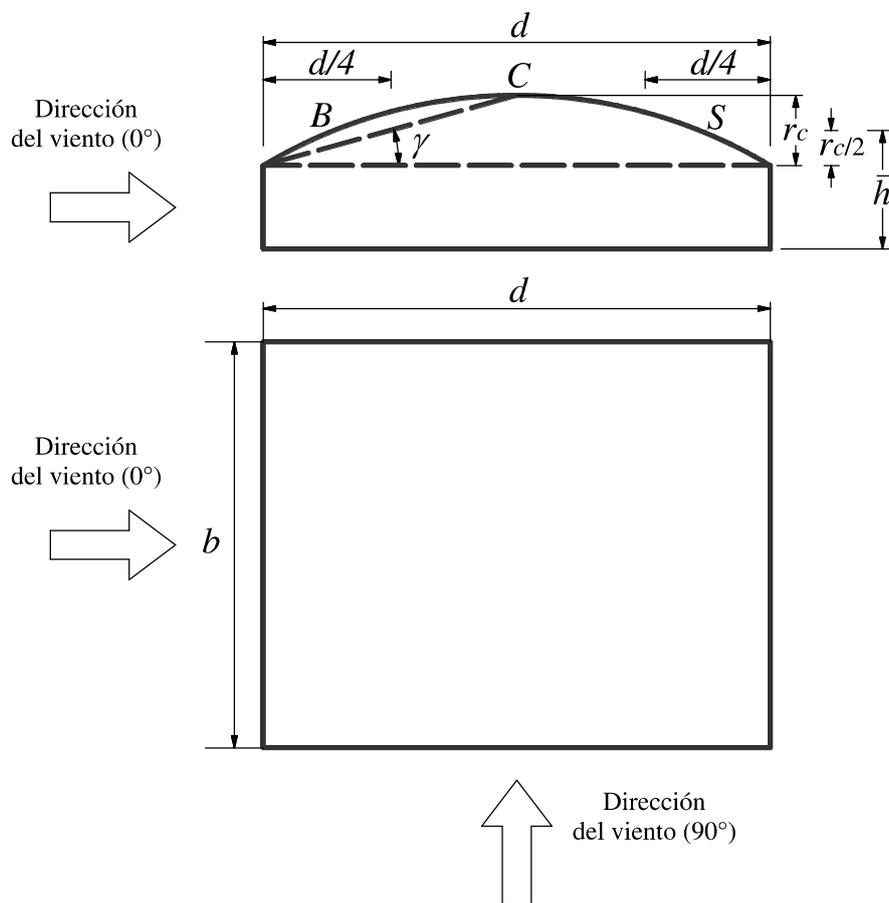


Figura 5.2.1.2.1 - Identificación de zonas en cubierta de arco circular

Comentario:

En versiones anteriores de las NTC-Viento, se indicaba que la succión de la pared de sotavento debía calcularse para un nivel z igual a la altura media del edificio. En esta versión, se actualiza esta información y se aclara que, para el muro de sotavento, los muros laterales y la cubierta, la succión se calculará para un nivel z igual a la altura del edificio.

5.2.2 Techos en voladizo sobre gradas, techos aislados y paneles solares sobre techos de edificios

5.2.2.1 Para techos en voladizo sobre gradas, la presión neta que actúa en dirección vertical a la del flujo del viento, p_{v1} y p_{v2} , se calculará con las ecuaciones de la tabla 5.2.2.1.1.

Tabla 5.2.2.1.1 - Ecuaciones empleadas para el cálculo de p_{v1} y p_{v2}

Ecuación	Condición
$p_{v1} = C_{pv1} C_{dv} q_z$	q_z se calculará para una altura z igual a \bar{h}
$p_{v2} = C_{pv2} C_{dv} q_z$	q_z se calculará para una altura z igual a \bar{h}
$C_{dv} = 1.0 + 0.5 \left[\left(\frac{V_D}{1 + 3.5 I_v(\bar{h})} \right) \left(\frac{1}{n_{1,z} L_v} \right) - 0.4 \right]$	Si el claro es mayor que 15 m; $\left(\frac{V_D}{1 + 3.5 I_v(\bar{h})} \right) \left(\frac{1}{n_{1,z} L_v} \right) > 0.40$ y $0.5 < n_{1,z} < 1$ Hz
$C_{dv} = 1.0$	Para todos los demás casos, excepto para $n_{1,z} < 0.5$ Hz en cuyo caso no aplican estas recomendaciones, debiéndose recurrir a pruebas en túnel de viento.
$I_v(\bar{h}) = \bar{d} \left(\frac{\bar{h}}{10} \right)^{-\alpha'}$	$\bar{h} \leq 200$ m

El parámetro α' es función de la rugosidad o categoría del terreno y su valor se presenta en la tabla 3.2.2.2.1. Valores del parámetro \bar{d} se presentan en la tabla 6.2.2.1.

5.2.2.2 Los coeficientes de presión neta para techos en voladizo sobre gradas se obtendrán de las tablas 5.2.2.2.1 y 5.2.2.2.2. La aplicación de la presión neta sobre el techo se hará de acuerdo con lo mostrado en la fig. 5.2.2.2.1.

Tabla 5.2.2.2.1 - Coeficiente de presión neta para techos en voladizo, C_{pv1} , y C_{pv2} , con inclinación de $-7^\circ < \gamma < 7^\circ$. Dirección de viento $\theta = 0^\circ$

Zona	Caso	$\bar{h}/L_v \leq 1.4$		$\bar{h}/L_v > 1.4$	
		C_{pv1}	C_{pv2}	C_{pv1}	C_{pv2}
Interior	1	-1.80	-1.10	-1.40	-1.40
	2	0.25	0.15	0.20	-0.15
Extrema	1	-1.30	-1.00	-1.90	-1.10
	2	0.55	0.65	0.20	0.00

Cuando se presenten dos casos, deberá seleccionarse el que produzca las condiciones más desfavorables.

Tabla 5.2.2.2.2 - Coeficiente de presión neta para techos en voladizo, C_{pv1} , y C_{pv2} , para la relación $0.25 \leq \bar{h}/L_v \leq 1$. Dirección de viento $\theta = 180^\circ$

Caso	C_{pv1}	C_{pv2}
1	-0.80	-1.00
2	0.40	0.40

Cuando se presenten dos casos, deberá seleccionarse el que produzca las condiciones más desfavorables. Para techos con pendientes diferentes a las indicadas, puede realizarse interpolación lineal, la cual se llevará a cabo únicamente entre valores del mismo signo. Si los valores son de signo diferente, se interpolará con un valor de cero, adicionando los casos resultantes por considerar el valor de cero.

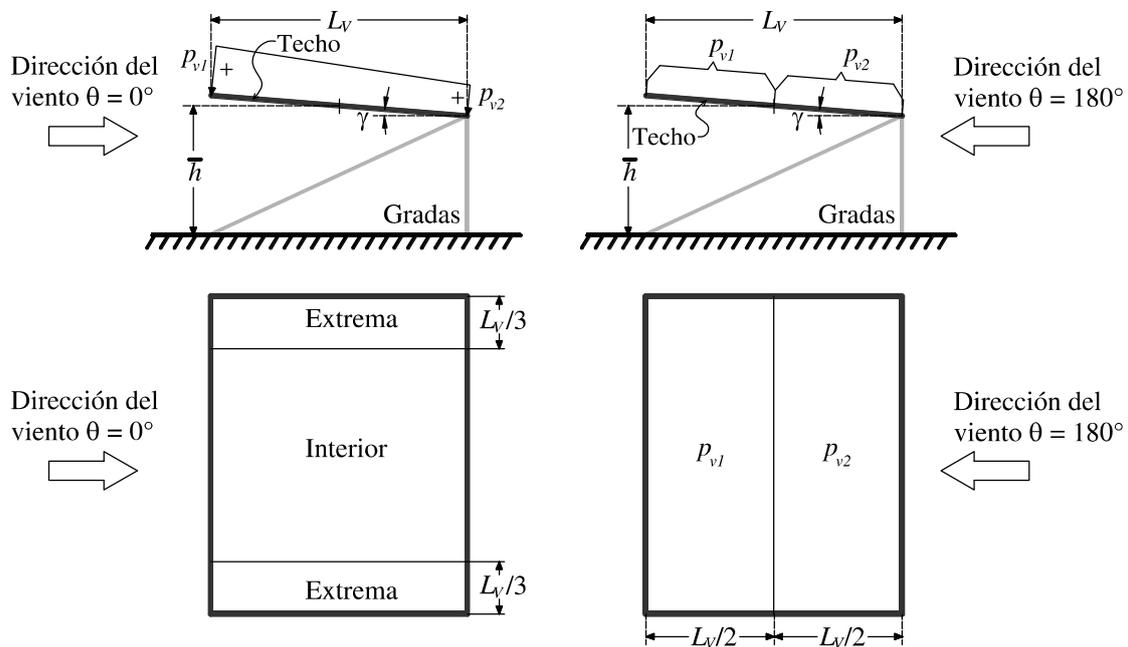


Figura 5.2.2.2.1 - Techo en voladizo sobre gradas

Comentario:

Para que el procedimiento indicado sea válido, este tipo de techos en voladizo no deben ser afectados por la interferencia de otras construcciones en los alrededores, por lo que no deben existir o ubicarse otras construcciones dentro de una distancia igual a 6 veces la altura del techo. De lo contrario, deberán realizarse pruebas en túnel de viento. Otras configuraciones de techos en voladizo incluyen aberturas entre éstos y las gradas, para techos con esta configuración, deberán realizarse pruebas en túnel de viento para definir los coeficientes de presión.

5.2.2.3 Para techos aislados rígidos en voladizo a una o dos aguas, los coeficientes de presión neta para la zona de barlovento y sotavento se obtendrán de las tablas 5.2.2.3.1, 5.2.2.3.2, 5.2.2.3.3 y 5.2.2.3.4. La presión neta sobre el techo se calculará a la altura \bar{h} , y su aplicación se hará de acuerdo con lo mostrado en la figs. 5.2.2.3.1 y 5.2.2.3.2.

Tabla 5.2.2.3.1 - Coeficiente de presión neta en techos aislados a un agua para $0.25 \leq \bar{h}/d \leq 1$

Dirección del viento (θ)	Pendiente del techo (γ)	Caso	C_{pn}			
			Libre debajo		Obstruido debajo	
			Barlovento	Sotavento	Barlovento	Sotavento
0°	0°	1	-0.30	-0.40	-1.00	-0.80
		2	0.40	0.00	0.40	0.40
	15°	1	-1.00	-0.60	-1.50	-1.00
		2	-1.00	0.00	-1.50	0.20
	30°	1	-2.20	-1.10	-2.70	-1.30
		2	-2.20	-0.20	-2.70	0.00
180°	0°	1	-0.30	-0.40	-1.00	-0.80
		2	0.40	0.00	0.40	0.40
	15°	1	0.80	0.40	0.80	-0.20
		1	1.60	0.80	1.60	0.00

Con el fin de obtener valores intermedios para techos con pendientes diferentes a las indicadas, puede realizarse una interpolación lineal, la cual se llevará a cabo únicamente entre valores del mismo signo. Si no hay valores del mismo signo, se interpolará con un valor de cero, adicionando los casos resultantes por considerar el valor de cero. "Libre debajo" significa que las mercancías o materiales almacenados bajo el techo bloquean menos del 50% del área de la sección transversal expuesta al viento. "Obstruido debajo" significa que el 75% o más del área de la sección transversal se encuentra obstruida. Con el fin de obtener valores intermedios para techos con porcentajes de obstrucción entre 50% y 75%, puede realizarse una interpolación lineal, la cual se llevará a cabo únicamente entre valores del mismo signo. Si no hay valores del mismo signo, se interpolará con un valor de cero, adicionando los casos resultantes por considerar el valor de cero. Cuando se proporcionen dos casos, deberá seleccionarse el que produzca las condiciones más desfavorables.

Tabla 5.2.2.3.2 - Coeficiente de presión neta en zonas de techos aislados a un agua con $0.05 \leq \bar{h}/d < 0.25$, para $\gamma \leq 5^\circ$ y $\theta = 0^\circ$ o 180° , o para todos los γ y $\theta = 90^\circ$

Pendiente del techo (γ) y dirección del viento (θ)	Distancia horizontal sobre el techo medida a partir de la arista de barlovento	C_{pn}		
		Caso	Libre debajo	Obstruido debajo
$\gamma \leq 5^\circ$ y $\theta = 0^\circ, 180^\circ$ o Cualquier valor de γ y $\theta = 90^\circ$	0 a $1\bar{h}$	1	-0.30	-1.00
		2	0.40	0.40
	$1\bar{h}$ a $2\bar{h}$	1	-0.40	-0.80
		2	0.00	0.40
	$> 2\bar{h}$	1	-0.20	-0.40
		2	0.20	0.20

Aplican las notas de la tabla 5.2.2.3.1. La distancia horizontal se identifica en la fig. 5.2.2.3.1.

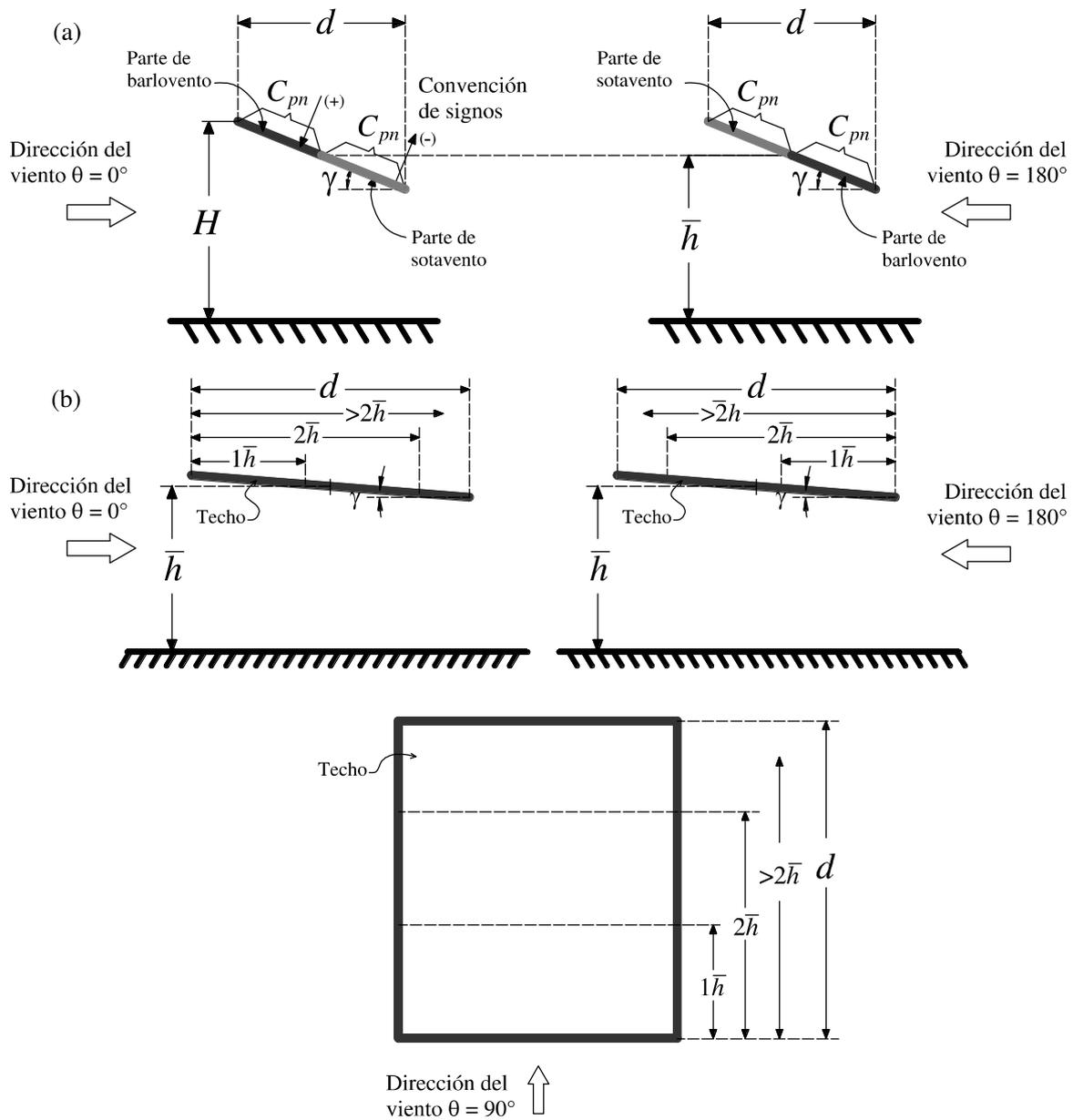


Figura 5.2.2.3.1 - Techos aislados a un agua: (a) $0.25 \leq \bar{h}/d \leq 1$, para $\theta = 0^\circ$ y 180° ; (b) $0.05 \leq \bar{h}/d < 0.25$, para $\gamma \leq 5^\circ$ y $\theta = 0^\circ$ o 180° , o para todos los valores de γ y $\theta = 90^\circ$

Tabla 5.2.2.3.3 - Coeficiente de presión neta en techos aislados a dos aguas para $0.25 \leq \bar{h}/d \leq 1$

Dirección del viento (θ)	Pendiente del techo (γ)	Caso	C_{pn}			
			Libre debajo		Obstruido debajo	
			Barlovento	Sotavento	Barlovento	Sotavento
0° y 180°	0° < γ ≤ 15°	1	-0.30	-0.40	-1.20	-0.90
		2	0.40	0.00		
	22.5°	1	-0.30	-0.60	-0.90	-1.10
		2	0.60	0.00		
		1	-0.30	-0.70	-0.50	-1.30
		2	0.80	0.00		

Cuando se proporcionen dos casos, deberá seleccionarse el que produzca las condiciones más desfavorables.

Tabla 5.2.2.3.4 - Coeficiente de presión neta en techos aislados invertidos para $0.25 \leq \bar{h}/d \leq 1$

Dirección del viento (θ)	Pendiente del techo (γ)	Caso	C_{pn}			
			Libre debajo		Obstruido debajo	
			Barlovento	Sotavento	Barlovento	Sotavento
0° y 180°	7.5°	1	-0.60		-0.70	-0.30
		2	0.40	0.30		
	15°	1	-0.60		-0.80	-0.20
		2	0.40	0.50		
	22.5°	1	-0.70		-1.00	-0.20
		2	0.30	0.70		
		1	-0.70		-1.20	-0.20
		2	0.30	0.90		

Cuando se proporcionen dos casos, deberá seleccionarse el que produzca las condiciones más desfavorables.

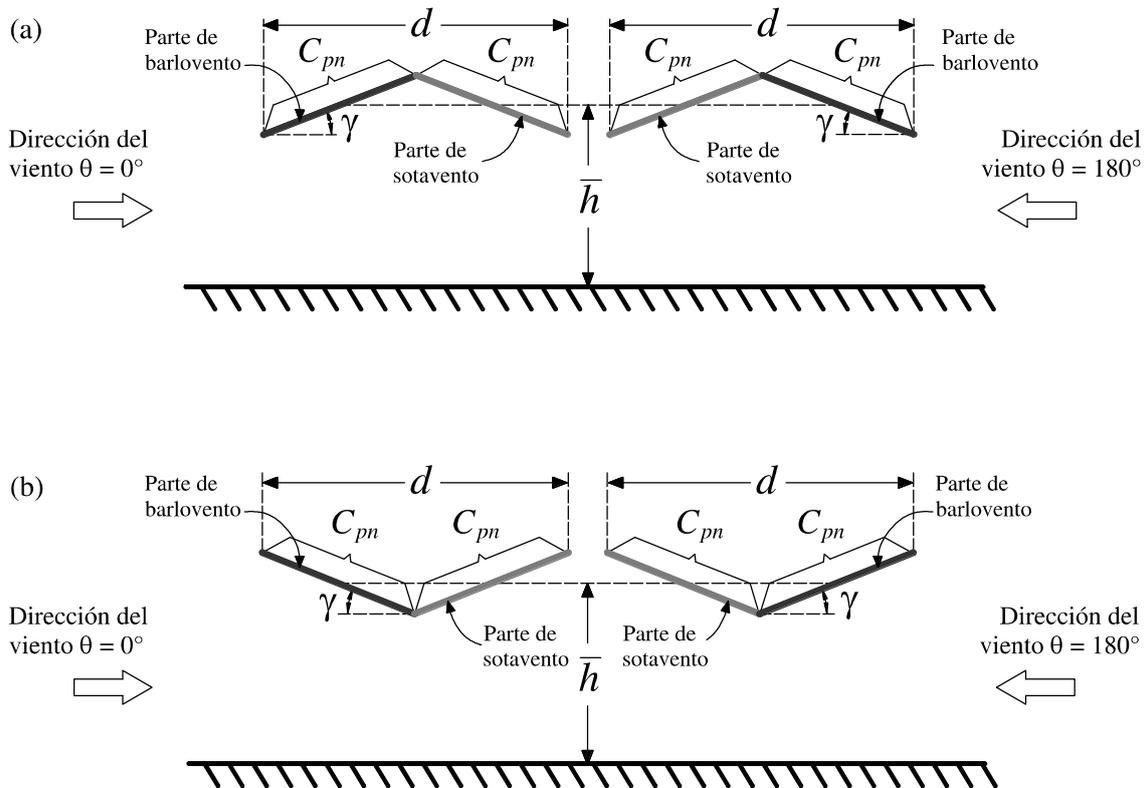


Figura 5.2.2.3.2 - Techos aislados: (a) techo a dos aguas; (b) techo invertido

Comentario:

Generalmente los techos aislados pueden estar apoyados en una o más columnas, éstas no se muestran en las figuras 5.2.2.3.1 y 5.2.2.3.2. Cuando existan muros que obstruyan el flujo del viento por debajo de los techos, se debe considerar el caso de "obstruido debajo". Cuando un techo aislado esté soportado por un solo apoyo (columna o muro) de tal manera que tenga un comportamiento de techo en voladizo, podrán aplicarse los coeficientes que aquí se señalan; el voladizo puede ser todo el techo o solamente una parte de él, dependiendo de la localización del apoyo; sin embargo, cuando el claro del voladizo exceda los 5 metros también se calcularán las presiones perpendiculares a la acción del viento, como se señala en 5.2.2.1, y se revisará su comportamiento ante esta condición adicional.

5.2.2.4 Para paneles solares apoyados sobre techos inclinados de edificios, ubicados paralelamente al plano del techo y sin obstrucciones debajo, los coeficientes de presión neta se obtendrán de las tablas 5.2.2.4.1 y 5.2.2.4.2. Las presiones resultantes actuarán, en todos los casos, perpendicularmente a la superficie de los paneles y se calcularán a la altura \bar{h} .

Espacio en blanco dejado de manera intencional

Tabla 5.2.2.4.1 - Coeficientes de presión neta, C_{pn} , para el sistema de paneles solares.
 $\bar{h}/d \leq 0.50$ y $\bar{h}/b \leq 0.50$. $5 \leq S_f \leq 30$ cm. Dirección del viento $\theta = 0^\circ$

Zona del techo	Caso	C_{pn}			
		$\gamma < 5^\circ$	$5^\circ \leq \gamma < 10^\circ$	$10^\circ \leq \gamma < 20^\circ$	$20^\circ \leq \gamma \leq 30^\circ$
Barlovento extrema	1	-1.70	-1.10	-1.10	-1.00
	2	0.40	0.80	0.60	0.60
Barlovento central	1	-1.40	-0.80	-0.70	-0.80
	2	0.50	0.50	0.30	0.30
Sotavento extrema	1	-1.30	-1.10	-1.40	-1.30
	2	0.50	0.50	0.40	0.50
Sotavento central	1	-1.40	-0.80	-1.00	-1.10
	2	0.50	0.40	0.40	0.40

Los casos de presiones negativas (succiones) son alternativos y no se aplican simultáneamente. La instalación del sistema de paneles puede provocar cambios en la presión externa del techo donde se instala el sistema debido a las reacciones que puede transmitir. Los valores del coeficiente de presión neta deberán emplearse de acuerdo con las zonas definidas en las figs. 5.2.2.4.1 y 5.2.2.4.2.

Tabla 5.2.2.4.2 - Coeficientes de presión neta, C_{pn} , para el sistema de paneles solares.
 $\bar{h}/d \leq 0.50$ y $\bar{h}/b \leq 0.50$. $5 \leq S_f \leq 30$ cm. Dirección del viento $\theta = 90^\circ$

Distancia horizontal sobre el techo medida a partir de la arista superior del muro de barlovento	Caso	C_{pn}	
		$\gamma < 5^\circ$	$5^\circ \leq \gamma \leq 30^\circ$
0 a $b/3$	1	-1.70	-1.70
	2	0.40	0.40
$b/3$ a $2b/3$	1	-1.40	-1.20
	2	0.50	0.50
$2b/3$ a b	1	-1.30	-1.10
	2	0.50	0.50

Aplican las notas de la tabla 5.2.2.4.1.

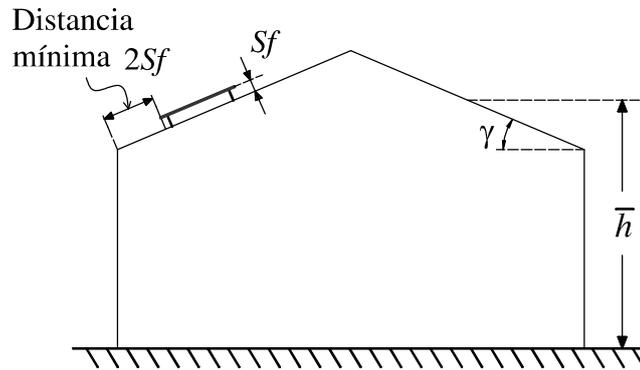


Figura 5.2.2.4.1 - Distancia mínima al borde del sistema de paneles solares sobre un edificio

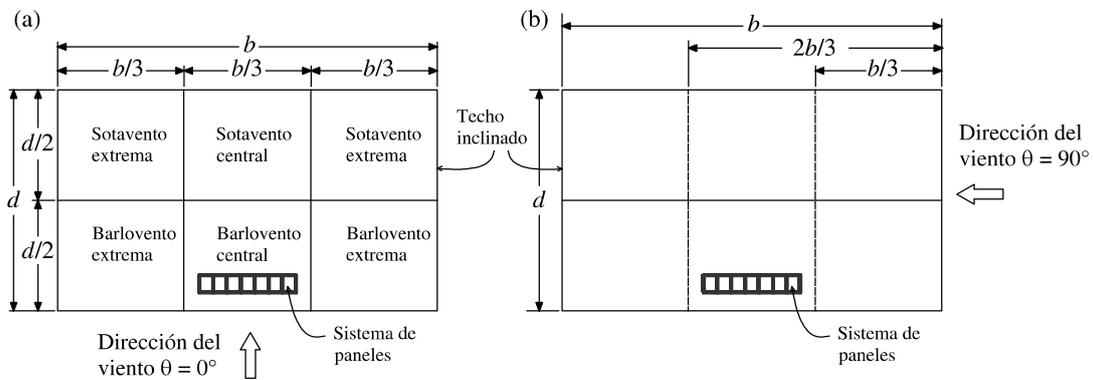


Figura 5.2.2.4.2 - Ubicación del sistema de paneles solares: (a) identificación de zonas para la dirección del viento $\theta = 0^\circ$; (b) distancia a partir del borde donde se ubica el sistema de paneles solares para la dirección del viento $\theta = 90^\circ$

Comentario:

Las presiones resultantes podrán distribuirse conforme a las áreas tributarias formadas por la estructura de soporte y las reacciones sobre los apoyos de dicha estructura, tanto de empuje como de levantamiento, deben considerarse con el fin de evitar que los apoyos sufran daño. En los casos que se presente un sistema de paneles con una inclinación diferente a la pendiente del techo donde será ubicado, deberán realizarse pruebas experimentales de túnel de viento para determinar los coeficientes de presión netos.

5.2.3 Paredes aisladas, anuncios aislados, banderas y parapetos

5.2.3.1 La presión neta sobre la pared y anuncio, calculada a la altura total H , considera la suma de los empujes de barlovento y succiones de sotavento, se calculará con la ecuación 5.2.3.1.1; se utilizará un coeficiente de presión neta obtenido de las tablas 5.2.3.1.1, 5.2.3.1.2, 5.2.3.1.3 y 5.2.3.1.4, según el caso.

$$p_n = C_{pn}[1 - (1 - \phi)^2]q_z \tag{5.2.3.1.1}$$

Tabla 5.2.3.1.1 - Coeficiente de presión neta, C_{pn} , para letreros y muros aislados. Dirección del viento $\theta = 0^\circ$

b/H	h/H	C_{pn}	e
0.5 a 5.0	0.2 a 1.0	$1.30 + 0.50 [0.30 + \log_{10}(b/h)](0.80 - h/H)$	0.0
> 5.0		$1.70 - 0.50 h/H$	0.0
Cualquiera	< 0.2	$1.40 + 0.30 \log_{10}(b/H)$	0.0

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 la excentricidad horizontal "e". Asimismo, se considerará que el espesor del letrero o muro es muy pequeño comparado con sus otras dos dimensiones. Si la relación $h/H > 0.70$, el letrero deberá tratarse como muro aislado. La aplicación de la carga se hará de acuerdo con lo mostrado en las figuras 5.2.3.1.1 y 5.2.3.1.2.

Tabla 5.2.3.1.2 - Coeficiente de presión neta, C_{pn} , para letreros y muros aislados para b/H entre 0.5 a 5.0. Dirección del viento $\theta = 45^\circ$

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

Aplican las notas de la tabla 5.2.3.1.1.

Tabla 5.2.3.1.3 - Coeficiente de presión neta, C_{pn} , para letreros y muros aislados para b/H mayor que 5.0. Dirección del viento $\theta = 45^\circ$

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

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

Tabla 5.2.3.1.4 - 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	C_{pn}	
			Caso 1	Caso 2
Cualquiera	≤ 0.7	0 a $2h$	-1.20	1.20
		$2h$ a $4h$	-0.60	0.60
		$> 4h$	-0.30	0.30
	> 0.7	0 a $2H$	-1.00	1.00
		$2H$ a $4H$	-0.25	0.25
		$> 4H$	-0.25	0.25

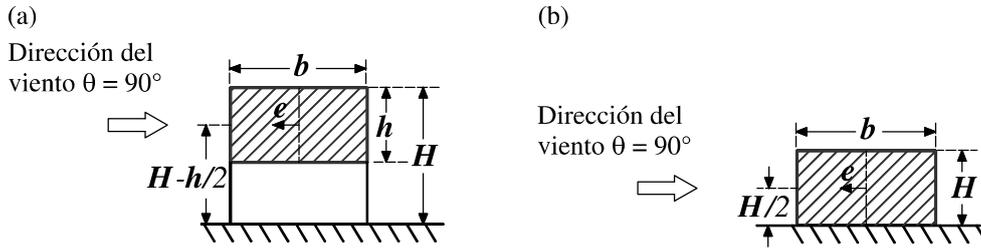


Figura 5.2.3.1.1 - Dimensiones de paredes y anuncios en dirección del viento

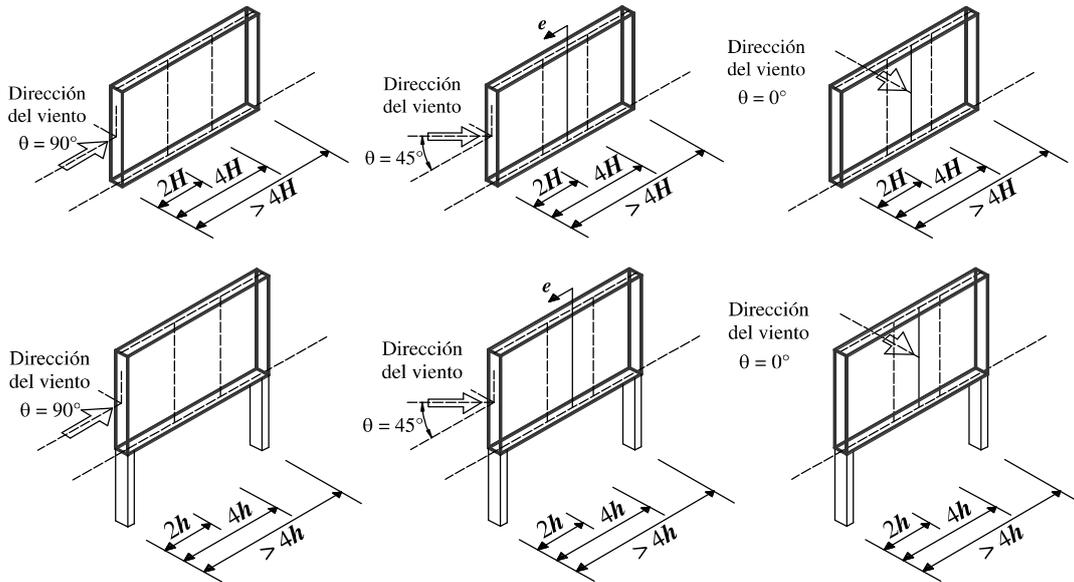


Figura 5.2.3.1.2 - Acción sobre paredes aisladas o anuncios

5.2.3.2 La fuerza que induce el viento sobre una bandera se determinará con:

$$F_b = C_{pn} A_{ref} q_z \tag{5.2.3.2.1}$$

5.2.3.3 El coeficiente de presión neta para el cálculo de la fuerza sobre la bandera se obtendrá de la tabla 5.2.3.3.1.

Tabla 5.2.3.3.1 - Coeficientes de presión neta para el cálculo de la fuerza sobre la bandera al plano del anuncio o muro

Coeficiente de presión neta	
Bandera fija	Bandera libre
El coeficiente de presión neta deberá obtenerse de acuerdo con las recomendaciones dadas para anuncios (inciso 5.2.3)	El coeficiente de presión neta se obtendrá con la ecuación: $C_{pn} = 0.05 + 0.7 \frac{m_f}{\rho \cdot h_b} \left(\frac{A_{ref}}{h_b^2} \right)^{-1.25} < 0.76$

La fuerza resultante se deberá aplicar a la altura $H - (h_b/2)$, de acuerdo con los parámetros mostrados en la fig. 5.2.3.3.1. La presión dinámica de base ($q_z = 0.52V_b^2$) se calculará a la altura H . Cuando no se cumpla la condición de la ecuación para la bandera libre, deberán realizarse pruebas en túnel de viento.

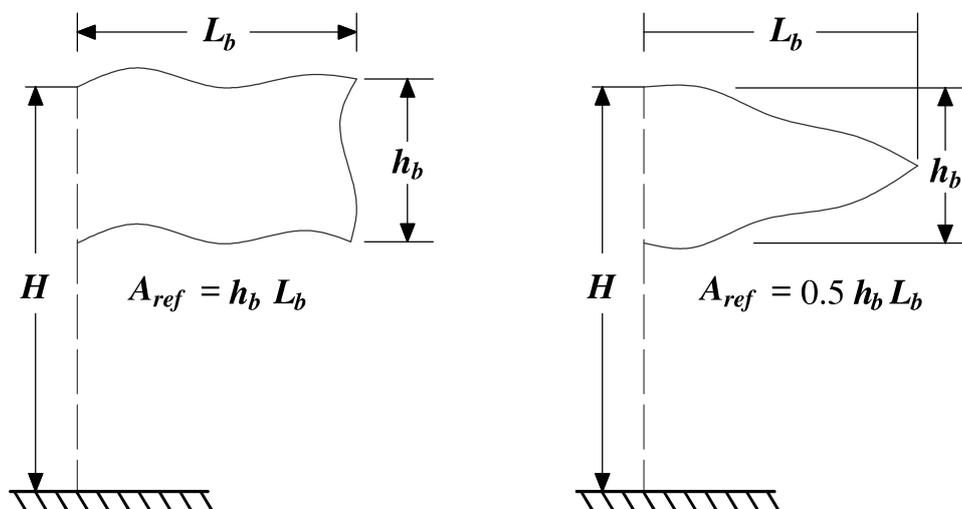


Figura 5.2.3.3.1 – Parámetros empleados en el cálculo de la fuerza sobre la bandera

5.2.3.4 Para el diseño de parapetos, se empleará un coeficiente de presión exterior calculado con

$$C_p = \begin{cases} -3 & \text{para } A < 10 \text{ m}^2 \\ 1.26 \log_{10}(A) - 4.26 < -1.8 & \text{para } A \geq 10 \text{ m}^2 \end{cases} \quad (5.2.3.4.1)$$

Comentario:

Los parapetos, por lo general, no se consideran como parte de la estructura principal; sin embargo, deben considerarse las presiones que se generen sobre éstos y resistir las fuerzas resultantes.

5.2.4 Chimeneas y elementos de soporte, silos y tanques cilíndricos

5.2.4.1 La presión neta estática que induce el viento sobre una chimenea o elemento de soporte se determinará con:

$$p_n = K_{re} C_a q_z \quad (5.2.4.1.1)$$

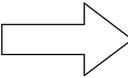
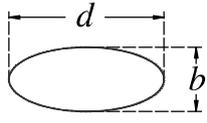
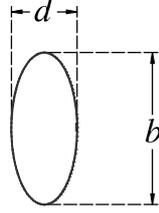
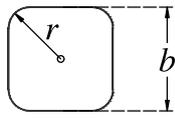
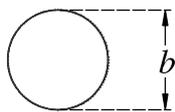
5.2.4.2 El factor de corrección por relación de esbeltez y los coeficientes de arrastre para chimeneas se obtendrá de la tabla 5.2.4.2.1, 5.2.4.2.2 y 5.2.4.2.3, respectivamente.

Tabla 5.2.4.2.1 - Factor de corrección por relación de esbeltez

L_e/b	K_{re}
≤ 8	0.7
14	0.8
30	0.9
40 o mayor	1.0

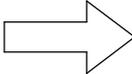
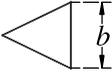
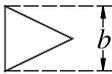
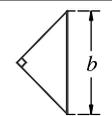
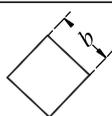
Para valores intermedios de L_e/b , puede interpolarse linealmente.

Tabla 5.2.4.2.2 - Coeficiente de arrastre para formas redondas y prismáticas con esquinas redondeadas, de longitud infinita

Dirección del viento	Forma de la sección	C_a		
		$b \cdot V_D < 4 \text{ m}^2/\text{s}$	$b \cdot V_D > 10 \text{ m}^2/\text{s}$	
	 <p>Elipse horizontal $b/d = 1/2$</p>	0.70	0.30	
	 <p>Elipse vertical $b/d = 2$</p>	1.70	1.50	
	 <p>Cuadrado con esquinas redondeadas $b/d = 1$ $r/b = 1/3$</p>	1.20	0.60	
	 <p>Cilíndrica</p>	$b \cdot V_D < 4 \text{ m}^2/\text{s}$	1.20	
		$b \cdot V_D > 10 \text{ m}^2/\text{s}$	$1.0 + 0.033[\log(V_D \cdot h_r)] - 0.025[\log(V_D \cdot h_r)]^2$ ó 0.6, lo que resulte mayor.	

b es el diámetro o ancho promedio de la estructura, en m. Para la evaluación de $b \cdot V_D$; V_D es la velocidad del viento de diseño para empujes estáticos evaluada a la altura total en m/s. Para valores intermedios de $b \cdot V_D$ es posible emplear interpolación lineal. Para las formas cilíndricas circulares, se supondrá un valor igual a 0.6 para $b \cdot V_D$ igual a 10 m²/s, sólo para los propósitos de esta interpolación. En el caso de que los accesorios conectados a secciones transversales circulares (por ejemplo, escaleras y tuberías, entre otros) abarquen más del 1% del diámetro del cilindro, se inducirá la separación del flujo, por lo que en estos casos C_a será igual a 1.20. Debe tomarse en cuenta el área proyectada para determinar el arrastre generado por los propios accesorios. Algunos valores característicos de h_r , en m, se presentan a continuación: Vidrio o plástico: 1.5x10⁻⁶; Acero galvanizado: 150x10⁻⁶; Acero con poca corrosión: 2.5x10⁻³; Acero con mucha corrosión: 15x10⁻³; Concreto liso: 60x10⁻⁶; Concreto rugoso: 1x10⁻³; Metal pintado: 30x10⁻⁶; Madera: 2x10⁻³.

Tabla 5.2.4.2.3 - Coeficiente de arrastre para formas prismáticas con aristas agudas, de longitud infinita

<i>Dirección del viento</i>	<i>Forma de la sección</i>		C_a
		Triángulo equilátero (con un vértice hacia el viento)	1.2
		Triángulo equilátero (con un lado hacia el viento)	2.00
		Triángulo rectángulo	1.55
		Cuadrada (con un lado hacia el viento)	2.20
		Cuadrada (con un vértice hacia el viento)	1.50
		Pentágono (con un vértice hacia el viento)	1.70
		Pentágono (con un lado hacia el viento)	1.10
		Hexágono (con un lado hacia el viento)	1.20
		Hexágono (con un vértice hacia el viento)	1.50
		Octágono	1.40
		Polígono de doce lados	1.30
		Polígono de dieciséis lados	1.00

La fuerza de arrastre se determinará multiplicando la presión neta por el área de la chimenea o estructura de soporte proyectada sobre un plano vertical. Con el fin de diseñar las paredes de una chimenea o soporte de sección transversal circular, deberá revisarse la respuesta local de una sección de altura unitaria de la chimenea o torre, ante la distribución radial de presiones. La presión radial da origen a la aparición de esfuerzos de flexión en el plano de la sección transversal de la chimenea o soporte circular; esta presión puede determinarse siguiendo las recomendaciones para las paredes de silos y tanques cilíndricos. Las estructuras de soporte referidas en este inciso son aquellas cuya función es soportar otros elementos y transmitir las cargas a la cimentación. Tal es el caso de las estructuras que sostienen a los letreros espectaculares (monopolos). Las fuerzas de viento sobre los elementos soportados deben determinarse de acuerdo con el tipo de elemento en cuestión. Por ejemplo, las fuerzas del viento que actúan en un letrero espectacular deben obtenerse de acuerdo con 5.2.3.

5.2.4.3 La presión exterior para el diseño de las paredes o muros laterales, y de los techos de silos y tanques cilíndricos, cuyos parámetros empleados en el cálculo de coeficientes de presión se definen en la fig. 5.2.4.3.1, debe calcularse con la ecuación 5.2.4.3.1. Para el cálculo de la presión en el techo se considerará la altura \bar{h} y para las paredes o muros, las presiones se calcularán para una velocidad correspondiente a la altura z .

$$p_e = C_{pe} q_z \tag{5.2.4.3.1}$$

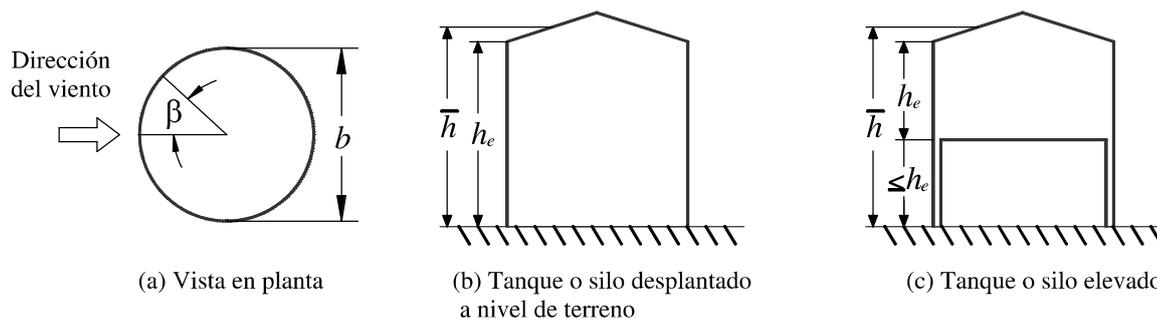


Figura 5.2.4.3.1 - Definición de parámetros empleados en el cálculo de coeficientes de presión para diseño de muros laterales, y de techos de silos y tanques cilíndricos ($0.25 \leq h_e/b \leq 4.0$)

5.2.4.4 El coeficiente de presión exterior para techos o tapas de silos y tanques cilíndricos, se obtendrá de la tabla 5.2.4.4.1, para las zonas indicadas en la fig. 5.2.4.4.1.

Tabla 5.2.4.4.1 - Coeficiente de presión exterior para techos o tapas de silos y tanques cilíndricos para valores de $0^\circ \leq \gamma \leq 30^\circ$

Área tributaria (m ²)	Zona A	Zona B	Condición
≤ 10	-2.4	-0.50	$\gamma < 10^\circ$
25	-2.16	-0.45	
≥ 100	-1.92	-0.40	
≤ 10	-2.4	-1.00	$10^\circ \leq \gamma \leq 30^\circ$
25	-2.16	-0.90	
≥ 100	-1.92	-0.80	

Para valores intermedios del área tributaria, los valores del coeficiente de presión exterior pueden interpolarse linealmente.

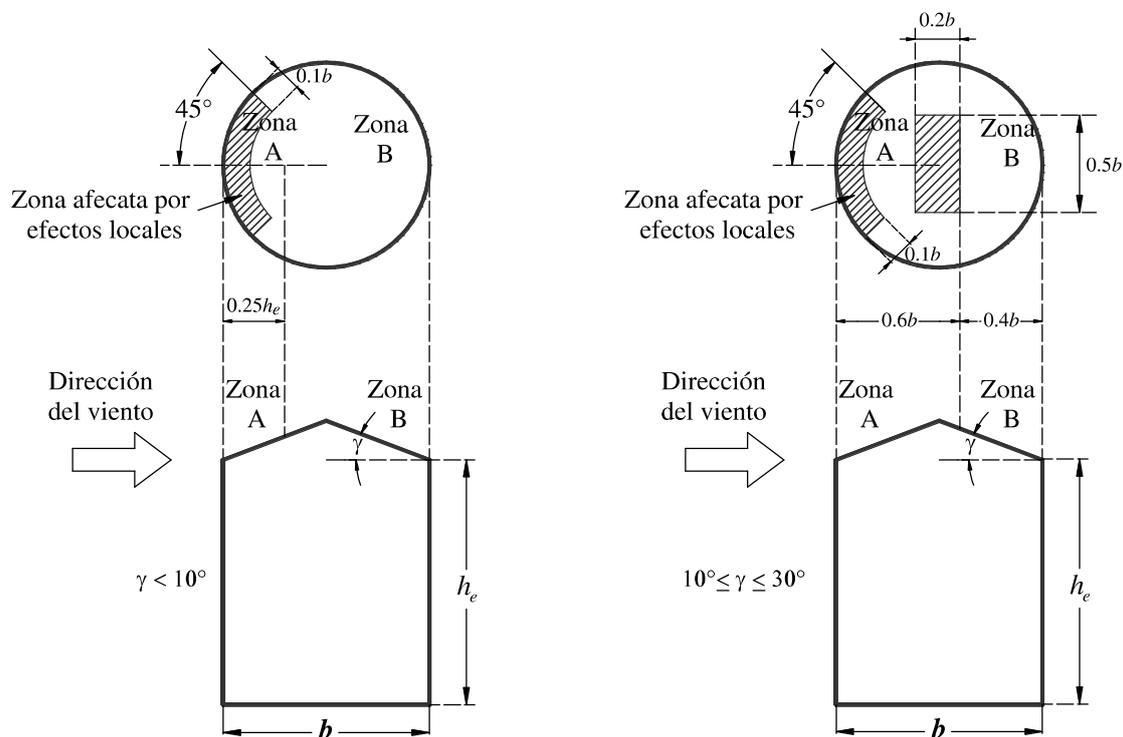


Figura 5.2.4.4.1 - Zonas de aplicación de los coeficientes de presión exterior para techos de silos y tanques cilíndricos ($0.25 \leq h_e/b \leq 4.0$)

Comentario:

Los coeficientes de presión exterior para techos o tapas de silos y tanques cilíndricos para valores de $\gamma > 30^\circ$ deberán obtenerse de pruebas experimentales en túnel de viento.

5.2.4.5 El coeficiente de presión exterior para las paredes o muros laterales varía con el ángulo β y se calcula con el procedimiento de la tabla 5.2.4.5.1.

Tabla 5.2.4.5.1 - Cálculo del coeficiente de presión exterior para las paredes o muros laterales

Ecuación	Condición
$C_{pe} = K_s C_{pc}$	
$C_{pc} = -0.5 + 0.4\cos(\beta) + 0.8\cos(2\beta) + 0.3\cos(3\beta) - 0.1\cos(4\beta) - 0.05\cos(5\beta)$	
$K_s = 1.0 - 0.55(C_{pc} + 0.15)\log_{10}\left(\frac{h_e}{b}\right)$	Para $C_{pc} < -0.15$
$K_s = 1.0$	Para $C_{pc} \geq -0.15$

Comentario:

El coeficiente C_{pe} es válido para silos y tanques cilíndricos desplantados al nivel del terreno o soportados por columnas cuya altura no sea mayor que la de ellos mismos, h_e ; sin embargo, la relación h_e/b deberá estar en el intervalo de 0.25 a 4.0.

5.2.4.6 El coeficiente de presión exterior para la superficie inferior de los silos o tanques elevados se tomará igual a 0.8 ó -0.6, el que produzca las condiciones más desfavorables. Para silos o tanques que estén elevados a menos de un tercio de su altura (h_e), se emplearán los valores anteriores de C_{pe} interpolados linealmente con un valor de 0.00, de acuerdo con la relación entre la altura sobre el terreno natural y la altura de la construcción. Para el cálculo de la presión en la superficie inferior, se tomará la altura \bar{h} .

5.2.4.7 La fuerza de arrastre para el diseño global de silos y tanques, tanto los desplantados al nivel del terreno como los elevados, se calculará con la ecuación 5.2.4.7.1. La presión dinámica de base se calculará a la altura de referencia \bar{h} .

$$F_a = 0.63bh_e (0.52V_D^2(\bar{h})) \tag{5.2.4.7.1}$$

5.2.4.8 Para silos o tanques sin techo, la presión interior, que se evaluará a la altura de referencia \bar{h} , se determinará con base en el coeficiente de presión dado por:

$$C_{pi} = -0.9 - 0.35 \log_{10} \left(\frac{h_e}{b} \right) \tag{5.2.4.8.1}$$

Comentario:

No se considera que los silos o tanques puedan tener aberturas en las paredes o muros; cuando éste sea el caso, deberán realizarse pruebas en túnel de viento para evaluar las presiones.

5.2.5 Torres de celosía aisladas y torres de telecomunicaciones y accesorios

5.2.5.1 La fuerza de arrastre para el diseño de las torres de celosía aisladas se calcula con la ecuación 5.2.5.1.1. Esta fuerza actúa en la dirección del flujo del viento y se obtiene para cada tramo en que se dividan verticalmente las mismas; la torre aislada debe dividirse en un mínimo de diez tramos. La presión dinámica de base ($0.52V_D^2(z_{ta})$) se calculará a la altura z_{ta} que se encuentra en el punto medio de la longitud vertical de cada tramo.

$$F_{at} = C_{at}A_{At} (0.52V_D^2(z_{ta})) \tag{5.2.5.1.1}$$

5.2.5.2 El coeficiente de arrastre para estructuras y torres de celosía, se obtendrá de las tablas 5.2.5.2.1, 5.2.5.2.2 y 5.2.5.2.3.

Tabla 5.2.5.2.1 - Coeficiente de arrastre para estructuras y torres de celosía. Sección transversal cuadrada y triangular equilátera con miembros de lados planos

Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	C_{at}		
	Sección transversal cuadrada		Sección transversal triangular equilátera
	Sobre una cara	Sobre una esquina	
≤ 0.10	3.50	3.90	3.10
0.20	2.80	3.20	2.70
0.30	2.50	2.90	2.30
0.40	2.10	2.60	2.10
≥ 0.50	1.80	2.30	1.90

ϕ es la relación de solidez de la cara frontal definida como el cociente del área sólida de los miembros de esta cara entre el área total que los delimita. Para valores intermedios de ϕ , se permite la interpolación lineal para obtener C_{at} .

Tabla 5.2.5.2.2 - Coeficiente de arrastre para estructuras y torres de celosía. Sección transversal cuadrada con miembros de sección transversal circular

Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	C_{at}			
	Partes de la torre dentro del flujo subcrítico: $b \cdot V_D < 3 \text{ m}^2/\text{s}$		Partes de la torre dentro del flujo supercrítico: $b \cdot V_D \geq 6 \text{ m}^2/\text{s}$	
	Sobre una cara	Sobre una esquina	Sobre una cara	Sobre una esquina
≤ 0.05	2.20	2.50	1.40	1.60
0.10	2.00	2.30	1.40	1.60
0.20	1.90	2.30	1.50	1.70
≥ 0.30	1.90	2.30	1.70	1.90

ϕ es la relación de solidez de la cara frontal definida como el cociente del área sólida de los miembros de esta cara entre el área total que los delimita. b es el diámetro promedio de los elementos de sección circular, en m. V_D es la velocidad de diseño del viento para empujes estáticos, convertida a m/s. Para valores intermedios de $b \cdot V_D$ entre 3 y 6 m^2/s se permite la interpolación lineal. El diámetro promedio y la velocidad de diseño son los correspondientes a la altura media del tramo considerado. Los datos para torres con miembros circulares pueden remplazarse por otros valores obtenidos a partir de pruebas en túnel de viento.

Tabla 5.2.5.2.3 - Coeficiente de arrastre para estructuras y torres de celosía. Sección transversal triangular equilátera con miembros de sección transversal circular

Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	C_{at}	
	Partes de la torre dentro del flujo subcrítico: $b \cdot V_D < 3 \text{ m}^2/\text{s}$ (cualquier dirección del viento)	Partes de la torre dentro del flujo supercrítico: $b \cdot V_D \geq 6 \text{ m}^2/\text{s}$ (cualquier dirección del viento)
≤ 0.05	1.80	1.20
0.10	1.70	1.20
0.20	1.70	1.30
≥ 0.30	1.70	1.40

Las notas de la tabla 5.2.5.2.2 son aplicables a esta tabla.

5.2.5.3 La fuerza de arrastre para el diseño de torres de telecomunicaciones se calcula con la ecuación 5.2.5.3.1. Esta fuerza actúa en la dirección del flujo del viento y se obtiene para cada tramo en que se dividan verticalmente las torres; deberán emplearse un mínimo de diez tramos. La presión dinámica de base ($0.52V_D^2(z_{ta})$) se calculará a la altura z_{ta} que se encuentra en el punto medio de la longitud vertical de cada tramo.

$$F_{at} = C_{at} A_{At} (0.52V_D^2(z_{ta})) \quad (5.2.5.3.1)$$

5.2.5.4 Los coeficientes de arrastre deberán obtenerse según el tipo de estructura de soporte. Los coeficientes de arrastre recomendados para torres de celosía se obtendrán de las tablas presentadas en 5.2.5.2, para otro tipo de estructura de soporte, los coeficientes de arrastre deberán obtenerse según lo indicado en 5.2.4.2.

5.2.5.5 El coeficiente de arrastre para los tramos de la torre sin accesorios, se obtendrán de las tablas 5.2.5.2.1, 5.2.5.2.2 y 5.2.5.2.3, según sea el caso. La relación de solidez se tomará para cada tramo en cuestión y con el ancho promedio correspondiente.

Comentario:

Cuando las estructuras de celosía o reticulares se compongan de elementos con secciones transversales diferentes, las fuerzas sobre éstos se calcularán en función de la forma de su sección transversal de manera individual, haciendo las sumas respectivas para los tramos que se consideren.

5.2.5.6 El coeficiente de arrastre para los tramos de la torre con accesorios, se calculará de acuerdo con:

- a) Cuando los accesorios se encuentren instalados simétricamente con respecto a todas las caras de la torre del tramo considerado, podrá agregarse su área proyectada a la de los miembros de la torre, del tramo en cuestión. Para este caso $C_{ate} = C_{at}$, el cual se obtendrá de las tablas 5.2.5.2.1, 5.2.5.2.2 y 5.2.5.2.3
- b) Cuando las condiciones del inciso a) no sean aplicables, el coeficiente de arrastre, se determina con:

$$C_{ate} = C_{at} + \sum \Delta C_{at} \tag{5.2.5.6.1}$$

5.2.5.7 El coeficiente de arrastre adicional se determinará con:

$$\Delta C_{at} = C_{au} K_{re} K_{in} (A_a / A_{At}) \tag{5.2.5.7.1}$$

5.2.5.7.1 El factor de corrección por relación de esbeltez para accesorios lineales con relaciones de esbeltez menores que 40 se obtendrá de la tabla 5.2.4.2.1.

5.2.5.7.2 El factor de corrección por interferencia se calculará de acuerdo con las ecuaciones de la tabla 5.2.5.7.2.1.

Tabla 5.2.5.7.2.1 - Ecuaciones para el cálculo del factor de corrección por interferencia

Caso	Ubicación	Ecuación
Para accesorios localizados en la cara de la torre	En la cara de una torre cuadrada	$K_{in} = [1.5 + 0.5 \cos(2(\theta_a - 90^\circ)) \exp(-1.2(C_{at}\phi)^2)]$
	En la cara de una torre triangular	$K_{in} = [1.5 + 0.5 \cos(2(\theta_a - 90^\circ)) \exp(-1.8(C_{at}\phi)^2)]$
Para accesorios de enrejado dentro de la celosía de la torre o para accesorios cilíndricos dentro de la torre	Dentro de una torre cuadrada	1.0
	Dentro de una torre triangular	

Esta tabla se complementa con la fig. 5.2.5.7.2.1.

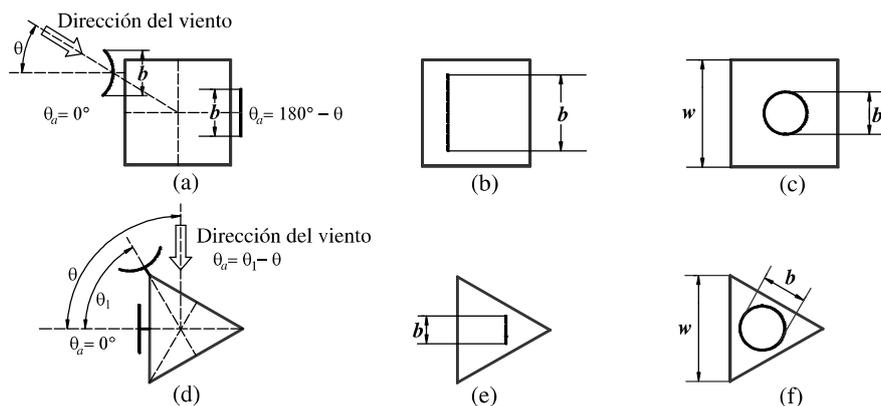


Figura 5.2.5.7.2.1 - Torres de secciones cuadrada y triangular con accesorios: (a) accesorio sujetado a la cara de una torre cuadrada; (b) accesorio sujetado dentro de una torre cuadrada; (c) accesorio cilíndrico sujetado dentro de una torre cuadrada; (d) accesorio sujetado a la cara de una torre triangular; (e) accesorio sujetado dentro de una torre triangular; (f) accesorio cilíndrico sujetado dentro de una torre triangular

5.2.5.7.3 El coeficiente de arrastre para el accesorio aislado que, en la ausencia de datos del túnel de viento, puede obtenerse de la tabla 5.2.5.7.3.1 o de las tablas 5.2.4.2.2 y 5.2.4.2.3 que se presentan en 5.2.4.2. Para los valores de las tablas 5.2.4.2.2 y 5.2.4.2.3 se considerará $C_{au} = C_a$.

Tabla 5.2.5.7.3.1 - Coeficiente de arrastre para elementos estructurales cilíndricos y prismáticos con esquinas redondeadas, de longitud infinita

Dirección del viento	Forma de la sección	C_{au}	
		$b \cdot V_D < 4 \text{ m}^2/\text{s}$	$b \cdot V_D > 10 \text{ m}^2/\text{s}$
	 $b/d = 1$ $r/b = 1/16$	1.30	0.70
	 $b/d = 1/2$ $r/b = 1/2$	0.40	0.30
	 $b/d = 1/2$ $r/b = 1/6$	0.70	0.70
	 $b/d = 2$ $r/b = 1/12$	1.90	1.90
	 $b/d = 2$ $r/b = 1/4$	1.60	0.60
	 $r/a = 1/3$	1.20	0.50
	 $r/a = 1/12$	1.60	1.60
	 $r/a = 1/48$	1.60	1.60
	 $r/b = 1/4$	1.20	0.50
	 $r/b = 1/12$	1.40	1.40
	 $r/b = 1/48$	1.30	1.30
	 $r/b = 1/4$	1.30	0.50
	 $1/12 > r/b > 1/48$	2.10	2.10

b es el diámetro o ancho promedio de la estructura, en m. Para la evaluación de $b \cdot V_D$; V_D es la velocidad del viento de diseño para empujes estáticos evaluada a la altura total y en m/s. Para valores intermedios de $b \cdot V_D$ es posible emplear interpolación lineal. Para las formas cilíndricas circulares, se supondrá un valor igual a 0.6 para $b \cdot V_D$ igual a $10 \text{ m}^2/\text{s}$, sólo para los propósitos de esta interpolación. Para secciones transversales circulares suaves, en donde $b \cdot V_D > 10 \text{ m}^2/\text{s}$, el coeficiente de arrastre se seleccionará de la siguiente manera:

$C_{au} = 1.0 + 0.033[\log_{10}(V_D \cdot h_r)] - 0.025[\log_{10}(V_D \cdot h_r)]^2$ ó 0.6, lo que sea mayor. Algunos valores característicos de h_r , en m, se presentan a continuación: Vidrio o plástico: 1.5×10^{-6} ; Acero galvanizado: 150×10^{-6} ; Acero con poca corrosión: 2.5×10^{-3} ; Acero con mucha corrosión: 15×10^{-3} ; Concreto liso: 60×10^{-6} ; Concreto rugoso: 1×10^{-3} ; Metal pintado: 30×10^{-6} ; Madera: 2×10^{-3} .

5.2.5.8 Para antenas UHF, la fuerza de arrastre actuante sobre ésta, en la dirección del flujo del viento, se obtiene con la ecuación 5.2.5.8.1. La presión dinámica de base se calculará a la altura z en la que se encuentra el centroide de la antena. Para el cálculo del área expuesta de la antena UHF, se tomará b_D o b_N como el ancho correspondiente a la dirección del viento, como se muestra en la fig. 5.2.5.8.1.1.

$$F_a = C_a K_{re} A_A (0.52 V_D^2(z)) \tag{5.2.5.8.1}$$

5.2.5.8.1 El coeficiente de arrastre para la antena UHF se obtendrá de la tabla 5.2.5.8.1.1, la cual se complementa con la fig. 5.2.5.8.1.1. Para el cálculo del factor de corrección por relación de esbeltez se empleará la tabla 5.2.5.7.1.1, considerando la longitud del elemento como el doble de la altura de la antena.

Tabla 5.2.5.8.1.1 - Coeficiente de arrastre para antenas UHF

Sección de la antena	C_a
Cuadrada	1.40
Pentagonal	1.50
Hexagonal	1.90

Para otros tipos de secciones, se deben realizar pruebas en túnel de viento.

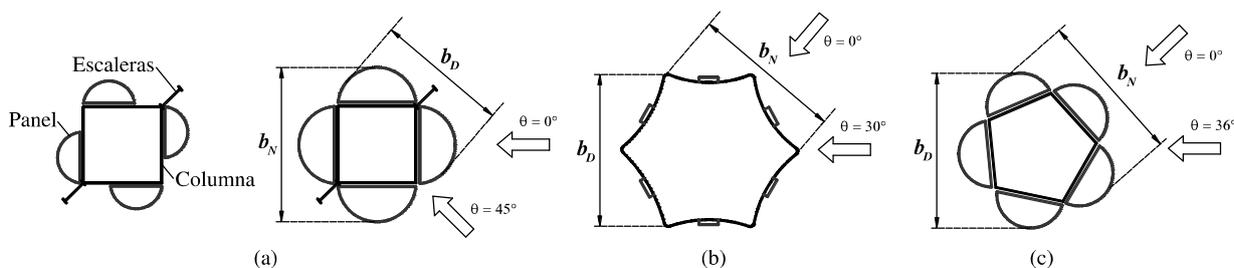


Figura 5.2.5.8.1.1 - Secciones de antenas UHF: (a) tipo 1; (b) tipo 2; (c) tipo 3

5.2.5.9 Las fuerzas de viento en las antenas de microondas se describen con respecto al eje de la antena, teniendo como su origen el vértice de la misma. La fuerza axial, que actúa a lo largo del eje de la antena, la fuerza lateral que actúa perpendicularmente al eje de la antena, y el momento que actúa en el plano que contiene las fuerzas anteriores se obtienen con las ecuaciones de la tabla 5.2.5.9.1. La presión dinámica de base se calculará a la altura z en que se encuentra el centroide de la antena. Las cargas obtenidas se aplicarán de acuerdo con lo indicado en la fig.5.2.5.9.1.

Tabla 5.2.5.9.1 - Ecuaciones para el cálculo de fuerzas y momento sobre una antena de microondas

Ecuación	Condición
$F_{am} = G_h C_a A_a q_z$	G_h será igual a 1.0 cuando se diseñe la antena o sus conexiones, pero será igual al producto del factor de respuesta de ráfaga, F_{RR} , y el factor $1/(1 + 7I_v(z_s))$ cuando se diseñe la torre de soporte. Los factores F_{RR} y $1/(1 + 7I_v(z_s))$ se definen en 6.2.
$F_{sm} = G_h C_s A_a q_z$	
$M_m = G_h C_m A_a D_1 q_z$	

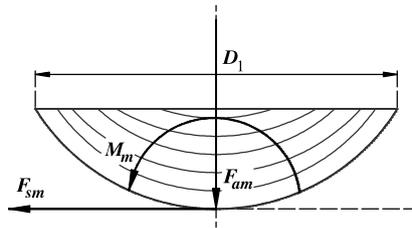


Figura 5.2.5.9.1 - Fuerzas actuantes sobre una antena de microondas

5.2.5.9.1 Los coeficientes aerodinámicos para antenas de microondas sin reflector, con reflector, tipo tambor y con rejilla se obtendrán de la tabla 5.2.9.1.1.

Tabla 5.2.5.9.1.1 - Coeficientes aerodinámicos para antenas de microondas de diversos tipos

θ (grados)	C_a				C_s				C_m			
	SR	CR	TT	TR	SR	CR	TT	TR	SR	CR	TT	TR
0	1.5508	0.8633	1.2617	0.5352	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1.5391	0.8594	1.2617	0.5234	-0.0469	0.1484	0.0977	0.1016	-0.0254	-0.0797	-0.0281	0.0168
20	1.5469	0.8203	1.25	0.5078	-0.0508	0.2969	0.1758	0.1797	-0.0379	-1.113	-0.0453	0.0289
30	1.5547	0.7617	1.2109	0.4609	-0.0313	0.4102	0.2344	0.2305	-0.0422	-0.1082	-0.052	0.0383
40	1.5938	0.6641	1.1563	0.4063	0.0078	0.4883	0.2813	0.2617	-0.0535	-0.0801	-0.0488	0.0449
50	1.6641	0.5469	1.0859	0.3438	0.0898	0.5313	0.3047	0.2734	-0.0691	-0.0445	-0.0324	0.0496
60	1.6484	0.418	0.9453	0.2344	0.2422	0.5	0.3672	0.2813	-0.0871	-0.0008	-0.0086	0.0527
70	1.3672	0.3125	0.6719	0.1289	0.457	0.4609	0.4766	0.2734	-0.0078	0.0508	0.0227	0.0555
80	0.7617	0.2266	0.2734	0.0391	0.3789	0.4375	0.582	0.25	0.1	0.1047	0.0695	0.0492
90	-0.0117	0.1328	-0.1094	-0.0508	0.3438	0.4063	0.625	0.2422	0.1313	0.1523	0.098	0.0434
100	-0.4023	0.0313	-0.3438	-0.1172	0.3828	0.3906	0.6016	0.2734	0.132	0.1695	0.1125	0.0469
110	-0.4609	-0.0664	-0.5391	-0.1875	0.4141	0.3711	0.5313	0.2852	0.134	0.1648	0.1141	0.0504
120	-0.457	-0.1641	-0.7109	-0.2656	0.457	0.3477	0.4375	0.2773	0.143	0.1578	0.1039	0.0512
130	-0.4688	-0.293	-0.8594	-0.3359	0.4688	0.3203	0.3125	0.2617	0.1461	0.1395	0.0926	0.0496
140	-0.5742	-0.4102	-0.9336	-0.4063	0.4453	0.3047	0.2305	0.2344	0.132	0.0906	0.0777	0.0445
150	-0.7734	-0.5195	-0.957	-0.4766	0.3906	0.2734	0.1758	0.2031	0.1086	0.0516	0.0617	0.0371
160	-0.8672	-0.6016	-0.9727	-0.5469	0.293	0.2266	0.1484	0.1563	0.0836	0.0246	0.0438	0.0273
170	-0.9453	-0.6563	-0.9961	-0.5859	0.1445	0.1484	0.0977	0.0859	0.0508	0.0086	0.023	0.0148
180	-1.0547	-0.6914	-1.0156	-0.5938	0	0	0	0	0	0	0	0
190	-0.9453	-0.6563	-0.9961	-0.5859	-0.1445	-0.1484	-0.0977	-0.0859	-0.0508	-0.0086	-0.023	-0.0148
200	-0.8672	-0.6016	-0.9727	-0.5469	-0.293	-0.2266	-0.1484	-0.1563	-0.0836	-0.0246	-0.0438	-0.0273
210	-0.7734	-0.5195	-0.957	-0.4766	-0.3906	-0.2734	-0.1758	-0.2031	0.1086	-0.0516	-0.0617	-0.0371
220	-0.5742	-0.4102	-0.9336	-0.4063	-0.4453	-0.3047	-0.2305	-0.2344	-0.132	-0.0906	-0.0777	-0.0445
230	-0.4688	-0.293	-0.8594	-0.3359	-0.4688	-0.3203	-0.3125	-0.2617	-0.1461	-0.1395	-0.0926	-0.0496
240	-0.457	-0.1641	-0.7109	-0.2656	-0.457	-0.3477	-0.4375	-0.2773	-0.143	-0.1578	-0.1039	-0.0512
250	-0.4609	-0.0664	-0.5391	-0.1875	-0.4141	-0.3711	-0.5313	-0.2852	-0.134	-0.1648	-0.1137	-0.0504
260	-0.4023	0.0313	-0.3438	-0.1172	-0.3828	-0.3906	-0.6016	-0.2734	-0.132	-0.1695	-0.1125	-0.0469
270	-0.0117	0.1328	-0.1094	-0.0508	-0.3438	-0.4063	-0.625	-0.2422	-0.1313	-0.1523	-0.098	-0.0434
280	0.7617	0.2266	0.2734	0.0391	-0.3789	-0.4375	-0.582	-0.25	-0.1	-0.1047	-0.0695	-0.0492
290	1.3672	0.3125	0.6719	0.1289	-0.457	-0.4609	-0.4766	-0.2734	0.0078	-0.0508	-0.0227	-0.0555
300	1.6484	0.418	0.9453	0.2344	-0.2422	-0.5	-0.3672	-0.2813	0.0871	0.0008	0.0086	-0.0527
310	1.6641	0.5469	1.0859	0.3438	-0.0898	-0.5313	-0.3047	-0.2734	0.0691	0.0445	0.0324	-0.0496
320	1.5938	0.6641	1.1563	0.4063	-0.0078	-0.4883	-0.2813	-0.2617	0.0535	0.0801	0.0488	-0.0449
330	1.5547	0.7617	1.2109	0.4609	0.0313	-0.4102	-0.2344	-0.2305	0.0422	0.1082	0.052	-0.0383
340	1.5469	0.8203	1.25	0.5078	0.0508	-0.2969	-0.1758	-0.1797	0.0379	0.1113	0.0453	-0.0289
350	1.5391	0.8594	1.2617	0.5234	0.0469	-0.1484	-0.0977	-0.1016	0.0254	0.0797	0.0281	-0.0168

Esta tabla se complementa con la fig. 5.2.5.9.1.1. SR = sin reflector; CR = con reflector; TT = tipo tambor; TR = tipo rejilla.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

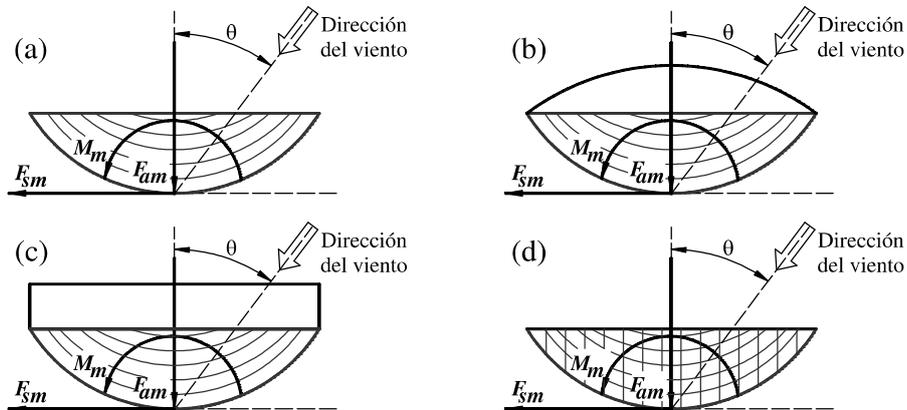


Figura 5.2.5.9.1.1 - Tipos de antenas de microondas: (a) sin reflector; (b) con reflector; (c) tipo tambor; (d) tipo rejilla

5.2.6 Perfiles estructurales

5.2.6.1 Las fuerzas F_x y F_y que actúan sobre perfiles estructurales se determinan respectivamente con:

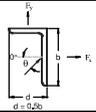
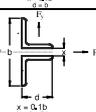
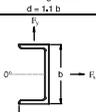
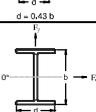
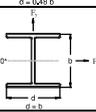
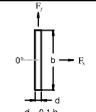
$$F_x = 0.52 C_{Fx} V_D^2 A \tag{5.2.6.1.1}$$

$$F_y = 0.52 C_{Fy} V_D^2 A \tag{5.2.6.1.2}$$

5.2.6.2 Los coeficientes de fuerza C_{Fx} y C_{Fy} para el cálculo de las fuerzas sobre perfiles estructurales y formas prismáticas con esquinas rectas y redondeadas se tomarán de las tablas 5.2.6.2.1, 5.2.6.2.2, 5.2.6.2.3 y 5.2.6.2.4. En caso de que el perfil estructural o forma prismática de interés no se encuentre en las tablas indicadas, se deberán realizar pruebas experimentales en túnel de viento para calcular los coeficientes de fuerza.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

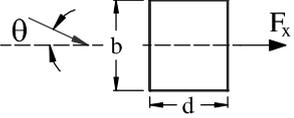
Tabla 5.2.6.2.1 - Coeficiente de fuerza C_{Fx} y C_{Fy} para algunos perfiles estructurales de longitud infinita

Sección	Coeficientes	Dirección del Viento (θ)				
		0°	45°	90°	135°	180°
	$C_{F,x}$	1.90	1.80	2	-1.8	-2
	$C_{F,y}$	0.95	0.80	1.7	-0.1	0.10
	$C_{F,x}$	1.80	2.10	-1.9	-2	-1.4
	$C_{F,y}$	1.80	1.80	-1	0.3	-1.4
	$C_{F,x}$	1.75	0.85	0.10	-0.75	-1.75
	$C_{F,y}$	0.1	0.85	1.75	0.75	-0.1
	$C_{F,x}$	1.60	1.5	-0.95	-0.5	-1.5
	$C_{F,y}$	0.00	-0.1	0.7	1.05	0
	$C_{F,x}$	2.00	1.2	-1.6	-1.1	-1.7
	$C_{F,y}$	0.00	0.9	2.15	2.4	± 2.1
	$C_{F,x}$	2.05	1.85	0	-1.6	-1.8
	$C_{F,y}$	0.00	0.60	0.6	0.4	0
	$C_{F,x}$	2.05	1.95	± 0.5	-	-
	$C_{F,y}$	0	0.6	0.9	-	-
	$C_{F,x}$	1.60	1.50	0.00	-	-
	$C_{F,y}$	0.00	1.50	1.90	-	-
	$C_{F,x}$	1.40	1.20	0.00	-	-
	$C_{F,y}$	0.00	1.60	2.20	-	-
	$C_{F,x}$	2.00	1.80	0.00	-	-
	$C_{F,y}$	0.00	0.10	0.10	-	-

El signo negativo en los coeficientes indica que la fuerza tiene sentido contrario al mostrado en las figuras. El sentido positivo del ángulo es antihorario. La dimensión b no siempre es perpendicular al viento. Los coeficientes aerodinámicos para los perfiles estructurales de la tabla deberán ser multiplicados por el factor de corrección por relación de esbeltez de la tabla 5.2.4.2.1.

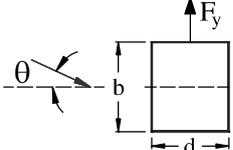
Espacio en blanco dejado de manera intencional

Tabla 5.2.6.2.2 - Coeficiente de fuerza C_{Fx} para algunos elementos con formas prismáticas de longitud infinita

Dirección del viento θ	Sección	d/b	C_{Fx}	Factor correctivo		
$0^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$	 <p>Sección prismática rectangular esquinas rectas</p>	0.1	2.2	1		
		0.65	3			
		1	2.2			
				2	1.6	$1 + (d/b) \tan(\theta)$
				4	1.3	
				≥ 10	1.1	

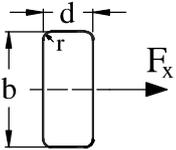
El signo negativo en los coeficientes indica que la fuerza tiene sentido contrario al mostrado en la figura.
El sentido positivo del ángulo es horario.

Tabla 5.2.6.2.3 - Coeficiente de fuerza C_{Fy} para algunos elementos con formas prismáticas de longitud infinita

Dirección del viento θ	Sección	d/b	C_{Fy}
$0^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$	 <p>Sección prismática rectangular esquinas rectas</p>	0.5	± 1.2
		1.5	± 0.8
		2.5	± 0.6
		4	± 0.8
		≥ 20	± 1

El signo negativo en los coeficientes indica que la fuerza tiene sentido contrario al mostrado en la figura.
El sentido positivo del ángulo es horario.

Tabla 5.2.6.2.4 - Coeficiente de fuerza C_{Fx} para algunos elementos con formas prismáticas de longitud infinita

Dirección del viento θ	d/b	Descripción de la sección	C_{Fx}
0°	0.5	 <p>Sección con esquinas redondeadas ($r/b = 1/12$)</p>	1.9

Comentario:

Esta sección es nueva y provee información de coeficientes de fuerzas aerodinámicas para secciones estructurales frecuentemente empleadas en la práctica. El área de referencia, A, empleada en las ecuaciones (5.2.6.1.1) y (5.2.6.1.2) es independiente de la inclinación del flujo con respecto al elemento estructural y se define como el área expuesta al viento para una incidencia de 0° . Más detalles para la definición y el tratamiento de los coeficientes aerodinámicos de otras secciones estructurales se pueden consultar en "STRUCTURAL MEMBERS: Mean Fluid Forces on Members of Various Cross Sections" (ESDU 82007, 2012). Para el cálculo de las presiones en estos

elementos estructurales de forma individual, también se aplicará el factor de corrección por relación de esbeltez indicado en 5.4.4.2

5.2.7 Puentes peatonales

5.2.7.1 La fuerza que actúan sobre la superestructura de un puente peatonal, F_{pp} , sin cables que lo soporten, con altura de la rasante no mayor que 10 m sobre el nivel más bajo del terreno y con longitud entre apoyos no mayor que 30 m, se determinará de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F_{pp} = C_{pp} A_{pp} (0.52V_D^2(z)) \tag{5.2.7.1.1}$$

Comentario:
Para puentes con características diferentes a las consideradas en esta sección, se deberá emplear la normatividad de puentes indicada por el Instituto.

5.2.7.2 Los coeficientes de fuerza C_{pp} para puentes peatonales con diferentes estructuraciones se presentan en la tabla 5.2.7.2.1.

Tabla 5.2.7.2.1 - Coeficientes de fuerza C_{pp} para puentes peatonales con diferentes estructuraciones

Estructuración		C_{pp}
Armaduras y arcos	Elementos con aristas agudas	3
	Elementos redondos	1.5
Trabes y vigas		2

Para estructuraciones de puentes peatonales no incluidas en la tabla, se deberán realizar estudios experimentales en túnel de viento para determinar el coeficiente de fuerza. La aplicación de la carga F_{pp} sobre el puente se ilustra en la fig. 5.2.7.3.1.

5.2.7.3 Se aplicará una fuerza vertical de volcamiento a un cuarto del ancho de la superestructura, del lado de barlovento. La fuerza vertical de volcamiento, F_{ppv} , se determinará de acuerdo con

$$F_{ppv} = 0.8q_z A_{ppv} \tag{5.2.7.3.1}$$

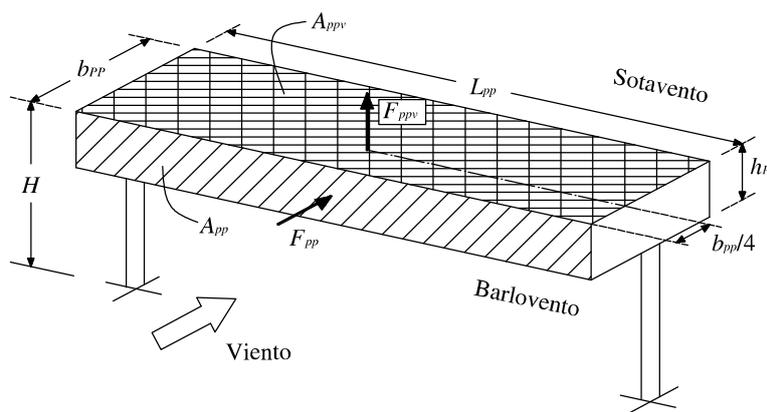


Figura 5.2.7.3.1 - Aplicación de las fuerzas sobre la superestructura

Comentario:
Para puentes peatonales con periodos de vibrar mayores que 1 s, con altura superior a 10 m o con longitud del claro superior a la indicada, que los haga susceptibles a efectos aerodinámicos especiales, se deberán realizar

pruebas experimentales en túnel de viento para calcular las fuerzas sobre el puente. Quedan excluidos los puentes peatonales, cuyas características geométricas e importancia requieran estudios especiales.

5.3 Coeficientes de presión interna

5.3.1 Cuando las paredes de una construcción puedan tener aberturas que abarquen más de 30 por ciento de su superficie, deberá considerarse en el diseño de los elementos estructurales el efecto de las presiones que se generan por la penetración del viento en el interior de la construcción. Estas presiones se considerarán actuando uniformemente en las partes interiores de las paredes y techo y se determinarán con la ecuación 5.1.2.2, empleando los coeficientes de presión interior que se indican en la tabla 5.3.1.1, en función de la posición de las aberturas que puedan existir en las paredes de la construcción.

Tabla 5.3.1.1 - Coeficientes de presión interior, C_{pi}

Caso	C_{pi}
Aberturas principalmente en la cara de barlovento	0.75
Aberturas principalmente en la cara de sotavento	-0.6
Aberturas principalmente en las caras paralelas a la dirección del viento	-0.5
Aberturas uniformes distribuidas en las cuatro caras	-0.3

La presión interna se considerará constante en toda la altura de la pared de barlovento, sotavento, muros laterales y cubierta, y se calculará para un nivel z igual a la altura del edificio.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

6. EMPUJES DINÁMICOS INDUCIDOS POR EL VIENTO

6.1 Fuerza estática equivalente en la dirección del viento para estructuras

6.1.1 En estructuras pertenecientes al Tipo 2, la fuerza estática equivalente, F_{eq} , se obtiene para una altura sobre el nivel del terreno, z , con:

a) Construcciones o estructuras prismáticas y cilíndricas cerradas

$$F_{eq}(z) = \left[\frac{p_e}{(1+7I_v(z_s))} F_{RR} - p_i \right] A_{exp} \quad (6.1.1.1)$$

b) Construcciones o estructuras prismáticas y cilíndricas abiertas en las que no existe presión interna

$$F_{eq}(z) = \left[\frac{p_n}{(1+7I_v(z_s))} F_{RR} \right] A_{exp} \quad (6.1.1.2)$$

c) Torres de celosía

$$F_{eq}(z) = \left[\frac{0.52V_D^2(z_{ta})C_{at}}{(1+7I_v(z_s))} F_{RR} \right] A_{at} \quad (6.1.1.3)$$

6.2 Factor de respuesta de ráfaga

6.2.1 El factor de respuesta de ráfaga, F_{RR} , se obtiene con:

a) Construcciones o estructuras prismáticas abiertas o cerradas

En la fig. 6.2.1.1 se presentan los diferentes tipos de estructuras prismáticas y sus alturas de referencia correspondientes para las cuales se calcula el factor de respuesta de ráfaga.

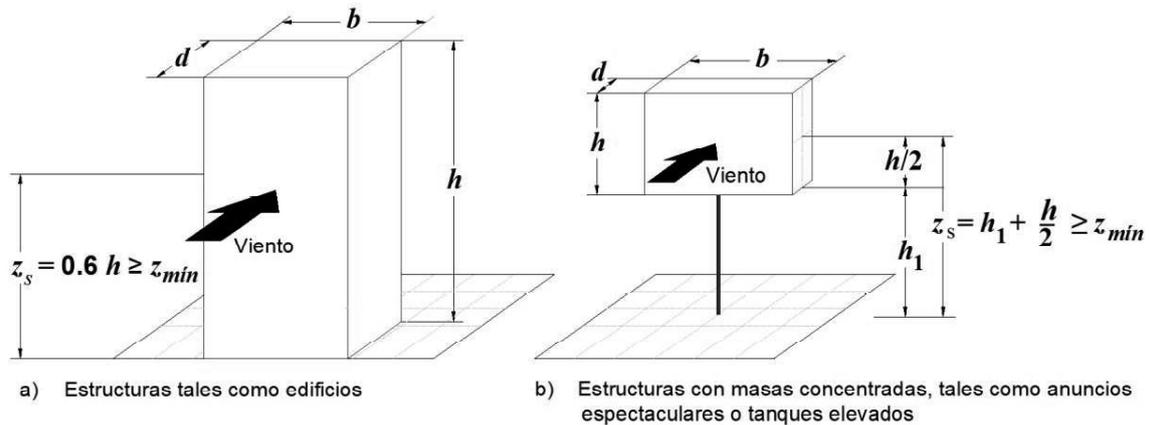


Figura 6.2.1.1 - Estructuras prismáticas y sus alturas de referencia correspondientes para calcular el factor de respuesta de ráfaga

Para este tipo de estructuras, F_{RR} , se define de acuerdo con las ecuaciones de la tabla 6.2.1.1.

Tabla 6.2.1.1 - Ecuaciones empleadas para el cálculo de F_{RR} para construcciones o estructuras prismáticas abiertas o cerradas

Ecuación	Condición
$F_{RR} = 1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}$	$F_{RR} > 1$
$I_v(z_s) = \bar{d} \left(\frac{z_s}{10}\right)^{-\alpha'}$	$z_{min} < z_s \leq 200 \text{ m}$
$I_v(z_s) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right)}$	$z_s \leq z_{min}$
$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9 \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0.63}}$	
$L(z_s) = 300 \left(\frac{z_s}{200}\right)^{\bar{\alpha}}$	$z_s \geq z_{min}$
$L(z_s) = 300 \left(\frac{z_{min}}{200}\right)^{\bar{\alpha}}$	$z_s < z_{min}$
$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_r} S_L R_h R_b$	
$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6.8 \left(\frac{n_{1,x} L(z_s)}{V_D'(z_s)}\right)}{\left[1 + 10.2 \left(\frac{n_{1,x} L(z_s)}{V_D'(z_s)}\right)\right]^{5/3}}$	
$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h})$	$R_h = 1.0$ cuando $\eta_h = 0$
$\eta_h = \frac{4.6 h n_{1,x}}{V_D'(z_s)}$	
$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b})$	$R_b = 1.0$ cuando $\eta_b = 0$
$\eta_b = \frac{4.6 b n_{1,x}}{V_D'(z_s)}$	
$k_p = \sqrt{2 \ln(600v)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \ln(600v)}}$	$k_p \geq 3.0$
$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}$	$v \geq 0.08 \text{ Hz}$

Los parámetros \bar{d} , z_0 , z_{min} , α' y $\bar{\alpha}$ son función de la rugosidad o categoría del terreno y sus valores se presentan en 3.2.2.2 y 6.2.2. Los parámetros que integran la relación de amortiguamiento total, ζ_r , se presentan en el inciso 6.3.

b) Construcciones o estructuras cilíndricas

En la fig. 6.2.1.2 se presenta una estructura vertical con sección transversal circular y su altura de referencia correspondiente para la cual se calcula el factor de respuesta de ráfaga.

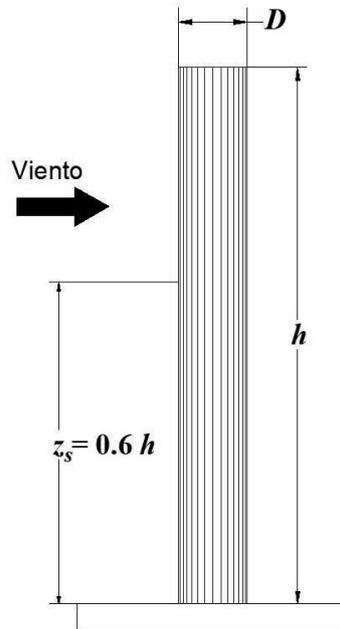


Figura 6.2.1.2 - Estructura vertical con sección transversal cilíndrica y su altura de referencia correspondiente para calcular el factor de respuesta de ráfaga

Para este tipo de estructuras, F_{RR} , se define de acuerdo con las ecuaciones de la tabla 6.2.1.2.

Tabla 6.2.1.2 - Ecuaciones empleadas para el cálculo de F_{RR} para construcciones o estructuras cilíndricas

Ecuación	Condición
$F_{RR} = 1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{B_c^2 + R_c^2}$	$F_{RR} > 1$
$B_c^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \sqrt{\left(\frac{b}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{H}{L(z_s)}\right)^2 + \left(\frac{bH}{L^2(z_s)}\right)^2}}$	
$R_c^2 = \frac{\pi}{4\zeta_t} S_L(z_s, n_{1,x}) K_{sc}(n_{1,x})$	
$K_{sc}(n_{1,x}) = \frac{1}{1 + \sqrt{\left(5.75 \frac{b n_{1,x}}{V_D'(z_s)}\right)^2 + \left(3.19 \frac{H n_{1,x}}{V_D'(z_s)}\right)^2 + \left(11.69 \frac{n_{1,x}^2 b H}{[V_D'(z_s)]^2}\right)^2}}$	

Los parámetros k_p , $I_v(z_s)$ y $L(z_s)$ se calculan con las expresiones mostradas en la tabla 6.2.1.1. Los parámetros que integran la relación de amortiguamiento total, ζ_t , se presentan en 6.3.

c) Torres de celosía

En la fig. 6.2.1.3 se presentan los parámetros geométricos de torres de celosía y su altura de referencia correspondiente para la cual se calcula el factor de respuesta de ráfaga.

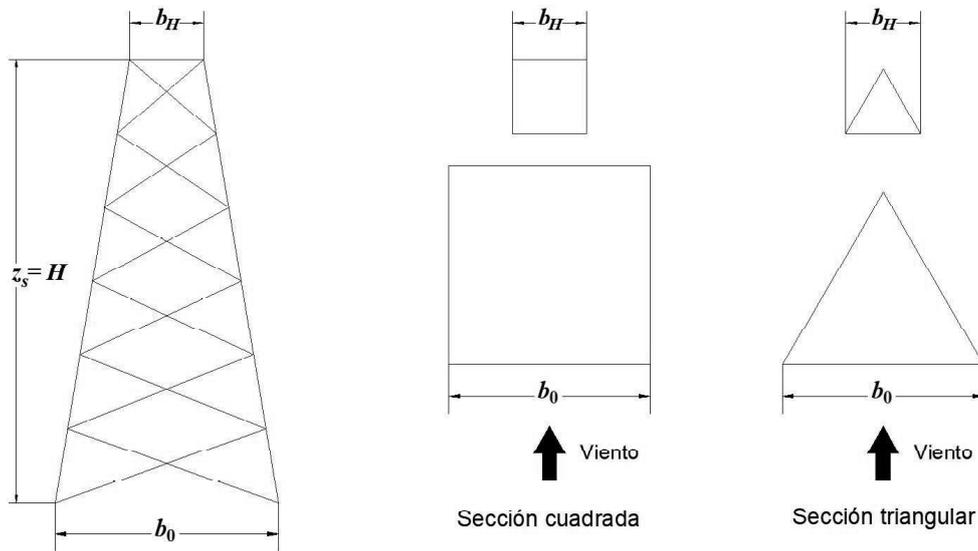


Figura 6.2.1.3 - Parámetros geométricos de torres de celosía y su altura de referencia correspondiente para calcular el factor de respuesta de ráfaga

Para este tipo de estructuras, F_{RR} , se define de acuerdo con las ecuaciones que se resumen en la tabla 6.2.1.3.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

Tabla 6.2.1.3 - Ecuaciones empleadas para el cálculo de F_{RR} para torres de celosía

Ecuación	Condición
$F_{RR} = \left(1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{B_{ta}^2 + R_{ta}^2} \right) \left[\frac{C_{RG}}{C_G} \right] F_M$	
$B_{ta}^2 = \frac{1}{1 + 2 \frac{\sqrt{H} b}{L(z_s)}}$	
$R_{ta}^2 = \frac{\pi}{4 \zeta_t} S_L(z_s, n_{1,x}) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b)$	
$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{4 \left(\frac{n_{1,x} L(z_s)}{V_D'(z_s)} \right)}{\left[1 + 71 \left(\frac{n_{1,x} L(z_s)}{V_D'(z_s)} \right)^2 \right]^{5/6}}$	
$R_h(\eta_h) = \frac{1}{1 + \eta_h}$	
$\eta_h = \frac{2n_{1,x} H}{V_D'(z_s)}$	
$R_b(\eta_b) = \frac{1}{1 + \eta_b}$	
$\eta_b = \frac{3.5n_{1,x} b}{V_D'(z_s)}$	
$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R_{ta}^2}{B_{ta}^2 + R_{ta}^2}}$	$v \geq 0.08 \text{ Hz}$
$C_{RG} = \frac{\left(1 - \frac{3}{4} \lambda_B \right)}{\alpha' + 3}$	
$C_G = \frac{1}{2\alpha' + 3} - \frac{\lambda_B}{2\alpha' + 4}$	
$\lambda_B = 1 - \frac{b_H}{b_0}$	
$F_M = \frac{m_{total}}{5m_r} \left[\left(0.5 \frac{b_H}{b_0} - 0.3 \right) (\lambda_m - 2) + 1.4 \right] (1 - 0.4 \ln(\lambda_m))$	
$m_r = \int_0^H m(z) [\Phi_{1,x}(z)]^2 dz$	

Valores estimados del coeficiente λ_m son: 2 para torres rectangulares o cuadradas y 1.75 para torres triangulares. El parámetro α' es función de la rugosidad o categoría del terreno y su valor se presenta en 3.2.2.2. Los parámetros k_p , $I_v(z_s)$ y $L(z_s)$ se calculan con las expresiones mostradas en la tabla 6.2.1.1. Los parámetros que integran la relación de amortiguamiento total, ζ_t , se presentan en 6.3.

Comentario:

Los parámetros B^2 y R^2 representan la contribución de la respuesta dinámica ocasionada por el viento turbulento que actúa sobre la estructura. B^2 es definida como la respuesta de fondo, que depende de la geometría y parámetros

que caracterizan la turbulencia, y se asocia con frecuencias por debajo de la frecuencia resonante (n_0). R^2 es definida como la respuesta resonante, que depende de las propiedades dinámicas de la estructura y parámetros que caracterizan la turbulencia, y se asocia con n_0 (Davenport, 1967; Solari, 1983).

Al emplear las ecuaciones de 6.1.1 se asume que la respuesta de la estructura es dominada por el modo fundamental de vibrar en flexión, con coordenadas modales del mismo signo. Es importante mencionar que el factor de respuesta de ráfaga sólo afecta a presiones exteriores.

El factor $1/(1 + 7I(z_s))$ es empleado para transformar la presión máxima de diseño calculada con las ecuaciones de 6.1.1 en una presión promedio; esta presión promedio es posteriormente amplificada por el factor de respuesta de ráfaga, el cual siempre es mayor que la unidad.

La ecuación 6.1.1.3 ha sido adaptada del código japonés (AIJ, 2004). Para su cálculo es indispensable emplear parámetros de corrección de forma y masa modal. A diferencia de otras metodologías para el cálculo del factor de respuesta de ráfaga para torres de celosía auto-soportadas (p.e., ANSI/TIA-222-H, 2017), en donde sólo se contempla la contribución de la respuesta de fondo (B^2), el código AIJ (2004) reconoce la contribución de B^2 y R^2 .

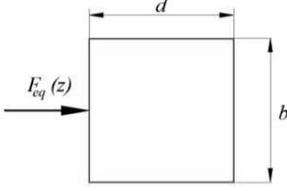
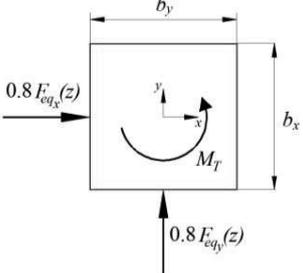
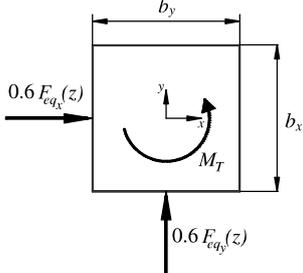
6.2.2 Los valores de los parámetros \bar{d} , $\bar{\alpha}$, z_0 , y z_{\min} , dependen de las condiciones de rugosidad o categoría del terreno y sus valores se presentan en la tabla 6.2.2.1.

Tabla 6.2.2.1 - Parámetros \bar{d} , $\bar{\alpha}$, z_0 y z_{\min} , según la categoría del terreno

Categoría del terreno	\bar{d}	$\bar{\alpha}$	z_0 (m)	z_{\min} (m)
R1	0.12	0.44	0.001	1
R2	0.17	0.52	0.020	2
R3	0.25	0.61	0.200	5
R4	0.39	0.67	1.000	10

6.2.3 Para edificios prismáticos de geometría regular con relación $h/\sqrt{bd} \geq 3$, se deberán evaluar las combinaciones de fuerzas indicadas en la tabla 6.2.3.1. Se empleará la combinación que produzca los efectos más desfavorables.

Tabla 6.2.3.1 - Combinaciones de fuerzas para edificios prismáticos de geometría regular con relación $h/\sqrt{bd} \geq 3$

Combinación	Aplicación de las fuerzas	
Combinación 1: Fuerza longitudinal aplicada al 100%.		
Combinación 2: Aplicar el 80% de la carga longitudinal calculada en ambos ejes principales, de forma simultánea, ambas con una excentricidad de $\pm 4\%$.		$M_T = (0.8F_{eqx}(z)) e_x + (0.8F_{eqy}(z)) e_y$ $e_x = \pm 0.04b_x$ $e_y = \pm 0.04b_y$
Combinación 3: Aplicar el 60% de la carga longitudinal calculada en ambos ejes principales, de forma simultánea, ambas con una excentricidad de $\pm 15\%$ con respecto al centro geométrico del edificio si el edificio tiene una frecuencia natural mayor que 1 Hz, y de $\pm 18\%$ si el edificio tiene una frecuencia natural menor que 1 Hz.		$M_T = (0.6F_{eqx}(z)) e_x + (0.6F_{eqy}(z)) e_y$
		<p>Edificios con frecuencia mayor que 1 Hz</p> $e_x = \pm 0.15b_x$ $e_y = \pm 0.15b_y$ <hr/> <p>Edificios con frecuencia menor que 1 Hz</p> $e_x = \pm 0.18b_x$ $e_y = \pm 0.18b_y$

Las fuerzas estáticas equivalentes $F_{eq}(z)$, $F_{eqx}(z)$ y $F_{eqy}(z)$ se calculan con la ec. 6.1.1.1. El momento de torsión M_T es función de las fuerzas estáticas equivalentes y las excentricidades en x y y.

Comentario:

En versiones anteriores de las NTC-Viento no se incluía un procedimiento para la combinación de fuerzas inducidas por el viento. La combinación de fuerzas horizontales y momento de torsión ha sido incluida en diferentes códigos internacionales (e.g., AIJ (2004), NBCC (2015), ASCE 7 (2022)). Para esta versión se consideró adecuado incluir un procedimiento que permitiera realizar las combinaciones de fuerzas para edificios sensibles a los efectos dinámicos que cumplan con la condición indicada en 6.2.3. La filosofía adoptada para la combinación de fuerzas inducidas por el viento contempla que es posible emplear la fuerza estática equivalente calculada con el procedimiento descrito en 6.1.1.1 y combinarla de acuerdo con lo indicado en la tabla 6.2.3.1. Esta filosofía de combinación, en que se emplean fuerzas estáticas equivalentes, fue desarrollada por Tamura et al. (2014) y se basa en diversos estudios experimentales en túnel de viento (Tamura et al., 2003; Tamura et al., 2008).

La Combinación 1 considera aplicar el 100% de la fuerza estática equivalente para edificios, calculada de acuerdo con lo indicado en 6.1.1. Esta es la fuerza estática equivalente cuyo procedimiento de cálculo ha sido incluido desde la versión 2017 de las NTC-Viento. La Combinación 2 se desarrolló para tomar en cuenta el caso de cortante simultáneo máximo según los resultados experimentales reportados por Guzmán-Solis et al., (2020) y considera aplicar un porcentaje de fuerzas estáticas y un momento de torsión. Finalmente, la Combinación 3 se trata de una adaptación de Caso 4) de la norma ASCE 7 (2022), que está pensada para evaluar el caso en que la torsión es máxima.

Aunado a las combinaciones de la tabla 6.2.3.1, las combinaciones de fuerzas inducidas por el viento también pueden ser evaluadas mediante pruebas experimentales en túnel de viento.

6.3 Relación de amortiguamiento total

6.3.1 La relación de amortiguamiento total, ζ_t , se compone de tres elementos:

- a) amortiguamiento estructural, ζ_{est} . En la tabla 6.3.1.1 se presentan algunos valores representativos de la relación de amortiguamiento estructural en función del tipo de estructura y material.

Tabla 6.3.1.1 - Valores representativos de ζ_{est}

Tipo de estructura	ζ_{est}
Edificios de concreto reforzado y presforzado	0.016
Edificios de acero	0.008
Estructuras mixtas de concreto y acero	0.013
Chimeneas y torres de concreto reforzado	0.010
Chimeneas de acero soldadas y sin recubrimientos:	
sin aislamiento térmico exterior	0.002
con aislamiento térmico exterior	0.003
Chimeneas de acero soldadas con recubrimiento:	
con una capa de recubrimiento y aislamiento térmico exterior	0.002-0.006
con dos o más capas de recubrimiento y aislamiento térmico exterior	0.003-0.006
Chimeneas de acero con recubrimiento interior de tabiques	0.011
Chimeneas de acero con recubrimiento interior de concreto lanzado	0.005
Torres de celosía soldadas	0.003
Torres de celosía atomilladas:	
tornillos de alta resistencia	0.005
tornillos de baja resistencia	0.008

Comentario:

Los valores presentados en la tabla 6.3.1.1 son informativos. Los usuarios de las normas deberán buscar en otras fuentes que complementen la información, con particular interés en amortiguamiento estructural como función del tipo de construcción, dimensiones del edificio y amplitud de la vibración. Para el caso de torres en que se combinen las conexiones soldadas y atomilladas, un criterio práctico es realizar una interpolación del amortiguamiento entre ambos casos.

- b) amortiguamiento aerodinámico, ζ_a . Su valor se determinará con pruebas experimentales en túnel de viento o con procedimientos establecidos en la literatura de la especialidad.
- c) amortiguamiento asociado con dispositivos de amortiguamiento auxiliar, ζ_d . Cuando se provea a la estructura de algún mecanismo de amortiguamiento auxiliar, el valor del amortiguamiento deberá ser considerado y estar justificado por estudios particulares. El Apéndice B incluye lineamientos generales de dispositivos de amortiguamiento auxiliar para mitigar las acciones del viento.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

7. EFECTO DE VÓRTICES PERIÓDICOS SOBRE ESTRUCTURAS CILÍNDRICAS

7.1 Vibraciones generadas en estructuras cilíndricas

7.1.1 En estructuras pertenecientes al Tipo 3 deberán tomarse en cuenta los efectos dinámicos generales y locales de las fuerzas perpendiculares a la dirección del viento causadas por vórtices alternantes. Para estructuras cilíndricas, esta acción se representará mediante una fuerza de inercia por unidad de longitud, actuando perpendicularmente a la dirección del viento, a una altura z ; esta fuerza se calcula de acuerdo con las ecuaciones de la tabla 7.1.1.1.

Tabla 7.1.1.1 - Ecuaciones empleadas para el cálculo de la fuerza de inercia por unidad de longitud para estructuras cilíndricas

Ecuación	Condición
$F_w = (2\pi n_{1,y})^2 m(z) \Phi_{1,y}(z) Y_{F,máx}$	
$Y_{F,máx} = \sigma_y k_p$	
$\sigma_y = b \left(c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2} \right)^{\frac{1}{2}}$	
$c_1 = \frac{a_L^2}{2} \left(1 - \frac{\xi_{t,y} m_e}{K_a \rho b^2} \right)$	
$c_2 = \frac{a_L^2 \rho b^2 C_{ar}^2 b}{K_a m_e S_t^4 H}$	
$k_p = \sqrt{2} \left[1 + 1.2 \arctan \left(0.75 \left(\frac{\xi_{t,y} m_e}{K_a \rho b^2} \right)^4 \right) \right]$	El valor del arco tangente resulta en radianes
$m_e = \frac{\int_0^H m(z) \Phi_{1,y}^2(z) dz}{\int_0^H \Phi_{1,y}^2(z) dz}$	
$K_a = K_{a,máx} \cdot (1 - 3I_v)$	para $0 \leq I_v \leq 0.25$
$K_a = 0.25 \cdot K_{a,máx}$	para $I_v > 0.25$
$V_{cr} = 5n_0 D$	
$R_e = \frac{b V_{cr}}{15 \times 10^{-6}}$	

7.1.1.1 Las constantes C_{ar} , $K_{a,máx}$ y a_L se tomarán de la tabla 7.1.1.1.1.

Tabla 7.1.1.1.1 - Constantes para la determinación de los efectos del desprendimiento de vórtices

Parámetro	Estructuras cilíndricas			Prismas cuadrados
	$Re \leq 10^5$	$Re = 5 \times 10^5$	$Re \geq 10^6$	
C_{ar}	0.02	0.005	0.01	0.04
$K_{a,máx}$	2.0	0.5	1.0	6.0
α_L	0.4	0.4	0.4	0.4

Para estructuras cilíndricas, las constantes C_{ar} y $K_{a,máx}$ varían linealmente con el logaritmo del número de Reynolds, para valores entre $10^5 < Re < 5 \times 10^5$ y $5 \times 10^5 < Re < 10^6$, por lo que pueden interpolarse para valores intermedios.

Comentario:

El procedimiento de la tabla 7.1.1.1.1 proviene del "Model code for Steel chimneys with commentaries" (CICIND, 2002) y sustituye al procedimiento anterior para el cálculo de las fuerzas debidas al desprendimiento de vórtices periódicos.

7.2 Vibraciones locales

7.2.1 Para el diseño local en flexión perpendicular a la dirección del viento por efecto de vorticidad, de estructuras de pared delgada, tales como chimeneas, deberá considerarse la respuesta de cada anillo de ancho unitario, tomando cualquier altura de la estructura, a una fuerza alternante normal al flujo, con magnitud calculada con el procedimiento de la tabla 7.1.1.1.1.

7.3 Omisión de efectos dinámicos de vorticidad

7.3.1 Los requisitos de las secciones 7.1 y 7.2 pueden omitirse en los siguientes casos:

a) Cuando por medio de observaciones en prototipos o en modelos representativos se demuestre que la forma, dimensiones o acabado exterior de la estructura son tales que no pueden formarse vórtices importantes cuando actúan sobre ella vientos con velocidad menor o igual que la de diseño.

b) Cuando se cumpla la condición siguiente:

$$V'_D(h) < 0.8 V_{cr} \quad (7.3.1.1)$$

Espacio en blanco dejado de manera intencional

8. ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO POR EFECTOS DEL VIENTO

8.1 Distorsiones permisibles

8.1.1 Se revisará que los desplazamientos relativos entre niveles consecutivos de edificios o entre secciones transversales de torres, causados por las fuerzas de diseño por viento, no excedan de los valores siguientes, expresados como fracción de la diferencia entre los niveles de piso o de las secciones transversales mencionadas:

- a) Cuando no existan elementos de relleno que puedan dañarse como consecuencia de las deformaciones angulares: 0.005
- b) Cuando existan elementos de relleno que puedan dañarse como consecuencia de las deformaciones angulares: 0.002.

8.1.2 En todos los casos, en el cálculo de los desplazamientos relativos se podrá deducir la componente debida a la flexión general del edificio o la torre que se diseñen. Los efectos de segundo orden podrán despreciarse cuando en todos los entrepisos o segmentos verticales de la estructura se cumpla la condición

$$\psi < 0.08 \frac{v}{w} \tag{8.1.2.1}$$

8.2 Desplazamientos permisibles en edificios altos

8.2.1 En edificios altos, se verificará que el desplazamiento lateral, calculado a la altura máxima del edificio, H , sea menor que $H/500$. El desplazamiento máximo podrá obtenerse de un análisis estructural considerando las fuerzas estáticas equivalentes, descritas en el capítulo 6.

Comentario: La altura del edificio, H , se considera a nivel de banqueta.

8.3 Aceleraciones permisibles en edificios altos

8.3.1 En edificios altos, se verificarán los niveles de aceleración debida a empujes dinámicos. Los procedimientos para la determinación de la aceleración inducida por el viento en edificios altos y los límites permisibles se establecen de acuerdo con el procedimiento adoptado. La aceleración inducida por el viento en edificios altos se calculará con uno de los siguientes procedimientos:

- a) Procedimiento simplificado

La aceleración máxima en la dirección del viento en el extremo superior del edificio se determina de acuerdo con las ecuaciones de la tabla 8.3.1.1. 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 8.3.1.2.

Tabla 8.3.1.1 - Ecuaciones empleadas para el cálculo de la aceleración máxima en la dirección del viento en el extremo superior del edificio

Ecuación	Condición
$\hat{a} = g \frac{1}{m_0} \rho b h C_a [V_D(z_s)]^2 I_v(z_s) R K$	
$g = \sqrt{2 \ln(600v)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \ln(600v)}}$	
$m_0 = \int_0^h \mu(z) \phi^2(z) dz$	

$\phi(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^\beta$	
$I_v(z_s) = \bar{d} \left(\frac{z_s}{10}\right)^{-\alpha'}$	$z_{min} < z_s \leq 200 \text{ m}$
$I_v(z_s) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right)}$	$z_s \leq z_{min}$
$L(z_s) = 300 \left(\frac{z_s}{200}\right)^{\bar{\alpha}}$	$z_s \geq z_{min}$
$L(z_s) = 300 \left(\frac{z_{min}}{200}\right)^{\bar{\alpha}}$	$z_s < z_{min}$
$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_t} S_L R_h R_b$	
$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6.8 \left(\frac{n_{1,x} L(z_s)}{V_D(z_s)}\right)}{\left[1 + 10.2 \left(\frac{n_{1,x} L(z_s)}{V_D(z_s)}\right)\right]^{5/3}}$	
$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h})$	$R_h = 1.0$ cuando $\eta_h = 0$
$\eta_h = \frac{4.6 h n_{1,x}}{V_D(z_s)}$	
$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b})$	$R_b = 1.0$ cuando $\eta_b = 0$
$\eta_b = \frac{4.6 b n_{1,x}}{V_D(z_s)}$	
$K = \frac{(1.67)^{2\alpha'}}{1 + \left(\frac{2\alpha' - \beta}{1 + 2\beta}\right)}$	

Los parámetros \bar{d} , z_0 , z_{min} , α' y $\bar{\alpha}$ son función de la rugosidad o categoría del terreno y sus valores se presentan en 3.2.2.2 y 6.2.2. C_a es el coeficiente de arrastre igual a 1.2. β 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. β también podrá estimarse a partir de la forma modal del edificio analizado.

Comentario:

La aceleración inducida por el viento, \hat{a} , tiene unidades de m/s^2 ; sin embargo, para su comparación con los límites de aceleración, la unidades deben ser transformadas a mili-g, que son las unidades internacionalmente empleadas para evaluar esta respuesta. Para transformar a mili-g, la aceleración en m/s^2 se multiplicará por 1000 y se dividirá por la aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2).

Tabla 8.3.1.2 - Ecuaciones de valores límites recomendados para las aceleraciones de edificios altos

Uso del edificio	Límite de aceleración (mili-g)
Oficinas	$-4.35 \ln(n_{1,x}) + 5.5$ para $0.2 \leq n_{1,x} \leq 1$
Residencial	$-2.36 \ln(n_{1,x}) + 3.0$ para $0.2 \leq n_{1,x} \leq 1$

$n_{1,x}$ es la frecuencia fundamental del modo de vibrar en flexión de la estructura, en la dirección longitudinal al flujo del viento, en Hz.

b) Procedimiento detallado

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

$$(\hat{a} \times F_{AI}) \leq a_c \tag{8.3.1.1}$$

Los valores de F_{AI} se seleccionarán de la tabla 8.3.1.3, en función del porcentaje de personas que perciben la aceleración y a_c se obtendrá de la figura 8.3.1.1.

Tabla 8.3.1.3 - Valores de F_{AI} y el porcentaje de personas que perciben la aceleración

Porcentaje de personas que perciben la aceleración	F_{AI}
10	1.95
20	1.50
30	1.20
40	1.00

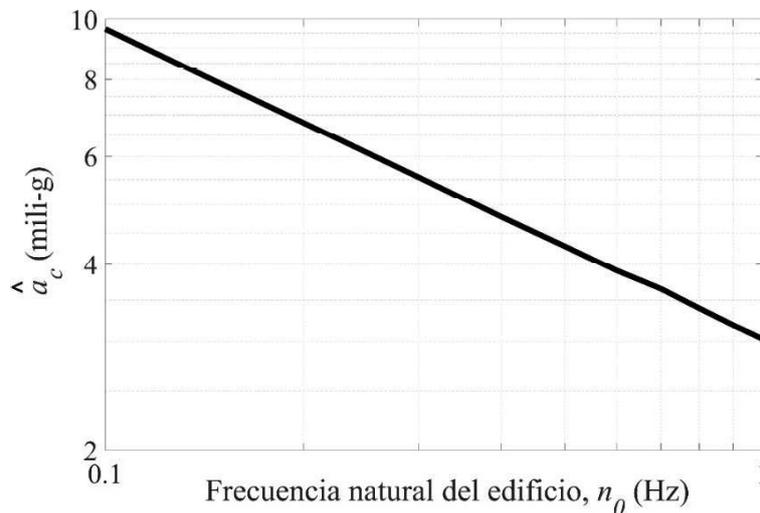


Figura 8.3.1.1 - Aceleración crítica, \hat{a}_c , en función de la frecuencia natural del edificio (n_0)

Comentario:

Anteriormente se proponía un valor de aceleración permisible único e independiente de la frecuencia de vibrar del edificio. Se ha reconocido internacionalmente que la percepción de la aceleración inducida por el viento depende de la frecuencia de vibrar (Burton, 2006; Burton et al., 2006; Kwok et al., 2015; Pozos-Estrada, 2018). Adicionalmente, también se reconoce que diferentes niveles de aceleración pueden ser percibidos por un porcentaje predefinido de los habitantes o usuarios del edificio (Pozos-Estrada, 2018). Por lo anterior se han incluido dos

procedimientos para la evaluación de la aceleración inducida por el viento en edificios altos, regulares de sección prismática. 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.

Para el procedimiento detallado, la aceleración máxima en la dirección del viento, \hat{a} , determinada en 8.3.1, inciso b) con unidades de m/s^2 transformadas a mili-g, es multiplicada por el factor de aceleración, F_{AI} , que depende del porcentaje de personas que percibirá la aceleración. La aceleración factorizada ($\hat{a} \times F_{AI}$) debe ser menor o igual que la aceleración crítica, a_c . Más detalles del desarrollo y aplicación del procedimiento detallado se presentan en Pozos-Estrada et al., (2010) y Pozos-Estrada (2018).

La aceleración inducida por el viento en edificios altos también puede obtenerse de pruebas experimentales en túnel de viento.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

APÉNDICE A. VELOCIDADES REGIONALES PARA PERIODOS DE RETORNO FIJO DE ALGUNAS COLONIAS PERTENECIENTES A LAS 16 DEMARCACIONES TERRITORIALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Tabla A.1 - Velocidad regional, V_R , para periodos de retorno fijo de algunas colonias pertenecientes a las 16 demarcaciones territoriales de la Ciudad de México

Álvaro Obregón			
Colonia	V_R (m/s)		
	Periodo de retorno		
	10 años	50 años	200 años
2da Ampliación La Mexicana	28.93	33.83	38.06
2da Ampliación Jalalpa Tepito	29.2	34.2	38.51
2da Ampliación Presidentes	29	33.92	38.17
2da del Moral del Pueblo Tetelpan	30.09	35.38	39.94
2do Reacomodo Tlacuitlapa	29.77	34.94	39.41
8 de Agosto	25.37	29.14	32.39
Abraham M. González	27.7	32.17	36.03
Acueducto	28.57	33.3	37.37
Acuilotla	29.75	34.94	39.4
Alcantarilla	30.7	36.19	40.93
Alfonso XIII	26.73	30.92	34.55
Altavista	27.36	31.89	35.79
Ampliación Acueducto	28.49	33.19	37.24
Ampliación Alpes	28.41	33.17	37.28
Ampliación Dos Ríos	29.84	35.05	39.55
Ampliación El Capulín	28.61	33.36	37.45
Ampliación Estado De Hidalgo	29.55	34.66	39.07
Ampliación Jalalpa	29.04	33.99	38.25
Ampliación La Cebada	28.94	33.85	38.09
Ampliación La Mexicana	28.84	33.72	37.92
Ampliación Las Águilas	29.64	34.79	39.23
Ampliación Los Pirules	29.61	34.74	39.17
Ampliación Piloto Adolfo López Mateos	29.19	34.17	38.48
Ampliación Tepeaca	29.52	34.62	39.02
Ampliación Tlacuitlapa	29.97	35.21	39.74
Arcos del Centenario	29.22	34.22	38.53
Arturo Martínez	28.61	33.39	37.51
Árvide	27.75	32.24	36.11
Atlamaya	27.71	32.32	36.3
Ave Real	29.55	34.66	39.06
Balcones de Ceguayo	29.77	34.95	39.42
Bejero del Pueblo Santa Fe	29.03	33.99	38.27
Belem de Las Flores	28.78	33.57	37.7
Bellavista	26.44	30.51	34.03
Barrio Alfalfar	27.08	31.39	35.1
Barrio La Otra Banda	29.18	34.26	38.64
Barrio Loreto	26.59	30.98	34.77
Barrio Norte	27.98	32.55	36.5
Barrio Santa Maria Nonoalco	26.33	30.4	33.92
Bonanza	28.41	33.12	37.17
Bosque	26.79	30.98	34.59
Calzada Jalapa	28.77	33.61	37.78
Campestre	26.39	30.59	34.21
Campo De Tiro	28.98	33.91	38.17
Canutillo	29.32	34.36	38.7
Canutillo II Sección	29.26	34.28	38.6
Canutillo III Sección	29.13	34.1	38.38
Cañada I Sección	28.79	33.64	37.83
Cañada II sección	28.73	33.56	37.73
Carlos A. Madrazo	29.1	34.09	38.4
Carola	26.77	30.96	34.58
Ceguaya	29.73	34.9	39.36
Chimalistac	25.45	29.54	33.07
Colina del Sur	29.28	34.3	38.63
Colinas de Tarango	29.02	33.96	38.22
Cooperativa Unión Olivos	29.59	34.72	39.16

Corpus Christy	29.83	35.03	39.53
Cove	28.94	33.73	37.86
Cristo Rey	28.15	32.76	36.74
Cuevitas	28.74	33.57	37.73
Desarrollo Urbano	28.66	33.46	37.6
Ejido San Mateo	30.38	35.79	40.45
El Árbol	28.96	33.88	38.12
El Bosque II Sección	27.32	31.67	35.42
El Capulín	28.66	33.42	37.53
El Cuernito	28.64	33.43	37.56
El Mirador Del Pueblo Tetelpan	29.91	35.14	39.65
El Pirul	28.43	33.14	37.21
El Pirul II Secc.	29.05	34.01	38.29
El Pirul Santa Fe	29.05	34.01	38.28
El Pocito	28.09	32.7	36.67
El Politoco	29.61	34.75	39.18
El Rincón	29.95	35.2	39.72
El Rodeo	27.79	32.3	36.2
El Ruedo	29.96	35.2	39.72
El Tejocote	28.45	33.18	37.25
Encino del Pueblo Tetelpan	30.14	35.43	40
Ermita Tizapán	28.96	33.97	38.28
Estado de Hidalgo	29.57	34.7	39.13
Ex Hacienda de Tarango	29.05	34	38.27
Ex Hacienda de Guadalupe Chimalistac	24.77	28.59	31.9
Flor de María	29.12	34.11	38.41
Florida	24.71	28.51	31.78
Francisco Villa	27.55	31.98	35.79
Galeana	28.81	33.66	37.85
Garcimarrero	29.47	34.56	38.95
Golondrinas	28.15	32.79	36.79
Golondrinas I Sección	28.11	32.72	36.7
Golondrinas II Sección	28.44	33.17	37.25
Guadalupe Inn	25.42	29.38	32.81
Herón Proal	29.45	34.52	38.9
Hidalgo	28.8	33.59	37.72
Hogar y Redención	28.46	33.2	37.3
Hueytale	29.09	34.05	38.33
Isidro Fabela	28.11	32.71	36.68
Jalalpa El Grande	29.54	34.67	39.09
Jalapa Tepito	28.92	33.82	38.05
Jardines del Pedregal	32.34	38.3	43.44
José María Pino Suarez	27.64	32.06	35.88
La Angostura	30.93	36.47	41.25
La Araña	29.51	34.61	39.01
La Cascada	27.29	31.67	35.45
La Conchita	28.26	32.9	36.9
La Estrella	28.79	33.64	37.83
La Herradura del Pueblo Tetelpan	28.96	33.93	38.21
La Huerta	29.04	33.99	38.27
La Joya	28.22	32.86	36.87
La Joyita del Pueblo Tetelpan	30.42	35.8	40.44
La Martinica	29.27	34.28	38.61
La Mexicana	28.91	33.81	38.03
La Milagrosa	29.94	35.17	39.69
La Palmita	28.74	33.56	37.73
La Peñita del Pueblo Tetelpan	30.23	35.56	40.15
La Presa	28.2	32.84	36.84
Ladera Grande	28.98	33.91	38.16
Las Águilas	28.66	33.51	37.69
Las Águilas I Sección	28.82	33.72	37.94
Las Águilas II Parque	29.99	35.24	39.76
Las Águilas II Parque	29.37	34.43	38.79
Las Américas	28.81	33.6	37.73
Liberación Proletaria	28.86	33.74	37.95
Liberales de 1857	28.54	33.27	37.35
Llano Redondo	29.91	35.14	39.65
Lomas Axomiatla	30.54	35.97	40.66
Lomas de Becerra	28.71	33.52	37.68
Lomas de Cápula	28.47	33.2	37.28

Lomas de Chamontoya	30.93	36.51	41.33
Lomas de Guadalupe	30.49	35.9	40.57
Lomas de La Era	31	36.59	41.42
Lomas de Las Águilas	30.37	35.74	40.37
Lomas de Los Ángeles del Pueblo Tetelpan	29.6	34.75	39.19
Lomas de Los Cedros	30.97	36.55	41.36
Lomas de Nuevo México	28.95	33.86	38.1
Lomas de Plateros	28.12	32.77	36.77
Lomas de Puerta Grande	29.57	34.69	39.1
Lomas de San Ángel Inn	28.81	33.75	38.01
Lomas de Santa Fe	28.87	33.78	38.02
Lomas de Tarango	29.03	33.98	38.25
Los Alpes	26.72	31.01	34.71
Los Cedros	29.46	34.54	38.93
Los Gamitos	29.03	33.97	38.24
Los Juristas	29.69	34.84	39.28
Margarita Masa de Juárez	28.94	33.85	38.09
María G. de García Ruiz	28.3	32.96	36.99
Mártires de Tacubaya	28.36	33.04	37.08
Merced Gómez	28.35	33.07	37.14
Miguel Gaona Armenta	29.93	35.18	39.71
Miguel Hidalgo	30.11	35.42	39.99
Minas Cristo Rey	27.22	31.56	35.31
Molino de Rosas	27.24	31.61	35.37
Molino de Santo Domingo	28.45	33.14	37.19
Ocotillos del Pueblo De Tetelpan	30.45	35.85	40.5
Olivar de Los Padres	30.82	36.32	41.07
Olivar del Conde I Sección	27.95	32.52	36.47
Olivar del Conde II Sección	28.73	33.56	37.73
Palmas	28.21	32.87	36.88
Palmas Axotitla	29.85	35.05	39.54
Paraíso	28.49	33.21	37.29
Paseo de Las Lomas	29.45	34.58	39.01
Pueblo Axotla	23.9	27.4	30.42
Pueblo Nuevo	28.99	33.93	38.19
Pueblo San Bartolo Ameyalco	30.83	36.37	41.15
Pueblo Santa Fe	29.02	33.98	38.26
Pueblo Santa Lucia	30.14	35.46	40.05
Pueblo Santa Lucia Chantepec	29.69	34.85	39.3
Pueblo Santa Rosa Xochiac	30.47	35.95	40.68
Pueblo Tetelpan	30.54	35.96	40.64
Pueblo Tizapan	29.91	35.19	39.74
Pueblo Tlacopac	27.03	31.43	35.23
Piloto Adolfo López Mateos	29.24	34.25	38.57
Pirul Santa Lucia	29.57	34.69	39.1
Pólvora	28.03	32.59	36.53
Ponciano Arriaga	29.31	34.34	38.68
Preconcreto	28.05	32.66	36.64
Presidentes	28.68	33.49	37.63
Presidentes I Secc.	28.78	33.63	37.81
Primera Victoria	27.48	31.88	35.67
Profesor J. Arturo López Martínez	28.9	33.8	38.03
Progreso Tizapán	29.62	34.8	39.26
Puente Colorado	30.11	35.4	39.96
Puerta Grande	29.67	34.81	39.25
Punta de Ceguayo	29.68	34.83	39.27
Rancho del Carmen del Pueblo San Bartolo Ameyalco	30.82	36.34	41.11
Rancho San Francisco del Pueblo San Bartolo Ameyalco	30.78	36.29	41.05
Reacomodo El Cuernito	27.98	32.55	36.49
Reacomodo Pino Suárez	28.24	32.85	36.84
Reacomodo Valentín Gómez Farfás	29.63	34.77	39.2
Real del Monte	28.44	33.12	37.16
Rincón de La Bolsa	30.81	36.32	41.08
Rinconada de Tarango	28.85	33.73	37.94
Rinconada La Cuevita	29.72	34.88	39.34
Sacramento	26.81	31.02	34.65
San Agustín Del Pueblo Tetelpan	29.85	35.06	39.55
San Ángel	27.51	32.09	36.04
San Ángel Inn	27.19	31.66	35.52
San Clemente Norte	29.73	34.9	39.36

San Clemente Sur	29.82	35.02	39.5
San Gabriel	29.17		38.54
San Jerónimo Aculco	31.82	37.62	42.62
San José del Olivar	30.4	35.78	40.42
San Pedro de Los Pinos	26.14	30.14	33.58
Santa Fe	29.63	34.8	39.27
Santa Fe Centro Ciudad	29.56	34.72	39.17
Santa Fe La Loma	29.7	34.9	39.38
Santa Fe Peña Blanca	29.45	34.57	39
Santa Fe Tlayapaca	29.81	35.03	39.54
Santa Lucía Chantepec	29.8	34.99	39.46
Tarango	30.47	35.87	40.54
Tecalcapa del Pueblo Tetelpan	29.82	35.02	39.51
Tecolalco	29.03	33.97	38.23
Tepeaca	29.61	34.74	39.17
Tepopotla	29.71	34.89	39.36
Tizampampano del Pueblo Tetelpan	29.89	35.12	39.64
Tlacoyaque	30.86	36.41	41.21
Tlacuítlapa	30.02	35.28	39.82
Tlapechico	29.12	34.11	38.41
Tolteca	27.15	31.45	35.15
Torres de Potrero	30.99	36.55	41.35
Villa Progresista	29.86	35.08	39.57
Villa Solidaridad	28.57	33.33	37.44
Villa Verdún	30.64	36.11	40.83
Zenón Delgado	28.51	33.25	37.33

Azcapotzalco

Aguilera	22.51	26	28.41
Aldana	22.62	26	28.45
Ampliación Cosmopolita	22.9	26.17	28.99
Ampliación del Gas	23.19	26.49	29.34
Ampliación Petrolera	25.39	29.51	33.06
Ampliación San Pedro Xalpa	25.45	29.6	33.19
Ángel Zimbron	24.86	28.73	32.06
Arenal	23.22	26.49	29.3
Barrio Coltongo	22.01	26	28
Barrio Huautla De Las Salinas	22.54	26	28.56
Barrio Los Reyes	24.71	28.61	31.98
Barrio Nextengo	24.82	28.74	32.12
Barrio Nuevo Barrio San Rafael	25.09	29.13	32.61
Barrio San Andrés	24.57	28.44	31.78
Barrio San Bernabé	23.95	27.54	30.64
Barrio San Marcos	24.85	28.8	32.22
Barrio San Mateo	25.39	29.51	33.06
Barrio Santa Apolonia	24.98	28.92	32.32
Barrio Santa Lucía	25.26	29.31	32.81
Centro De Azcapotzalco	24.92	28.89	32.32
Clavería	24.75	28.58	31.87
Coltongo	22	26	28
Cosmopolita	22.85	26.11	28.94
Del Gas	23.01	26.29	29.12
Del Maestro	24.41	28.2	31.47
Del Recreo	24.64	28.47	31.79
El Jagüey	23.71	27.31	30.42
El Rosario	26.47	30.96	34.84
Estación Pantaco	24.53	28.39	31.72
Euzkadi	22.83	26.12	28.96
Ex-Hacienda El Rosario	26.55	31.06	34.96
Ferrería	24.48	28.33	31.65
Ignacio Allende	23.24	26.57	29.44
Industrial San Antonio	25.33	29.42	32.95
Industrial Vallejo	24.4	28.22	31.51
Jardín Azpeitia	23.95	27.54	30.64
La Preciosa	25.47	29.63	33.21
La Raza	23.33	26.6	29.42
Las Salinas	23.31	26.78	29.78
Liberación	22.63	26	28.5
Libertad	24.08	27.76	30.93
Monte Alto	22.04	26	28
Nueva El Rosario	25.51	29.69	33.3

Nueva España	25.37	29.5	33.07
Nueva Santa María	24.03	27.56	30.61
Obrero Popular	24.25	27.9	31.04
Pasteros	26.08	30.44	34.21
Patrimonio Familiar	22.82	26.01	28.72
Pueblo San Andrés	24.92	28.9	32.34
Pueblo San Andres de Las Salinas	22.17	26	28.01
Pueblo San Bartolo Cahualtongo	25.57	29.74	33.35
Pueblo San Francisco Tetecala	25.1	29.12	32.59
Pueblo San Francisco Xocotitla	22.99	26.19	28.94
Pueblo San Juan Tlihuaca	26.39	30.85	34.7
Pueblo San Miguel Amantla	25.4	29.51	33.06
Pueblo San Pedro Xalpa	25.64	29.86	33.49
Pueblo Santa Barbara	24.92	28.91	32.36
Pueblo Santa Catarina	24.3	28.08	31.35
Pueblo Santa Cruz Acayucan	25.14	29.15	32.6
Pueblo Santa María Malinalco	24.45	28.24	31.52
Pueblo Santiago Ahuizotla	25.5	29.66	33.25
Pueblo Santo Domingo	25.5	29.67	33.26
Pueblo San Martín Xochinahuac	26.08	30.45	34.22
Petrolera	25.78	30.03	33.7
Plenitud	25.21	29.24	32.71
Porvenir	22.65	26	28.47
Potrero del Llano	22.66	26	28.64
Prados El Rosario	26.55	31.06	34.96
Pro Hogar	22.44	26	28.3
Providencia	26.26	30.68	34.5
Reynosa Tamaulipas	25.32	29.44	33
San Álvaro	24.85	28.69	32
San Antonio	25.52	29.69	33.29
San Rafael	25.04	29.05	32.51
San Salvador Xochimanco	24.43	28.12	31.3
San Sebastián	24.28	28.03	31.26
Santa Cruz de Las Salinas	22.4	26	28.34
Santa Inés	25.5	29.68	33.28
Santo Tomás	24.25	28	31.23
Sector Naval	24.06	27.7	30.84
Sindicato Mexicano de Electricistas	24.2	27.9	31.08
Tezozómoc	25.99	30.32	34.05
Tierra Nueva	26.48	30.98	34.86
Tlatilco	23.95	27.45	30.46
Trabajadores del Hierro	22	26	28
Un Hogar Para Cada Trabajador	23.95	27.55	30.66
Unidad Cuitláhuac	23.7	27.23	30.27
Victoria de Las Democracias	23.33	26.68	29.58
Benito Juárez			
8 de Agosto	25.19	28.91	32.11
Acacias	24.13	27.64	30.67
Actipán	24.53	28.14	31.26
Álamos	25.54	29.27	32.49
Albert	23.3	26.56	29.36
Américas Unidas	24.06	27.47	30.41
Ampliación Nápoles	24.88	28.52	31.66
Atenor Salas	25.25	28.92	32.08
Ciudad de Los Deportes	25.06	28.76	31.95
Crédito Constructor	24.57	28.23	31.39
Del Carmen	23.63	26.95	29.82
Del Lago	23.71	27.04	29.92
Del Valle Centro	24.42	27.92	30.95
Del Valle Norte	24.75	28.3	31.37
Del Valle Sur	24.5	28.08	31.18
Ermita	22.68	26	28.53
Extremadura Insurgentes	24.86	28.52	31.69
General Pedro María Anaya	23.02	26.24	29.01
Independencia	23.83	27.18	30.07
Insurgentes Mixcoac	25.4	29.23	32.53
Insurgentes San Borja	24.43	27.96	31
Iztaccíhuatl	24.63	28.17	31.23
Josefa Ortiz de Domínguez	24.32	27.79	30.78
Letrán Valle	23.74	27.07	29.95

Merced Gómez	25.78	29.72	33.13
Miguel alemán	24.41	27.89	30.89
Miravalle	22.82	26	28.71
Mixcoac	25.88	29.84	33.25
Moderna	25.3	28.99	32.17
Nápoles	24.75	28.34	31.45
Narvarte Oriente	25.15	28.79	31.93
Narvarte Poniente	24.89	28.47	31.56
Nativitas	24.21	27.65	30.63
Niños Héroes	24.3	27.76	30.74
Noche Buena	24.81	28.45	31.59
Periodista	23.94	27.31	30.22
Piedad Narvarte	25.1	28.73	31.86
Portales Norte	23.4	26.66	29.48
Portales Oriente	23.13	26.35	29.13
Portales Sur	22.92	26.09	28.83
Postal	24.59	28.11	31.15
Residencial Emperadores	23.23	26.47	29.27
San José Insurgentes	25.43	29.31	32.66
San Juan	25.35	29.15	32.43
San Pedro de Los Pinos	25.64	29.49	32.82
San Simón Ticumac	23.63	26.95	29.8
Santa Cruz Atoyac	23.54	26.85	29.71
Santa María Nonoalco	25.8	29.72	33.1
Tlacoquemécatl	24.48	28.05	31.13
Vértiz Narvarte	23.96	27.34	30.25
Villa De Cortés	24.41	27.9	30.91
Xoco	23.36	26.67	29.54
Zacahuiztco	23.42	26.7	29.53
Coyoacán			
Adolfo Ruiz Cortines	22.99	26.4	29.38
Ajusco	23.93	27.66	30.87
Alianza Popular Revolucionaria	23.81	27.32	30.35
Atlántida	22.18	26	28
Avante	23.29	26.7	29.64
Barrio del Niño Jesús	22	26	28
Barrio La concepción	22.01	26	28
Barrio Oxtopulco Universidad	24.67	28.55	31.9
Barrio San Lucas	22.08	26	28
Barrio Santa Catarina	23.69	27.23	30.29
Bosques de Tetlameya	24.73	28.59	31.91
Cafetales	24	27.52	30.56
Campestre Churubusco	22.82	26.03	28.81
Campestre Coyoacán	23.9	27.42	30.45
Cantil del Pedregal	24.63	28.5	31.84
Cantil del Pedregal	24.66	28.51	31.84
Carmen Serdán	23.85	27.36	30.39
Churubusco Country Club	22.71	26	28.6
Ciudad Jardín	22.48	26	28.46
Ciudad Universitaria	32.34	38.3	43.44
Copilco El Alto	22.18	26	28.34
Copilco El Bajo	25.47	29.6	33.16
Copilco Universidad	24.32	28.14	31.44
Cuadrante de San Francisco	22.11	26	28
Culhuacán CTM Sección X	23.95	27.46	30.49
Culhuacán CTM Canal Nacional	23.92	27.46	30.52
Culhuacán CTM CROC	23.49	26.93	29.9
Culhuacán CTM Sección I	23.29	26.66	29.58
Culhuacán CTM Sección II	23.35	26.75	29.68
Culhuacán CTM Sección III	23.44	26.86	29.81
Culhuacán CTM Sección IX-A	23.96	27.48	30.52
Culhuacán CTM Sección IX-B	24.06	27.6	30.65
Culhuacán CTM Sección Piloto	23.73	27.21	30.22
Culhuacán CTM Sección V	23.68	27.16	30.16
Culhuacán CTM Sección VI	23.64	27.11	30.1
Culhuacán CTM Sección VII	23.73	27.21	30.22
Culhuacán CTM Sección VIII	24.03	27.58	30.64
Culhuacán CTM Sección X-A	23.61	27.08	30.06
Del Carmen	23.48	26.93	29.91
Educación	22.88	26.17	29.01

El Caracol	24.78	28.7	32.08
El Centinela	22.56	26	28.56
El Mirador	24.01	27.51	30.53
El Parque de Coyoacán	24.02	27.64	30.77
El Reloj	23.41	26.89	29.9
El Rosario	22.61	26	28.7
El Rosedal	22.04	26	28
Emiliano Zapata	23.07	26.44	29.34
Emiliano Zapata Fraccionamiento Popular	23.86	27.37	30.4
Espartaco	23.88	27.47	30.56
Ex Ejido de Santa Úrsula Coapa	24.05	27.67	30.8
Ex Ejido San Pablo Tepetlapa	23.73	27.22	30.22
Ex Hacienda Coapa	24.02	27.64	30.77
Ex Ejido de San Francisco Culhuacán	23.27	26.65	29.57
Fraccionamiento Los Robles	23.71	27.25	30.3
Haciendas de Coyoacán	23.99	27.48	30.5
Hermosillo	22.83	26.06	28.86
Huayamilpas	22.3	26	28.29
Insurgentes Cuicuilco	30.21	35.63	40.3
Jardines de Coyoacán	23.82	27.35	30.4
Jardines del Pedregal de San Ángel	32.25	38.19	43.31
Joyas del Pedregal	24.24	28.01	31.26
La Otra Banda	28.1	32.91	37.06
Las Campanas	23.91	27.44	30.48
Los Cedros	23.84	27.35	30.37
Los Cipreses	23.65	27.13	30.14
Los Girasoles	24.02	27.59	30.68
Los Olivos	23.88	27.47	30.56
Los Sauces	23.99	27.52	30.57
Nueva Díaz Ordaz	22.65	26	28.77
Olímpica	25.46	29.59	33.16
Parque San Andrés	22.18	26	28
Paseos de Taxqueña	23.1	26.4	29.25
Pueblo de Los Reyes	22	26	28
Pueblo de San Pablo Tepetlapa	23.23	26.66	29.62
Pueblo de Santa Úrsula Coapa	24.33	28.11	31.36
Pueblo La Candelaria	22.57	26	28.65
Pedregal de Carrasco	26.92	31.46	35.38
Pedregal de San Francisco	22.04	26	28.01
Pedregal de Santa Úrsula	24.23	27.99	31.24
Pedregal de Santo Domingo	23.24	26.84	29.95
Petrolera Taxqueña	22.73	26	28.77
Prado Churubusco	23.11	26.38	29.21
Prados de Coyoacán	23.2	26.6	29.54
Prados de Coyoacán	23.66	27.17	30.19
Presidentes Ejidales I Sección	23.38	26.8	29.75
Presidentes Ejidales II Sección	23.44	26.88	29.84
Romero de Terreros	23.87	27.57	30.76
San Diego Churubusco	22.49	26	28.26
San Francisco Culhuacán Barrio de La Magdalena	23.33	26.72	29.63
San Francisco Culhuacán Barrio de San Francisco	23.43	26.85	29.79
San Francisco Culhuacán Barrio de San Juan	23.26	26.62	29.52
San Francisco Culhuacán Barrio de Santa Ana	23.21	26.57	29.47
San Mateo	22.21	26	28
Santa Cecilia	23.97	27.48	30.5
Viejo Ejido de Santa Úrsula Coapa	24.23	27.9	31.07
Villa Coyoacán	22.23	26	28
Villa Quietud	24.08	27.6	30.65
Xotepingo	22.92	26.26	29.14
Cuajimalpa de Morelos			
1° de Mayo	29.32	34.51	38.99
Abdias García Soto	29.62	34.85	39.36
Adolfo López Mateos	29.22	34.33	38.74
Agua Bendita	29.11	34.21	38.61
Ahuatenco	29	34.07	38.45
Amado Nervo	29.03	34.1	38.46
Ampliación El Yaqui	29.43	34.58	39.03
Ampliación Memetla	29.57	34.76	39.25
Bosques de Las Lomas	29	33.99	38.29
Campestre Palo Alto	29.12	34.15	38.48

Contadero	29.84	35.11	39.68
Cooperativa Palo Alto	28.91	33.86	38.12
Cruz Blanca	29.65	34.94	39.5
Cuajimalpa	29.5	34.69	39.17
Ébano	28.92	33.93	38.26
El Molinito	29.37	34.51	38.94
El Molino	29.35	34.48	38.9
El Yaqui	29.49	34.66	39.12
Granjas Navidad	29.15	34.22	38.6
Granjas Palo Alto	28.97	33.94	38.23
Jesús Del Monte	29.31	34.45	38.89
La Manzanita	29.38	34.54	38.99
La Pila	29.54	34.83	39.39
La Venta	29.67	34.94	39.49
Las Lajas	29.51	34.78	39.33
Las Maromas	29.54	34.81	39.36
Las Tinajas	29.72	34.96	39.48
Locaxco	29.57	34.77	39.27
Loma del Padre	29.51	34.74	39.25
Lomas de Chamizal	28.83	33.79	38.06
Lomas de Memetla	29.54	34.73	39.21
Lomas de San Pedro	29.62	34.83	39.32
Lomas de Vista Hermosa	29.39	34.52	38.94
Manzanastitla	29.05	34.12	38.49
Memetla	29.45	34.61	39.07
Pueblo San Lorenzo Acopilco	29.56	34.82	39.36
Pueblo San Mateo Tlaltenango	30.3	35.7	40.37
Pueblo San Pablo Chimalpa	29.23	34.38	38.83
San Jacinto	28.97	34.04	38.42
San José de Los Cedros	29.29	34.41	38.83
San Pedro	29.26	34.4	38.82
Santa Fe Cuajimalpa	30.21	35.56	40.18
Tepetongo	28.92	33.94	38.27
Tianguillo	29.65	34.93	39.5
Xalpa	29.63	34.94	39.52
Zacamulpa	28.88	33.95	38.32
Zentlapatl	29.43	34.61	39.09
Cuahtémoc			
Algarín	25.94	29.77	33.06
Ampliación Asturias	26.36	30.29	33.68
Asturias	26.16	30.04	33.39
Atlampa	24.07	27.53	30.52
Buenavista	25.29	29	32.2
Buenos Aires	25.46	29.17	32.37
Centro	27.28	31.41	34.98
Condesa	25.49	29.3	32.58
Cuahtémoc	25.53	29.37	32.67
Doctores	26.08	29.94	33.27
Esperanza	27.36	31.51	35.09
Ex Hipódromo de Peralvillo	25.66	29.44	32.7
Felipe Pescador	26.17	30.06	33.42
Guerrero	25.83	29.65	32.94
Hipódromo	25.19	28.89	32.08
Hipódromo Condesa	25.41	29.19	32.45
Juárez	25.48	29.26	32.54
Maza	25.96	29.8	33.12
Morelos	26.66	30.66	34.11
Nonoalco Tlatelolco	25.56	29.32	32.56
Obrera	26.78	30.79	34.25
Paulino Navarro	26.78	30.8	34.27
Peralvillo	25.71	29.51	32.78
Roma Norte	25.49	29.26	32.53
Roma Sur	25.26	28.94	32.11
San Rafael	25.22	28.92	32.12
San Simón Tolnahuac	24.56	28.1	31.15
Santa María Insurgentes	23.78	27.17	30.08
Santa María La Ribera	24.99	28.65	31.8
Tabacalera	25.43	29.17	32.39
Transito	27.19	31.31	34.85
Valle Gómez	26.22	30.13	33.5

Vista Alegre	26.41	30.34	33.73
Gustavo A. Madero			
15 de Agosto	28.05	32.36	36.07
25 de Julio	28.24	32.63	36.43
6 de Junio	25.91	29.99	33.52
7 de Noviembre	27.13	31.24	34.79
Acueducto de Guadalupe	24.9	28.77	32.1
Ahuehuetes	25.83	29.88	33.37
Ampliación C T M Aragón	28.16	32.71	36.63
Ampliación Casas alemán	28.44	32.82	36.63
Ampliación Castillo Grande	25.51	29.49	32.92
Ampliación Chalma de Guadalupe	25.52	29.57	33.07
Ampliación Emiliano Zapata	27.72	31.96	35.61
Ampliación Gabriel Hernández	27.83	32.14	35.86
Ampliación Mártires de Rio Blanco	27.62	31.85	35.49
Ampliación Panamericana	22.29	26	28.01
Ampliación Progreso Nacional	24.51	28.32	31.61
Ampliación Providencia	28.34	32.79	36.64
Ampliación San Juan de Aragón	28.14	32.45	36.17
Ampliación Arboledas	25.91	30.03	33.58
Ampliación Benito Juárez	25.51	29.48	32.91
Ampliación Cocoyotes	25.86	29.93	33.45
Ampliación Guadalupe Proletaria	24.63	28.43	31.71
Ampliación Malacates	25.85	29.98	33.54
Aragón Inguaran	27.85	32.12	35.8
Aragón La Villa	27.78	32.04	35.71
Arboledas	25.98	30.1	33.66
Barrio Candelaria Ticomán	25.43	29.33	32.7
Belisario Domínguez	27.39	31.55	35.15
Benito Juárez	25.44	29.39	32.8
Barrio Guadalupe Ticomán	25.78	29.74	33.15
Barrio La Laguna Ticomán	25.89	29.85	33.27
Barrio La Purísima Ticomán	25.16	28.99	32.3
Barrio San Juan Y Guadalupe Ticomán	25.74	29.7	33.12
Barrio San Rafael Ticomán	26.05	30.05	33.51
Bondojito	27.69	31.92	35.57
C T M Aragón	28.17	32.71	36.63
C T M Atzacolco	27.75	32.07	35.79
C T M El Risco	27.73	32.04	35.77
Campestre Aragón	28.42	32.81	36.63
Calputitlán	25.21	28.94	32.16
Castillo Chico	25.6	29.6	33.05
Castillo Grande	25.47	29.45	32.88
Cerro del Guerrero	27.87	32.17	35.87
Cerro Los Gachupines	27.52	31.76	35.42
Chalma de Guadalupe	25.49	29.53	33.02
Churubusco Tepeyac	23.49	26.84	29.73
Cocoyotes	25.82	29.89	33.39
Compositores Mexicanos	25.73	29.82	33.35
Constitución de La Republica	28.38	32.73	36.49
Cuautepec Barrio Alto	25.83	29.92	33.45
Cuautepec de Madero	25.66	29.69	33.17
Cuchilla del Tesoro	28.14	32.7	36.63
Cuchilla La Joya	27.36	31.52	35.11
DM Nacional	28.45	32.82	36.59
Defensores de la Republica	22.93	26.13	28.85
Del Bosque	25.48	29.49	32.94
Del Carmen	25.74	29.78	33.25
Del Obrero	28.05	32.4	36.16
Dinamita	27.94	32.24	35.95
El Arbolillo	25.35	29.3	32.71
El Coyol	28.45	32.82	36.59
El Olivo	28.38	32.79	36.59
El Tepetatal	25.71	29.8	33.32
Emiliano Zapata	26.88	30.93	34.43
Estanzuela	27.65	31.91	35.58
Estrella	27.58	31.8	35.44
Ex Escuela de Tiro	27.8	32.08	35.77
Ex Ejido San Juan de Aragón Sector 33	28.3	32.69	36.47
Faja de Oro	27.8	32.06	35.73

Fernando Casas alemán	27.86	32.17	35.89
Ferrocarrilera	28.45	32.81	36.59
Forestal	25.86	29.97	33.51
Forestal I	25.88	30	33.56
Forestal II	25.89	30.01	33.57
Gabriel Hernández	27.95	32.26	35.98
General Felipe Berriozábal	25.89	29.98	33.51
Gertrudis Sánchez I Secc.	27.96	32.24	35.94
Gertrudis Sánchez II Secc.	28.11	32.44	36.17
Gertrudis Sánchez III Secc.	27.93	32.22	35.93
Granjas Modernas	28.28	32.61	36.35
Guadalupe Insurgentes	25.68	29.52	32.84
Guadalupe Proletaria	24.7	28.54	31.84
Guadalupe Tepeyac	27.14	31.26	34.81
Guadalupe Victoria	25.46	29.44	32.87
Guadalupe Victoria	23.44	26.73	29.56
Héroes de Nacozari	22.86	26.05	28.75
Héroes de Cerro Prieto	27.84	32.13	35.84
Héroes de Chapultepec	28.38	32.76	36.54
Indeco	28.38	32.76	36.54
Industrial	27.08	31.22	34.8
Jorge Negrete	25.11	29	32.38
Juan González Romero	27.94	32.29	36.05
Juventino Rosas	25.75	29.83	33.36
La Casilda	25.95	30.05	33.59
La Cruz	28.04	32.36	36.08
La Esmeralda	28.44	32.82	36.6
La Joya	27.54	31.74	35.36
La Joyita	27.01	31.1	34.62
La Lengüeta	25.87	30	33.56
La Malinche	27.61	31.85	35.5
La Pastora	25.41	29.34	32.74
La Pradera	28.32	32.78	36.64
LI Legislatura	28.44	32.81	36.58
Lindavista Norte	26.95	31.1	34.67
Lindavista Sur	26.93	31.08	34.66
Lindavista Vallejo I Sección	23.32	26.76	29.73
Lindavista Vallejo II Sección	23	26.32	29.19
Lindavista Vallejo III Sección	22.3	26	28.12
Loma La Palma	25.68	29.75	33.26
Lomas de Cuauhtepic	25.79	29.9	33.45
Luis Donaldo Colosio	25.61	29.68	33.19
Magdalena de Las Salinas	26.73	30.84	34.39
Malacates	25.87	30	33.56
Martin Carrera	28.06	32.38	36.11
Mártires de Río Blanco	27.34	31.49	35.08
Maximino Ávila Camacho	23.2	26.46	29.27
Montevideo	23.83	27.27	30.23
Narciso Bassols	28.19	32.72	36.63
Nueva Atzacualco	28.3	32.68	36.47
Nueva Industrial Vallejo	25.11	28.88	32.13
Nueva Tenochtitlan	27.79	32.07	35.76
Nueva Vallejo	23.13	26.52	29.44
Palmatitla	25.85	29.93	33.45
Panamericana	22	26	28
Parque Metropolitano	25.78	29.89	33.43
Pueblo de Santiago Atzacualco	28.06	32.38	36.11
Pueblo San Juan de Aragón	28.38	32.79	36.62
Planetario Lindavista	23.47	26.85	29.76
Pradera II Sección	28.29	32.77	36.64
Prados de Cuauhtepic	25.61	29.68	33.19
Progreso Nacional	24.65	28.5	31.82
Providencia	28.36	32.79	36.63
Residencial Acueducto de Guadalupe	24.85	28.66	31.97
Residencial La Escalera	25.11	28.89	32.15
Residencial Zacatenco	26.92	31.06	34.63
Rosas del Tepeyac	27.51	31.75	35.41
Salvador Díaz Mirón	28.38	32.73	36.49
San Antonio	25.69	29.77	33.28
San Bartolo Atepehuacan	23.83	27.27	30.23

San Felipe de Jesús	28.29	32.68	36.5
San José de La Escalera	24.94	28.89	32.3
San José Ticomán	25.34	29.17	32.47
San Juan de Aragón	28.3	32.76	36.64
San Juan de Aragón I Secc.	28.24	32.62	36.41
San Juan de Aragón VII-A Secc.	28.37	32.81	36.64
San Juan de Aragón II Secc.	28.17	32.59	36.41
San Juan de Aragón III Secc.	28.22	32.71	36.58
San Juan de Aragón IV Secc.	28.23	32.73	36.61
San Juan de Aragón V Secc.	28.23	32.74	36.63
San Juan de Aragón VI Secc.	28.31	32.78	36.64
San Miguel	25.72	29.79	33.31
San Pedro El Chico	28.38	32.74	36.51
San Pedro Zacatenco	26.74	30.84	34.39
Santa Isabel Tola	27.48	31.72	35.37
Santa Rosa	25.04	29.04	32.49
Santiago Atepetlac	24.74	28.6	31.92
Siete Maravillas	24.68	28.43	31.67
Solidaridad Nacional	25.02	28.95	32.33
Santa María Ticomán	25.65	29.58	32.97
Tablas de San Agustín	27.47	31.65	35.26
Tepetates	27.45	31.68	35.33
Tepeyac Insurgentes	27.31	31.5	35.13
Tlacaelel	25.58	29.65	33.15
Tlacamaca	24.06	27.5	30.47
Tlalpexco	25.94	30.04	33.57
Torres Lindavista	24.45	28.12	31.29
Tres Estrellas	27.69	31.92	35.57
Triunfo de La Republica	27.85	32.14	35.84
Unidad Habitacional Cuchilla Del Tesoro	28.12	32.69	36.63
Unidad Habitacional Ejido San Juan De Aragón	28.31	32.76	36.61
Valle de Madero	25.63	29.68	33.17
Valle del Tepeyac	22.48	26	28.3
Vallejo	26.02	29.9	33.24
Vallejo Poniente	23.4	26.68	29.51
Vasco de Quiroga	28.28	32.64	36.4
Villa de Aragón	28.26	32.75	36.64
Villa Gustavo A. Madero	27.92	32.2	35.9
Villa Hermosa	27.92	32.26	36
Vista Hermosa	25.98	30.08	33.61
Zona Escolar	25.37	29.35	32.78
Zona Escolar Oriente	25.43	29.4	32.84
Iztacalco			
Agrícola Oriental	27.95	32.72	36.83
Agrícola Pantitlán	27.95	32.55	36.6
Ampliación Gabriel Ramos Millán	24.81	28.54	31.76
Barrio La Asunción	24.81	28.42	31.52
Barrio Los Reyes	25.35	29.08	32.3
Barrio San Francisco Xicaltongo	25.32	29.03	32.23
Barrio San Miguel	24.98	28.63	31.78
Barrio San Pedro	25.29	28.98	32.16
Barrio Santa Cruz	24.56	28.11	31.17
Barrio Santiago Norte	24.96	28.59	31.72
Barrio Santiago Sur	24.65	28.2	31.27
Barrio Zapotla	25.34	29.06	32.28
Campamento Dos de Octubre	24.46	28.01	31.06
Carlos Zapata Vela	24.53	28.2	31.37
Cuchilla Agrícola Oriental	27.07	31.4	35.14
El Rodeo	26.42	30.6	34.2
Ex Ejido La Magdalena Mixhuca	25.8	29.8	33.26
Fraccionamiento Coyuya	25.71	29.51	32.8
Gabriel Ramos Millán	25.3	29.11	32.39
Gabriel Ramos Millán Sección Bramadero	25.51	29.43	32.81
Gabriel Ramos Millán Sección Cuchilla	25.41	29.32	32.69
Gabriel Ramos Millán Sección Tlacotal	25.29	29.03	32.26
Granjas México	26.88	31.14	34.82
Infonavit Iztacalco	24.41	27.95	31.01
Inpi Picos	24.43	28.01	31.09
Jardines Tecma	24.51	28.05	31.11
Juventino Rosas	24.98	28.64	31.8

La Cruz	26.07	29.96	33.33
Los Picos De Iztacalco Sección I-A	24.63	28.2	31.29
Los Picos De Iztacalco Sección I-B	24.56	28.13	31.22
Los Picos De Iztacalco Sección II-A	24.48	28.05	31.13
Militar Marte Iztacalco	24.12	27.54	30.5
Nueva Santa Anita	25.64	29.41	32.66
Reforma Iztaccíhuatl Norte	24.65	28.19	31.25
Reforma Iztaccíhuatl Sur	23.77	27.15	30.06
Santa Anita	26.02	29.89	33.22
Tlazintla	25.34	29.08	32.31
Viaducto Piedad	25.92	29.75	33.06

Iztapalapa

12 de Diciembre	24.01	27.58	30.66
Albarrada	26.15	30.4	34.06
Allepetlalli	24.75	28.51	31.77
Álvaro Obregón	27.57	32.27	36.32
Ampliación Bellavista	25.18	29.13	32.54
Ampliación El Santuario	24.41	28.11	31.3
Ampliación El Triunfo	23.83	27.24	30.19
Ampliación Emiliano Zapata	26.28	30.73	34.58
Ampliación Los Reyes	23.96	27.52	30.59
Ampliación Paraje San Juan	25.31	29.3	32.74
Ampliación San Miguel	25.82	29.97	33.55
Ampliación Santa María Aztahuacan	26.62	31.07	34.91
Ampliación Sinatel	23.31	26.59	29.42
Ampliación Veracruzana	24.47	28.19	31.4
Ampliación Ricardo Flores Magón	24	27.57	30.65
Año de Juárez	24.88	28.72	32.04
Apatlaco	24.05	27.49	30.45
Banjidal	23.07	26.28	29.05
Barranca de Guadalupe	26.05	30.34	34.04
Bellavista	25.06	28.97	32.34
Benito Juárez	24.71	28.5	31.77
Barrio de Guadalupe	24.81	28.63	31.92
Barrio La Asunción	24.56	28.29	31.51
Barrio San Antonio	24.8	28.6	31.88
Barrio San Antonio Culhuacán	23.54	26.98	29.94
Barrio San Ignacio	24.42	28.11	31.28
Barrio San José	24.8	28.61	31.89
Barrio San Lorenzo	24.82	28.62	31.91
Barrio San Lucas	24.42	28.11	31.3
Barrio San Miguel	25.7	29.81	33.36
Barrio San Pablo	24.86	28.7	32.01
Barrio San Pedro	25.49	29.51	32.97
Barrio San Simón Culhuacán	23.88	27.42	30.47
Barrio Santa Barbara	23.97	27.51	30.57
Barrio Tula	23.48	26.9	29.86
Buenavista	26.15	30.45	34.16
Cacama	23.15	26.43	29.26
Campestre Potrero	26.13	30.54	34.34
Cananea	24.67	28.4	31.63
Carlos Hank González	25.89	30.08	33.7
Carlos Jonguitud Barrios	24.27	27.9	31.04
Casa Blanca	25.36	29.36	32.82
Celoalliotli	24.84	28.64	31.93
Central de Abasto	26.32	30.56	34.22
Cerro de la Estrella	25.03	28.92	32.28
Chinampac de Juárez	28.01	32.81	36.96
Citlalli	26.5	30.93	34.75
Colonial Iztapalapa	26.23	30.52	34.23
Consejo Agrarista Mexicano	25.61	29.71	33.25
Constitución de 1917	26.31	30.63	34.36
Cuchilla del Moral	27.34	31.92	35.87
Degollado	25.64	29.75	33.31
Desarrollo Urbano Quetzalcóatl	26.08	30.35	34.04
Dr. Alfonso Ortiz Tirado	26.62	30.93	34.66
Ejército de Agua Prieta	27.45	32.12	36.14
Ejército de Oriente	27.8	32.55	36.65
Ejército de Oriente Zona Peñón	27.38	32.04	36.05
El Edén	27.05	31.64	35.6

El Manto	25.07	28.97	32.35
El Mirador	24.07	27.67	30.77
El Molino	24.73	28.53	31.81
El Molino Tezonco	24.79	28.58	31.85
El Paraíso	27.61	32.33	36.4
El Prado	22.86	26.06	28.82
El Retoño	23.67	27.02	29.92
El Rodeo	25.33	29.33	32.78
El Rosario	24.9	28.74	32.05
El Santuario	24.48	28.2	31.41
El Sifón	23.71	27.13	30.08
El Triangulo	25.51	29.58	33.09
El Triunfo	23.9	27.32	30.26
El Vergel	24.7	28.48	31.74
Ermita Zaragoza	26.96	31.56	35.53
Escuadrón 201	23.65	27.07	30.01
Estado de Veracruz	24.54	28.28	31.51
Estrella Culhuacán	23.72	27.21	30.22
Estrella del Sur	24.05	27.64	30.74
Eva Sámano De López Mateos	26.19	30.45	34.12
Francisco Villa	25.76	29.9	33.47
Fuego Nuevo	24.17	27.8	30.92
Granjas de San Antonio	23.81	27.29	30.3
Granjas Esmeralda	23.36	26.72	29.62
Granjas Estrella	24.51	28.24	31.45
Guadalupe del Moral	26.74	31.15	34.95
Héroes de Churubusco	23.4	26.76	29.65
Insurgentes	25.71	29.84	33.4
Ixtlahuacán	26.56	31.04	34.9
Jacarandas	26.37	30.71	34.45
Jardines de Churubusco	23.79	27.23	30.21
Jardines de San Lorenzo Tezonco	24.69	28.44	31.68
José López Portillo	24.6	28.33	31.54
José María Morelos y Pavón	27.38	32.04	36.07
Juan Escutia	28.02	32.79	36.91
Justo Sierra	23.1	26.33	29.11
La Era	25.98	30.2	33.84
La Esperanza	24.79	28.6	31.88
La Planta	24.85	28.66	31.95
La Polvorilla	25.54	29.63	33.16
La Regadera	26.03	30.24	33.88
Las Peñas	26.04	30.28	33.94
Leyes de Reforma I Secc.	26.28	30.56	34.26
Leyes de Reforma II Secc.	26.92	31.39	35.25
Leyes de Reforma III Secc.	27.86	32.61	36.71
Lomas de La Estancia	26.4	30.82	34.64
Lomas de San Lorenzo	25.24	29.21	32.64
Lomas de Santa Cruz	26.12	30.4	34.1
Lomas de Zaragoza	26.72	31.24	35.15
Lomas El Manto	24.74	28.54	31.82
Lomas Estrella	24.34	28.01	31.17
Los Ángeles	25.76	29.89	33.46
Los Ángeles Apanoaya	25.77	29.91	33.49
Los Cipreses	23.59	27.02	29.98
Miguel de La Madrid Hurtado	26.57	31.06	34.92
Minerva	23.51	26.92	29.86
Miravalles	26.36	30.79	34.62
Mixcóatl	25.68	29.8	33.37
Monte Alban	26.83	31.35	35.25
Nueva Rosita	23.84	27.28	30.26
Palmitas	26.39	30.77	34.56
Paraje San Juan	25.43	29.45	32.93
Paraje San Juan Cerro	25.06	28.97	32.34
Paraje Zacatepec	26.9	31.44	35.36
Parque Nacional Cerro de La Estrella	24.69	28.48	31.75
Paseos de Churubusco	25.8	29.84	33.33
Pueblo Aculco	23.85	27.32	30.32
Pueblo Culhuacán	23.71	27.2	30.21
Pueblo Los Reyes Culhuacán	23.59	27.03	30
Pueblo Magdalena Atlazolpa	23.85	27.28	30.24

Pueblo Mexicaltzingo	23.32	26.66	29.54
Pueblo San Andrés Tomatlán	23.84	27.36	30.4
Pueblo San Juanico Nextipac	23.66	27.03	29.95
Pueblo San Lorenzo Tezonco	25.49	29.54	33.05
Pueblo San Lorenzo Xicoténcatl	27.66	32.39	36.46
Pueblo San Sebastián Tecoloxtitla	27.07	31.67	35.64
Pueblo Santa María Aztahuacan	26.87	31.4	35.3
Pueblo Santa Martha Acatitla	27.04	31.65	35.62
Pueblo Santiago Acahualtepec	26.72	31.24	35.15
Pueblo Santa Cruz Meyehualco	26.38	30.74	34.51
Pueblo Santa María Tomatlán	24.14	27.75	30.86
Plan de Iguala	24.89	28.74	32.06
Presidentes de México	25.68	29.8	33.36
Progresista	26.42	30.76	34.5
Progreso del Sur	23.43	26.82	29.74
Puente Blanco	25.28	29.26	32.69
Purísima Atlazolpa	23.94	27.39	30.36
Real del Moral	26.21	30.38	33.98
Reforma Política	26.47	30.88	34.68
Renovación	27.46	32.12	36.14
Ricardo Flores Magón	24.07	27.66	30.75
San Andrés Tetepilco	23.67	27.02	29.91
San Antonio Culhuacán	23.62	27.08	30.07
San José Aculco	24.15	27.72	30.8
San José Buenavista	25.89	30.1	33.74
San Juan Estrella	25.1	29.02	32.4
San Juan Joya	25.46	29.5	32.98
San Juan Xalpa	25.03	28.92	32.29
San Miguel VIII ampliación	25.29	29.27	32.71
San Miguel Teotongo (Secc. Acorralado)	26.47	30.94	34.8
San Miguel Teotongo (Secc. Avisadero)	26.28	30.71	34.53
San Miguel Teotongo (Secc. Corrales)	26.34	30.77	34.6
San Miguel Teotongo (Secc. Guadalupe)	26.37	30.83	34.69
San Miguel Teotongo (Secc. Jardines)	26.44	30.91	34.77
San Miguel Teotongo (Secc. La Cruz)	26.35	30.8	34.64
San Miguel Teotongo (Secc. Las Torres)	26.48	30.96	34.83
San Miguel Teotongo (Secc. Loma Alta)	26.31	30.75	34.59
San Miguel Teotongo (Secc. Mercedes)	26.52	31.01	34.88
San Miguel Teotongo (Secc. Palmitas)	26.4	30.86	34.71
San Miguel Teotongo (Secc. Rancho Bajo)	26.46	30.95	34.82
San Miguel Teotongo (Secc. Rancho Bajo)	26.26	30.68	34.5
San Miguel Teotongo (Secc. Iztlahuaca)	26.43	30.88	34.73
San Miguel Teotongo Secc. Capilla	26.4	30.87	34.73
San Miguel Teotongo Secc. Puente	26.62	31.14	35.04
San Nicolas Tolentino	25.05	28.95	32.32
San Pablo	26.28	30.68	34.48
Santa Cruz Meyehualco	27.31	31.92	35.91
Santa Isabel Industrial	23.88	27.41	30.45
Santa María Aztahuacan	27.19	31.78	35.75
Santa María del Monte	24.61	28.37	31.62
Santa Martha Acatitla Norte	27.54	32.24	36.3
Santa Martha Acatitla Sur	27.51	32.21	36.26
Santiago Acahualtepec I Ampliación	26.71	31.22	35.12
Santiago Acahualtepec II Ampliación	26.68	31.18	35.05
Sector Popular	23.56	26.94	29.85
Sideral	27.17	31.72	35.65
Sinatel	23.01	26.24	29.02
Tenorios	26.22	30.56	34.31
Tepalcates	28.04	32.83	36.97
Unidad Habitacional 28 de Junio	25.61	29.72	33.28
Unidad Habitacional Los Picos VI-B	23.88	27.33	30.32
Unidad Ejército Constitucionalista	28.04	32.83	36.97
Unidad Modelo	23.39	26.71	29.56
Unidad Vicente Guerrero	26.91	31.4	35.28
USCOVI	24.76	28.54	31.8
Valle de Luces	24.11	27.72	30.83
Valle de San Lorenzo	24.64	28.37	31.6
Valle del Sur	23.42	26.81	29.74
Xalpa	26.63	31.1	34.96
Zacahuitzco	23.66	27	29.88

La Magdalena Contreras			
Ampliación Lomas de San Bernabé	31.06	36.69	41.54
Ampliación Potrerillo	31.31	36.99	41.89
Atacaxco	31.4	37.09	42.01
Barranca Seca	31.72	37.51	42.5
Barrio Las Calles	31.78	37.58	42.59
Barrio San Francisco	31.73	37.5	42.49
Barros Sierra	31.4	37.09	42
Cerro Del Judío	31.26	36.91	41.78
Crescencio Juárez Chavira	31.21	36.88	41.77
Cuauhtémoc	31.42	37.12	42.03
El Ermitaño	31.2	36.87	41.76
El Maestro	29.84	35.08	39.6
El Ocotel	31.3	36.99	41.89
El Rosal	31.47	37.19	42.12
El Tanque	31.14	36.75	41.59
El Toro	31.52	37.25	42.19
Héroes de Padierna	31.96	37.81	42.85
Huayatla	31.18	36.83	41.71
La Carbonera	31.45	37.17	42.11
La Concepción	31.8	37.61	42.62
La Cruz	31.79	37.58	42.58
La Guadalupe	31.84	37.65	42.67
La Malinche	31.37	37.05	41.94
Las Cruces	31.22	36.87	41.74
Las Huertas	31.68	37.47	42.45
Lomas de San Bernabé	31.13	36.76	41.62
Lomas Quebradas	31.55	37.29	42.24
Los Padres	31.29	36.94	41.83
Palmas	31.35	37.04	41.94
Plazuela Del Pedregal	31.8	37.61	42.62
Potreriillo	31.46	37.18	42.11
Pueblo La Magdalena	31.64	37.41	42.39
Pueblo Nuevo Alto	31.47	37.19	42.12
Pueblo Nuevo Bajo	31.57	37.32	42.28
Pueblo San Bernabé Ocotepc	31.33	37.01	41.92
Pueblo San Nicolás Totolapan	31.77	37.57	42.57
San Bartolo Ameyalco	31.15	36.76	41.59
San Francisco	31.79	37.58	42.58
San Jerónimo Aculco	31.77	37.56	42.55
San Jerónimo Lídice	31.63	37.37	42.33
Santa Teresa	31.92	37.75	42.78
Tierra Unida	31.08	36.71	41.57
Vista Hermosa	31.29	36.97	41.86
Miguel Hidalgo			
10 de Abril	25.88	29.99	33.53
16 de Septiembre	29.04	33.89	38.08
5 de Mayo	25.77	29.83	33.33
Agricultura	24.75	28.4	31.55
Ahuehuetes Anáhuac	25.4	29.33	32.73
América	29.23	34.12	38.34
Ampliación Daniel Garza	29.04	33.87	38.04
Ampliación Granada	26.39	30.6	34.24
Ampliación Popo	25.85	29.91	33.42
Ampliación Torre Blanca	25.52	29.54	33.01
Anáhuac I Secc.	25.54	29.44	32.8
Anáhuac II Secc.	25.12	28.9	32.15
Anzures	25.61	29.5	32.86
Argentina Antigua	25.54	29.58	33.07
Argentina Poniente	25.51	29.56	33.05
Bosque de Chapultepec I Secc.	27.23	31.6	35.37
Bosque de Chapultepec II Secc.	29.15	34.03	38.23
Bosque de Chapultepec III Secc.	28.84	33.66	37.82
Bosque de Las Lomas	28.58	33.42	37.6
Cuauhtémoc Pensil	25.83	29.88	33.37
Daniel Garza	29.23	34.12	38.34
Deportivo Pensil	25.77	29.84	33.35
Dos Lagos	25.61	29.57	32.99
Escandón I Secc.	25.26	28.99	32.2
Escandón II Secc.	24.92	28.54	31.66

Francisco I. Madero	25.88	29.98	33.51
Granada	26.39	30.6	34.24
Huichapán	25.27	29.24	32.67
Ignacio Manuel Altamirano	25.17	29.13	32.55
Irrigación	26.47	30.72	34.39
Lago Norte	25.37	29.28	32.66
Lago Sur	25.46	29.39	32.78
Legaria	25.35	29.32	32.74
Lomas Altas	28.74	33.6	37.79
Lomas de Bezares	28.83	33.75	37.98
Lomas de Chapultepec I Secc.	28.52	33.29	37.41
Lomas de Chapultepec II Secc.	28.21	32.91	36.96
Lomas de Chapultepec III Secc.	27.42	31.9	35.77
Lomas de Chapultepec IV Secc.	28.64	33.42	37.54
Lomas de Chapultepec V Secc.	27.97	32.59	36.58
Lomas de Chapultepec VI Secc.	28.42	33.16	37.25
Lomas de Chapultepec VII Secc.	28.61	33.4	37.53
Lomas de Chapultepec VIII Secc.	28.1	32.79	36.84
Lomas de Reforma	28.54	33.34	37.48
Lomas de Sotelo	25.99	30.15	33.74
Lomas Hermosa	26.08	30.25	33.85
Los Manzanos	25.44	29.35	32.72
Manuel Ávila Camacho	26.78	31.13	34.89
Mariano Escobedo	25.27	29.12	32.45
México Nuevo	25.64	29.7	33.2
Modelo Pensil	25.71	29.71	33.16
Molino del Rey	27.6	32.09	35.96
Nextitla	24.56	28.25	31.43
Observatorio	29.21	34.08	38.28
Panteón Civil de Dolores	29.14	34.02	38.22
Pensil Norte	25.69	29.72	33.2
Pensil Sur	25.77	29.82	33.31
Peralitos	25.28	29.17	32.53
Periodista	26.12	30.31	33.92
Plutarco Elías Calles	24.46	28.1	31.25
Polanco I Secc.	26.98	31.34	35.1
Polanco II Secc.	27.11	31.48	35.24
Polanco III Secc.	26.94	31.26	34.99
Polanco IV Secc.	26.87	31.14	34.83
Polanco V Secc.	26.49	30.64	34.22
Popo	25.88	29.97	33.5
Popotla	24.99	28.82	32.11
Real de Las Lomas	28.62	33.45	37.62
Reforma Pensil	25.61	29.61	33.06
Reforma Social	27.19	31.63	35.47
Residnc. Militar	27.04	31.45	35.25
San Diego Ocoyoacac	25.12	29.05	32.45
San Joaquín	25.83	29.92	33.46
San Juanico	25.35	29.3	32.71
San Lorenzo Tlatenango	25.28	29.28	32.77
San Miguel Chapultepec I Secc.	26.63	30.77	34.34
San Miguel Chapultepec II Secc.	26.36	30.42	33.92
Santo Tomas	24.54	28.21	31.38
Tacuba	25.26	29.19	32.59
Tacubaya	25.26	28.99	32.21
Tlaxpana	25.11	28.86	32.1
Torre Blanca	25.39	29.38	32.82
Un Hogar Para Nosotros	24.72	28.38	31.53
Ventura Pérez de Alva	25.44	29.44	32.88
Verónica Anzures	25.4	29.25	32.57
Milpa Alta			
Barrio Centro	25.62	29.76	33.33
Barrio Chalmita	25.75	29.95	33.57
Barrio Cruztitla	25.38	29.54	33.14
Barrio La Concepción	25.46	29.64	33.25
Barrio La Lupita Tetipac	25.5	29.76	33.43
Barrio La Lupita Xolco	25.5	29.72	33.36
Barrio La Luz	25.48	29.65	33.25
Barrio Los Ángeles	25.47	29.65	33.26
Barrio Nochtla	25.38	29.46	32.98

Barrio Ocotitla	25.45	29.55	33.09
Barrio Panchimalco	25.46	29.58	33.13
Barrio San Agustín	25.47	29.67	33.29
Barrio San José	25.5	29.75	33.41
Barrio San Juan del Pueblo San Pablo Oztotepec	25.64	29.81	33.4
Barrio San Marcos	25.54	29.82	33.51
Barrio San Mateo	25.47	29.63	33.22
Barrio San Miguel	25.53	29.79	33.47
Barrio San Miguel	25.76	29.95	33.56
Barrio Santa Cruz	25.43	29.6	33.19
Barrio Santa Martha	25.43	29.59	33.17
Barrio Tecaxtitla	25.36	29.52	33.11
Barrio Tenantitla	25.36	29.53	33.12
Barrio Tula	25.39	29.45	32.96
Barrio Xaltipac	25.38	29.58	33.2
Barrio Xochitepec	25.39	29.6	33.23
La Conchita	25.4	29.64	33.3
Pueblo San Agustín Ohtenco	25.45	29.63	33.25
Pueblo San Bartolomé Xicomulco	25.44	29.48	32.98
Pueblo San Francisco Tecoxpa	25.43	29.62	33.25
Pueblo San Juan Tepenhuac	25.47	29.71	33.36
Pueblo San Lorenzo Tlacoyucan	25.61	29.83	33.47
Pueblo San Jerónimo Miacatlán	25.46	29.67	33.31
Pueblo San Salvador Cuauhtenco	25.8	29.96	33.55
Villa Milpa Alta Centro	25.44	29.6	33.19
Tláhuac			
3 de Mayo	25.68	29.91	33.56
Agrícola Metropolitana	25.07	28.98	32.36
Ampliación José López Portillo	25.65	29.82	33.41
Ampliación Santa Catarina	25.88	30.26	34.03
Ampliación Selene	25.65	29.88	33.53
Ampliación Zapotitla	25.53	29.62	33.15
Ampliación La Conchita	25.34	29.48	33.05
Ampliación Los Olivos	25.33	29.34	32.79
Barrio La Soledad	25.35	29.5	33.08
Barrio Santa Cruz	25.39	29.65	33.33
Barrio Santiago Centro	25.52	29.64	33.19
Barrio Santiago Norte	25.55	29.67	33.22
Barrio Santiago Sur	25.45	29.54	33.06
Barrio Guadalupe Santa Catarina Yec	25.85	30.19	33.94
Barrio La Asunción	25.44	29.58	33.16
Barrio La Concepción	25.83	30.18	33.93
Barrio La Guadalupe	25.93	30.31	34.08
Barrio La Magdalena	25.4	29.53	33.09
Barrio Los Reyes	25.39	29.62	33.28
Barrio San Agustín	25.39	29.62	33.27
Barrio San Andrés	25.4	29.54	33.11
Barrio San Bartolomé	25.39	29.64	33.31
Barrio San Juan	25.4	29.51	33.06
Barrio San Mateo	25.44	29.6	33.18
Barrio San Miguel	25.81	30.14	33.88
Barrio Santa Ana	25.39	29.51	33.06
Barrio Santa Ana Centro	25.34	29.37	32.84
Barrio Santa Ana Norte	25.54	29.64	33.18
Barrio Santa Ana Poniente	25.37	29.4	32.88
Barrio Santiago	25.86	30.23	34
Barrio Santa Ana Sur	25.31	29.33	32.8
Chichilaula	25.87	30.23	33.99
Del Mar	25	28.87	32.22
El Rosario	25.33	29.46	33.01
El Triangulo	25.48	29.62	33.18
Francisco Villa	25.35	29.48	33.04
Granjas Cabrera	24.91	28.76	32.08
Guadalupe Tlaltenco	25.61	29.78	33.39
Jaime Torres Bodet	25.35	29.5	33.09
Jardines del Llano	25.37	29.54	33.15
La Asunción	25.36	29.51	33.09
La Conchita Zapotitlán	25.38	29.44	32.94
La Draga	25.15	29.11	32.52
La Estación	25.54	29.63	33.16

La Habana	25.44	29.61	33.2
La Lupita	25.36	29.51	33.08
La Meza	25.91	30.27	34.03
La Nopalera	25.16	29.1	32.5
La Turba	24.98	28.84	32.18
Las Arboledas	25.41	29.45	32.94
López Portillo	25.59	29.74	33.31
Los Olivos	25.07	28.98	32.35
Miguel Hidalgo	25.22	29.2	32.63
Ojo de Agua	25.54	29.69	33.27
Pueblo San Francisco Tlaltenco	25.66	29.88	33.53
Pueblo San Nicolas Tetelco	25.39	29.63	33.28
Pueblo Santa Catarina Yecahuizotl	25.9	30.26	34.02
Peña Alta	25.32	29.43	32.98
Potrero del Llano	25.35	29.52	33.11
Quiahuatla	25.37	29.5	33.06
San Isidro	25.32	29.41	32.94
San José	25.52	29.71	33.32
San Sebastián	25.35	29.46	33.01
Selene	25.64	29.85	33.49
Santa Cecilia	25.49	29.65	33.23
Teozoma	25.93	30.3	34.07
Tepantitlamilco	25.38	29.61	33.26
Tierra Blanca	25.34	29.47	33.03
Villa Centro Americana	25	28.89	32.24
Zacatenco	25.52	29.63	33.18
Zapotitla	25.54	29.64	33.17
Tlalpan			
Ampliación Fuentes del Pedregal	32.14	38.04	43.13
Ampliación Isidro Fabela	26.51	30.9	34.69
A.M.S.A.	24.67	28.36	31.55
Arboledas del Sur	24.51	28.2	31.41
Arenal de Guadalupe	24.93	28.76	32.08
Arenal Tepepan	25.41	29.4	32.84
Belisario Domínguez	24.15	27.79	30.93
Belisario Domínguez Secc. XVI	25.56	29.63	33.15
Belvedere Ajusco	30.95	36.55	41.38
Barrio de Caramaguey	28.51	33.44	37.69
Barrio del Niño Jesús	26.03	30.22	33.83
Barrio El Capulín	29.38	34.53	38.97
Barrio La Fama	27.74	32.44	36.5
Barrio La Lonja	28	32.79	36.91
Barrio San Fernando	27.52	32.18	36.21
Bosques de Tepeximilpa	29.05	34.1	38.45
Bosques del Pedregal	31.15	36.8	41.68
Cantera Puente de Piedra	25.57	29.7	33.25
Chichicáspatl	31.24	36.92	41.82
Chimalli	24.55	28.28	31.51
Chimilli	30.73	36.26	41.03
Club de Golf México	26.17	30.36	33.98
Colinas del Ajusco	31.53	37.27	42.22
Colinas del Bosque	25.65	29.66	33.11
Comuneros de Santa Úrsula	25.16	29.19	32.66
Cruz del Farol	30.63	36.13	40.88
Cuchilla de Padierna	31.06	36.68	41.53
Cultura Maya	31.17	36.82	41.7
Cumbres de Tepetongo	28.92	33.93	38.24
Diamante	29.3	34.41	38.82
Divisadero	26.71	31.01	34.72
Dolores Tlali	26.15	30.27	33.82
Dos de Octubre	31.11	36.75	41.61
Ejidos de San Pedro Mártir	26.5	30.75	34.42
El Cantil	26.97	31.38	35.19
El Charco	29.52	34.75	39.26
El Fresno	29.08	34.14	38.5
El Mirador I Secc.	28.16	32.94	37.06
El Mirador II Secc.	28.47	33.34	37.55
El Mirador III Secc.	28.66	33.58	37.83
El Truenito	26.92	31.35	35.17
Ex Hacienda Coapa	24.09	27.64	30.69

Ex Hacienda San Juan de Dios	24.46	28.09	31.22
Floresta Coyoacán	24.12	27.74	30.86
Fuentes Brotantes	29.36	34.49	38.93
Fuentes de Tepepan	25.86	29.91	33.4
Fuentes del Pedregal	32.02	37.88	42.94
Granjas Coapa	24.08	27.6	30.63
Guadalupe	24.91	28.71	32
Hacienda San Juan	24.69	28.46	31.71
Héroes de 1910	30.32	35.77	40.48
Héroes de Padierna	31.56	37.31	42.27
Heroico Colegio Militar	26.87	31.24	35
Isidro Fabela	27.2	31.8	35.76
Jardines del Ajusco	31.67	37.44	42.42
Jardines en la Montaña	31.91	37.76	42.8
Juventud Unida	25.88	29.94	33.43
La Joya	26.76	31.15	34.93
La Palma	27.13	31.57	35.4
Las Tórtolas	25.33	29.25	32.62
Loma Bonita	29.09	34.14	38.5
Lomas de Cuilotepec	31.07	36.7	41.56
Lomas de Padierna	31.85	37.67	42.7
Lomas de Padierna Sur	31.1	36.74	41.6
Lomas del Pedregal	30.86	36.42	41.22
Lomas Hidalgo	30.79	36.33	41.11
Los Encinos	31.25	36.93	41.82
Los Framboyanos	32.02	37.89	42.94
Los Volcanes	28.12	32.88	36.99
Magisterial	24.03	27.5	30.51
Magistral Coapa	24.02	27.51	30.52
María Esther Zuno de Echeverría	28.23	33.02	37.15
Mesa de Los Hornos	28.67	33.6	37.86
Miguel Hidalgo	29.41	34.57	39.02
Miguel Hidalgo I Secc.	29.83	35.1	39.65
Miguel Hidalgo II Secc.	30.71	36.22	40.98
Miguel Hidalgo III Secc.	31.02	36.62	41.45
Miguel Hidalgo IV Secc.	30.82	36.37	41.15
Mirador I	30.83	36.39	41.18
Mirador del Valle	28.28	33.09	37.23
Mirador II	30.91	36.49	41.31
Movimiento Organizado de Tlalpan	25.96	30.03	33.54
Narciso Mendoza	24.24	27.8	30.87
Nueva Oriental Coapa	24.2	27.79	30.89
Nuevo Renacimiento de Axalco	26.96	31.35	35.13
Paraje 38	30.64	36.14	40.88
Parque del Pedregal	30.97	36.58	41.41
Parque Nacional del Pedregal (Bosque del Pedregal)	31.77	37.57	42.58
Pueblo Chimalcoyotl	27.3	31.83	35.73
Pueblo La Magdalena Petlascalco	28.28	33.1	37.25
Pueblo Parres El Guarda	27.58	32.45	36.64
Pueblo Quieto	25.19	29.19	32.64
Pueblo San Andrés Totoltepec	28.22	33.01	37.14
Pueblo San Lorenzo Huipulco	24.91	28.75	32.07
Pueblo San Miguel Ajusco	29.46	34.66	39.15
Pueblo San Miguel Topilejo	26.91	31.37	35.22
Pueblo San Miguel Xicalco	27.59	32.19	36.15
Pueblo San Pedro Mártir	28.36	33.19	37.36
Pueblo Santo Tomas Ajusco	29.12	34.23	38.64
Pueblo Santa Úrsula Xitla	28.47	33.35	37.56
Pedregal de Las Águilas	27.86	32.55	36.6
Pedregal de San Nicolas I Secc.	31.79	37.6	42.61
Pedregal de San Nicolas II Secc.	31.63	37.4	42.38
Pedregal de San Nicolas III Secc.	31.51	37.25	42.2
Pedregal de San Nicolas IV Secc.	31.37	37.08	42
Pedregal de San Nicolas V Secc.	31.24	36.92	41.82
Pedregal de Santa Úrsula Xitla	28.15	32.93	37.05
Peña Pobre	28.3	33.18	37.4
Plan de Ayala	26.36	30.55	34.16
Popular Santa Teresa	31.99	37.85	42.9
Prado Coapa I Secc.	24.14	27.76	30.87
Prado Coapa II Secc.	24.25	27.87	31

Prado Coapa III Secc.	24.39	28	31.12
Primavera	30	35.32	39.91
Rancho los Colorines	24.55	28.23	31.4
Residencial Acoxa	24.14	27.69	30.76
Residencial Miramontes	24.06	27.61	30.67
Residencial Villa Coapa	24.09	27.61	30.66
Rincón del Pedregal	32.03	37.9	42.96
Rinconada Coapa I Secc.	24.05	27.53	30.54
Rinconada Coapa II Secc.	24.01	27.5	30.52
Rinconada El Mirador	26	30.08	33.6
Rinconada Las Hadas	24.06	27.59	30.64
Roca de Cristal	28.8	33.78	38.07
Rómulo Sánchez Mireles	26.64	31.08	34.91
San Bartolo el Chico	24.62	28.28	31.44
San Buenaventura	26.08	30.27	33.88
San Juan Tepeximilpa	29.29	34.4	38.81
San Pedro Apóstol	26.65	31.08	34.9
Santísima Trinidad	28.7	33.64	37.9
Tecorral	27.15	31.6	35.44
Tenorios	24.02	27.53	30.57
Tepeximilpa La Paz	29.15	34.21	38.59
Texcaltenco	28.7	33.64	37.9
Tlalcoligia	27.49	32.07	36.02
Tlalmille	28.65	33.57	37.81
Tlalpan	28.24	33.11	37.31
Tlalpan Centro	27.28	31.84	35.77
Tlalpuente	28.84	33.82	38.12
Tlaxcaltenco La Mesa	28.79	33.76	38.05
Toriello Guerra	26.21	30.5	34.2
Torres de Padierna	31.37	37.08	42
Unidad Habitacional Zapote 1	26.95	31.49	35.4
Valle de Tepepan	25.51	29.44	32.83
Valle Escondido	25.18	29.02	32.32
Valle Verde	25.99	30.05	33.55
Vergel Coapa	24.09	27.67	30.75
Vergel de Coyoacán	24.2	27.84	30.98
Vergel del Sur	24.26	27.92	31.08
Villa Coapa	24.21	27.81	30.9
Villa Lázaro Cárdenas	24.39	28.08	31.27
Villa Olímpica	29.23	34.36	38.8
Villa Tlalpan	26.57	30.87	34.59
Vistas del Pedregal	31.14	36.8	41.67
Viveros Coatectlán	26.57	30.82	34.49
Zacayucan Peña Pobre	29.76	35.03	39.57
Venustiano Carranza			
1° de Mayo	27.64	31.9	35.57
10 de Mayo	27.2	31.33	34.9
20 de Noviembre	27.48	31.69	35.32
24 de Abril	27	31.09	34.62
4 Arboles	27.39	31.75	35.52
5° Tramo 20 de Noviembre	27.59	31.83	35.48
7 de Julio	27.3	31.47	35.07
Aaron Sáenz	26.88	30.92	34.42
Adolfo López Mateos	27.8	32.31	36.2
Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	28.12	32.69	36.64
Álvaro Obregón	26.87	30.92	34.41
Ampliación Aviación Civil	27.43	31.85	35.65
Ampliación Michoacana	27.2	31.34	34.91
Ampliación Simón Bolívar	27.7	31.97	35.65
Ampliación Venustiano Carranza	27.53	31.75	35.39
Ampliación 20 de Noviembre	27.16	31.28	34.84
Ampliación Caracol	27.91	32.43	36.34
Ampliación Penitenciaria	27.17	31.3	34.87
Aquiles Serdán	27.9	32.26	36.02
Arenal I Secc.	27.92	32.51	36.46
Arenal II Secc.	27.99	32.59	36.57
Arenal III Secc.	28.02	32.62	36.59
Arenal IV Secc.	28.08	32.67	36.64
Arenal Puerto Aéreo	27.97	32.55	36.51
Aeronáutica Militar	27.2	31.34	34.91

Artes Graficas	26.87	30.92	34.41
Aviación Civil	27.48	31.89	35.7
Azteca	27.38	31.57	35.19
Caracol	27.88	32.4	36.31
Cuchilla Pantitlán	27.95	32.55	36.52
Damián Carmona	27.58	31.82	35.49
Del Parque	27.26	31.4	34.97
Emilio Carranza	26.81	30.84	34.33
Escuela de Tiro	27.27	31.44	35.03
Federal	27.38	31.72	35.45
Felipe Ángeles	27.3	31.45	35.04
General Ignacio Zaragoza	27.1	31.28	34.95
Industrial Puerto Aéreo	27.29	31.55	35.23
Jamaica	26.43	30.39	33.8
Janitzio	26.91	30.97	34.47
Jardín Balbuena	27.23	31.38	34.97
Lorenzo Boturini	27.35	31.5	35.07
Magdalena Mixihuca	26.64	30.64	34.09
Merced Balbuena	27.36	31.51	35.09
Michoacana	27.17	31.3	34.86
Miguel Hidalgo	27.4	31.6	35.23
Moctezuma I Secc.	27.32	31.51	35.13
Moctezuma II Secc.	27.76	32.1	35.84
Morelos	27.14	31.27	34.83
Nicolas Bravo	26.38	30.32	33.71
Penitenciaria	27.26	31.42	35
Pensador Mexicano	28.09	32.54	36.37
Peñón de los Baños	27.99	32.43	36.26
Popular Rastro	26.92	30.98	34.49
Progresista	27.34	31.52	35.13
Puebla	27.15	31.5	35.26
Pueblo de la Magdalena Mixiuhca	26.67	30.68	34.14
Revolución	27.53	31.77	35.43
Romero Rubio	27.81	32.15	35.88
Santa Cruz Aviación	27.24	31.47	35.12
Sevilla	26.76	30.78	34.26
Simón Bolívar	27.87	32.19	35.91
Tres Mosqueteros	27.39	31.59	35.21
Valentín Gómez Farfás	27.05	31.24	34.86
Valle Gómez	26.95	31.02	34.53
Venustiano Carranza	27.37	31.56	35.18
Zona Centro	27.31	31.45	35.02

Xochimilco

Ampliación Nativitas	25.04	28.83	32.11
Ampliación Nativitas La Joya	25	28.8	32.07
Ampliación San Marcos Norte	24.28	27.75	30.74
Ampliación Tepepan	25.16	28.94	32.2
Año de Juárez	24.77	28.48	31.69
Barrio 18	24.07	27.52	30.51
Barrio 3 de Mayo	24.94	28.78	32.1
Barrio Ahualapa	24.9	28.71	32
Barrio Apatlaco	24.83	28.6	31.85
Barrio Belén	24.46	28.01	31.08
Barrio Calyequita	25.32	29.42	32.96
Barrio Capulco	24.81	28.57	31.82
Barrio Chapultepec	25.44	29.38	32.78
Barrio Concepción Tlacoapa	24.3	27.79	30.8
Barrio del Puente	24.83	28.59	31.84
Barrio El Calvario	25.36	29.27	32.63
Barrio El Rosario	24.43	27.97	31.02
Barrio La Asunción	25.06	28.98	32.36
Barrio La Candelaria	25.09	29.03	32.44
Barrio La Gallera	24.82	28.59	31.85
Barrio La Guadalupita	24.37	27.9	30.95
Barrio La Planta	24.91	28.72	32.01
Barrio La Santísima	24.46	28.04	31.13
Barrio Las Cruces	24.92	28.73	32.02
Barrio Las Flores	24.95	28.77	32.06
Barrio Niños Héroes	25.07	29	32.4
Barrio Pocitos	24.83	28.58	31.81

Barrio San Andrés	25.03	28.94	32.31
Barrio San Antonio	24.91	28.73	32.04
Barrio San Cristóbal	24.61	28.24	31.38
Barrio San Diego	24.41	27.96	31.01
Barrio San Esteban	24.46	28.04	31.13
Barrio San José	25.17	29.16	32.61
Barrio San Juan	25.18	29.18	32.63
Barrio San Juan Minas	24.89	28.71	32.01
Barrio San Juan Moyotepec	24.83	28.61	31.88
Barrio San Lorenzo	24.42	27.98	31.05
Barrio San Marcos	24.53	28.09	31.15
Barrio San Pedro	24.69	28.32	31.45
Barrio Santa Cruzita	24.41	27.95	31
Barrio Tetitla	24.83	28.6	31.86
Barrio Xaltocan	24.76	28.43	31.6
Bosque Residencial del Sur	24.53	28.14	31.26
Cerrillos I	25.25	29.31	32.8
Cerrillos II	25.28	29.35	32.86
Cerrillos III	25.23	29.27	32.75
Cristo Rey	25.28	29.36	32.87
Del Carmen	25.21	29.23	32.7
El Arenal	25.81	29.84	33.33
El Jazmín	24.88	28.64	31.88
El Mirador	25.25	29.29	32.78
El Sacrificio	25.26	29.32	32.83
Guadalupana	25.15	29.13	32.56
Guadalupita	25.29	29.36	32.88
Huichapan	24.6	28.16	31.23
Jardines del Sur	24.66	28.26	31.36
La Cañada	25.19	28.99	32.26
La Concha	24.88	28.56	31.73
La Noria	24.63	28.21	31.29
Las Animas	25.28	29.34	32.84
Las Mesitas	25.27	29.34	32.85
Las Peritas	24.2	27.61	30.56
Lomas de Nativitas	24.91	28.67	31.92
Lomas de Tonalco	24.78	28.48	31.66
Los Reyes	25.02	28.91	32.27
Nativitas	25.3	29.39	32.92
Paseos del Sur	24.27	27.75	30.74
Pueblo San Francisco Tlalnepantla	26.4	30.73	34.46
Pueblo San Gregorio Atlapulco	25.05	28.97	32.35
Pueblo San Lorenzo Atemoaya	25.17	29.02	32.34
Pueblo San Lucas Xochimanca	25.2	29.01	32.3
Pueblo San Luis	25.2	29.2	32.66
Pueblo San Mateo Xalpa	25.65	29.61	33.03
Pueblo San Salvador Cuauhtenco	25.87	30.05	33.66
Pueblo Santa Cruz Xochitepec	25.25	29.05	32.32
Pueblo Santa María Nativitas	24.93	28.7	31.95
Pueblo Santa María Tepepan	25.27	29.08	32.37
Pueblo Santiago Tepalcatlalpan	25.52	29.42	32.78
Pueblo Santa Cecilia Tepetlapa	25.64	29.7	33.2
Potrero San Bernardino	24.36	27.84	30.83
Quirino Mendoza	25.25	29.29	32.77
Rancho Tejomulco	24.84	28.58	31.81
Rinconada Coapa	24.13	27.6	30.61
Rosario Tlali	25.26	29.14	32.48
San Bartolo El Chico	24.34	27.89	30.96
San Felipe	25.27	29.34	32.84
San Isidro	25.3	29.38	32.89
San Jerónimo	24.74	28.44	31.63
San Juan Tepepan	24.46	28	31.06
San Lorenzo La Cebada	24.24	27.7	30.69
San Lucas Oriente	24.97	28.71	31.94
Santa Cruz Chavarrieta	25.63	29.61	33.04
Santa Cruz de Guadalupe	25.75	29.78	33.26
Santa Inés	25.23	29.06	32.36
Santiaguito	25.23	29.26	32.73
Tablas De San Lorenzo	24.83	28.52	31.71
Texmic	24.92	28.65	31.86

Tierra Nueva	24.33	27.79	30.78
Valle Santa María	25.04	28.84	32.11
Xochipilli	24.75	28.46	31.66

Espacio en blanco dejado de manera intencional

APÉNDICE B. DISPOSITIVOS DE AMORTIGUAMIENTO AUXILIAR PARA MITIGAR LAS ACCIONES DEL VIENTO

B.1 Criterios generales de diseño

B.1.1 Se permite el empleo de dispositivos de amortiguamiento auxiliar en estructuras sensibles a la acción del viento para el cumplimiento de los criterios establecidos para los estados límite aplicables a la estructura. Estos criterios de acciones deberán ser concordantes con los establecidos en el cuerpo principal de las presentes normas. Los requisitos establecidos en el presente apéndice sirven como un criterio mínimo que deben cumplir los dispositivos de amortiguamiento auxiliar que fuesen considerados en los análisis de la respuesta estructural.

B.2 Alcance y definiciones básicas

B.2.1 El presente apéndice se refiere como dispositivos de amortiguamiento auxiliar pasivo a aquellos que, colocados en ubicaciones específicas de la estructura, ayudan a ésta a disipar energía sin que requieran de alguna corriente eléctrica para su funcionamiento. Los sistemas de amortiguamiento auxiliar cubiertos en el presente apéndice corresponden únicamente a dispositivos de dicho tipo, específicamente, a los clasificados como masas sólidas y líquidas sintonizadas o resonantes (MSR, MLR) y dispositivos de amortiguamiento del tipo viscoso.

B.2.2 Se denomina sistema estructura-dispositivo de amortiguamiento auxiliar al conjunto de elementos estructurales que resistan las acciones debidas al uso y cargas accidentales de la edificación, o sistema primario, y sistema secundario al compuesto por los sistemas auxiliares de amortiguamiento y sus conexiones al sistema primario.

Comentario:

Se ha demostrado la efectividad de las MSR y MLR (tuned mass damper (TMD) y tuned liquid damper (TLD) en inglés) para reducir la respuesta inducida por el viento (Vickery et al., 1983; Housner et al., 1997; Kareem et al., 1999; Sun et al., 1995; Li et al., 2002; Soong y Spencer, 2022; Tait et al., 2004; Tait, 2008; Love y Tait, 2012; Pozos-Estrada y Gómez, 2019; Love et al., 2021), de manera particular la aceleración (Kwok et al., 2015). Otros sistemas para la reducción de la respuesta dinámica de las estructuras, como lo son sistemas de control activo o híbrido, han demostrado aplicabilidad para la reducción de la respuesta dinámica de las estructuras. Sin embargo, los sistemas cubiertos en este apéndice corresponden a los empleados más comúnmente en las estructuras existentes en México. Se deja abierta la posibilidad a emplear sistemas de amortiguamiento estructural diferentes a los descritos aquí, siempre y cuando la solución que se proponga sea a satisfacción del Instituto, y se demuestre con sustento técnico que su aplicación no se contrapone a los criterios mínimos establecidos en las presentes normas.

B.3 Requisitos generales para el sistema estructura-dispositivo de amortiguamiento auxiliar

B.3.1 El sistema estructura-dispositivo de amortiguamiento auxiliar deberá diseñarse para satisfacer las acciones establecidas en el cuerpo principal de estas normas, de acuerdo con lo que éstas indiquen según su uso, clasificación, configuración y localización.

B.3.2 El diseño del dispositivo de amortiguamiento auxiliar deberá cumplir con las especificaciones referentes a la combinación de los siguientes efectos (cuando sean aplicables): de cargas, de torsión, de segundo orden, bidireccionales, y durante construcción. El último efecto de los mencionados no se considerará cuando el dispositivo de amortiguamiento auxiliar sea contemplado como una medida adicional para reducir la respuesta inducida por el viento en un proyecto existente.

B.3.3 Los sistemas de amortiguamiento auxiliar deberán diseñarse de manera que sean capaces de soportar la respuesta dinámica máxima correspondiente al estado límite más desfavorable para el cual se esté contemplando su uso. Por lo cual, deberá asegurarse que las conexiones del sistema de amortiguamiento auxiliar al sistema primario permanezcan dentro de su intervalo de comportamiento elástico, ante las fuerzas asociadas a dicho estado límite.

B.3.4 Los materiales utilizados para los sistemas de amortiguamiento auxiliar deben tener una durabilidad similar o superior a la de la vida útil del sistema principal.

B.4 Diseño del sistema secundario y del sistema estructura-dispositivo

B.4.1 Para diseñar, construir, e instalar los elementos que integran el sistema secundario, deberán de considerarse los valores máximos de las fuerzas, desplazamientos y velocidades que resulten de los análisis ante el estado límite mayor para el cual se empleó el dispositivo. Estos valores deberán tomar en cuenta efectos de torsión en la estructura, así como considerar la posible adhesión entre las partes del dispositivo debida a corrosión, biodegradación, envejecimiento, humedad u otros agentes que propicien cambios en el funcionamiento del dispositivo durante su vida útil. Debe contemplarse la posibilidad de cambios en las propiedades mecánicas, y cerciorarse que los dispositivos de amortiguamiento no sean sometidos a esfuerzos para los cuales no fueron diseñados.

B.4.2 La distribución de los dispositivos de amortiguamiento auxiliar en la estructura debe ser tal que no se produzcan zonas con concentraciones de deformaciones excesivas. La colocación de los dispositivos de amortiguamiento auxiliar no deberá introducir en el sistema estructura-dispositivo de amortiguamiento auxiliar esfuerzos que hayan sido ignorados durante el diseño de éste.

B.5 Inspección de las estructuras con sistemas de amortiguamiento auxiliar

B.5.1 La verificación de la seguridad de las estructuras que cuenten con sistemas auxiliares de amortiguamiento deberá ser constante. En estructuras clasificadas dentro del Grupo A, será obligatoria la inspección posterior a eventos accidentales importantes. El lapso entre dos inspecciones consecutivas tampoco deberá ser mayor que tres años.

B.5.2 Se deberá desarrollar un programa de inspección y mantenimiento de los dispositivos de amortiguamiento auxiliar en estructuras que cuenten con dichos sistemas. El tiempo que debe cubrir el programa será de al menos la vida útil esperada del dispositivo.

B.6 Pruebas de laboratorio

B.6.1 Todos los dispositivos de amortiguamiento auxiliar deberán ser probados en un laboratorio que permita la evaluación de sus capacidades previamente a su instalación en la estructura.

B.6.2 Las pruebas que se realicen a los dispositivos de amortiguamiento auxiliar deberán ser supervisadas por un equipo de profesionales reconocidos como expertos en el tema.

B.6.3 Se deberá garantizar un buen control de calidad para los prototipos que se analicen en laboratorio. La inspección del dispositivo, previa a su ensayo, deberá realizarse por el equipo de profesionales encargado de la supervisión de las pruebas, quienes determinarán si el prototipo exhibe calidad suficiente para ser probado.

B.6.4 La documentación del sistema de amortiguamiento empleado deberá incluir especificaciones del proyecto, además de las que aseguren que los requisitos de manufactura, proceso, inspección y calidad sean satisfechos durante el diseño, producción, instalación y servicio.

B.6.5 Los dispositivos se deben probar en el laboratorio de forma tal que estén cargados en la misma dirección en la que trabajarán en la estructura. Si se prevé que los dispositivos estarán sometidos a respuestas significativas simultáneas en más direcciones ortogonales, se deberán realizar pruebas que simulen tal efecto.

B.7 Criterios de aceptación

B.7.1 Los elementos que integran la MSR deberán de haber demostrado cumplir, como mínimo, con los siguientes criterios a fin de ser considerados como aceptables para su instalación:

- a) Los resultados de las pruebas a los amortiguadores de la MSR deberán indicar ciclos estables de comportamiento fuerza-desplazamiento, correspondientes a la frecuencia seleccionada para la aplicación de carga
- b) Después de la prueba no deberá haber daño en el dispositivo, ni indicios de fricción excesiva o fluencia en el sistema que compone a la MSR

- c) Los resortes o elementos para la sintonización deberán contar con documentación técnica que especifique las características y propiedades de los valores que se utilicen para el diseño.

B.7.2 Los elementos que integran la MLR deberán de haber demostrado cumplir, como mínimo, con los siguientes criterios a fin de ser considerados como aceptables para su instalación:

- a) El contenedor deberá contar con documentación técnica que especifique las características y propiedades de los valores que se utilicen para el diseño
- b) Los dispositivos de disipación de energía de la MLR, como las pantallas o mallas u otro diferente, deberán contar con documentación técnica que especifique las características y propiedades de los valores que se utilicen para el diseño.

B.7.3 Los amortiguadores del tipo viscoso empleados para los fines aquí descritos deberán haber demostrado en las pruebas experimentales cumplir con lo siguiente, a fin de ser considerados como aceptables para su instalación:

- a) Los resultados de las pruebas a amortiguadores viscosos deberán indicar ciclos estables de comportamiento fuerza-desplazamiento, correspondientes a la frecuencia seleccionada para la aplicación de la carga
- b) Las fuerzas máximas y mínimas para deformación nula, para cualquier ciclo, no diferirán en más de 15 por ciento de las fuerzas máximas y mínimas promedio obtenidas del conjunto de todos los ciclos correspondientes a esa prueba
- c) El área encerrada dentro de las curvas fuerza-desplazamiento de cualquier ciclo no diferirá en más de 15 por ciento del área promedio calculada a partir de todos los ciclos para la temperatura y frecuencia de excitación de esa prueba
- d) El promedio de las fuerzas mínimas y máximas para desplazamiento nulo no diferirá en más de 15 por ciento de los valores que se utilicen para el diseño
- e) Después de la prueba no habrá daño ni señales de fricción excesiva, ni aparecerán señales de fluencia en el sistema que constituye al amortiguador.

B.8 Colocación e inspección

B.8.1 Se deberán establecer planes regulares para la colocación, así como para pruebas e inspección de los dispositivos de amortiguamiento auxiliar. Se deberá dar seguimiento sobre el control de calidad de los dispositivos que se hayan instalado en la obra. Los dispositivos deberán colocarse en lugares accesibles para su inspección, mantenimiento y, en su caso, reemplazo. Se recomienda monitorear el comportamiento dinámico del sistema estructura-disipador mediante la instrumentación necesaria. Con respecto a las conexiones del sistema secundario, se deberá revisar con pruebas de laboratorio la calidad de soldaduras.

B.8.2 Una vez terminada la inspección de sistemas, se deberá realizar un informe en donde se describan todos los comentarios que surjan de la inspección, también es recomendable incluir los certificados de calidad, tanto de los materiales, así como de las pruebas de laboratorio que certifiquen la calidad de los dispositivos.

Comentario:

El Instituto será quien asigne o apruebe la participación del equipo de profesionales que supervise las pruebas. El equipo de profesionales también deberá verificar que los dispositivos de amortiguamiento auxiliar tengan características (geometría, materiales, tipo de conexiones, etc.) similares a las que se instalen en la construcción. La documentación completa sobre los dispositivos de amortiguamiento auxiliar debe incluir información relativa al tipo y propiedades del dispositivo, su comportamiento ante deformaciones cíclicas, así como la influencia de las condiciones ambientales en sus características mecánicas durante su vida útil. Los documentos que verifiquen el correcto desempeño de los dispositivos deberán entregarse al Instituto.

B.9 Documentación

B.9.1 La memoria de cálculo y otros documentos de apoyo deberán incluir información detallada del sistema de amortiguamiento auxiliar empleado. También se deberá indicar la norma o reglamento utilizado durante el diseño, fabricación, ensayo, certificación e instalación del dispositivo.

REFERENCIAS

- ANSI/TIA-222-H. 2017, “Structural Standards for Antenna Supporting Structures and Antennas and Small Wind Turbine Support Structures”, Telecommunications Industry Association.
- Architectural Institute of Japan. 2004, Chapter 6: wind loads. In: Recommendations for Load on Buildings. Tokyo, Japan: AIJ.
- ASCE. 1999, “Wind Tunnel Studies of Buildings and Structures”. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 67.
- ASCE/SEI 49-12. 2012, “Wind Tunnel Testing for Buildings and Other Structures”. ASCE standard.
- ASCE/SEI 7-22. 2022, “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures”. American Society of Civil Engineering.
- ASCE/SEI. 2019, “Prestandard for Performance-Based Wind Design# (Prepared by Structural Engineering Institute (SEI). American Society of Civil Engineers.
- ASTM-E-1300-04. 2004, “Standard Practice for Determining Load Resistance of Glass in Buildings”.
- ASTM-E1997. 2017, “Standard Specification for Performance of Exterior Windows, Curtain Walls, Doors, and Impact Protective Systems Impacted by Windborne Debris in Hurricanes”.
- Blocken, B., Stathopoulos, T., Carmeliet, J. 2007, “CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems”. Atmospheric Environment, 41, 238–252.
- Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory (BLWTL). 1999, “Wind tunnel testing: a general outline”. The University of Western Ontario.
- Burton, M.D. 2006, “Effects of low frequency wind-induced building motion on occupant comfort”, Ph.D. Dissertation, Civil Engineering Department, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong.
- Burton, M.D., Kwok, K.C.S., Hitchcock, P.A. and Denoon, R.O. 2006, “Frequency dependence of human response to wind-induced building motion”. J. Struct. Eng. - ASCE, 132(2), 296- 303.
- CAN/CGSB-12.20-M89. 1989, “Structural Design of Glass for Buildings”. Canadian General Standards Board.
- CICIND. 1999, “Model code for steel chimneys with commentaries”, International Committee for Industrial Chimneys, Hemel Hempstead, England, (Amendment A – March 2002).
- Davenport, A.G. 1967, “Gust Loading Factors”, Journal of the Structural Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 93, ST3, June, pp. 11-34.
- ESDU. 2012, “Structural members: mean fluid forces on members of various cross sections”. Engineering Sciences Data Unit, 82007.
- Franke, J. 2007, “Introduction to the Prediction of Wind Loads on Buildings by Computational Wind Engineering (CWE)”. In: Stathopoulos, T., Baniotopoulos, C.C. (eds) Wind Effects on Buildings and Design of Wind-Sensitive Structures. CISM International Centre for Mechanical Sciences, vol 493. Springer, Vienna.
- Franke, J., Hellsten, A. Schlünzen, H., Carissimo, B. 2007, “Best Practice Guideline for the CFD Simulation of Flows in the Urban Environment”, COST Action 732 Quality Assurance and Improvement of Microscale Meteorological Models. Cost Office. ISBN 3-00-018312-4.

- Franke, J., Hellsten, A. Schlünzen, H., Carissimo, B. 2011, "The COST 732 Best Practice Guideline for CFD simulation of flows in the urban environment: a summary". *International Journal of Environment and Pollution*, 44(1-4), 419-427.
- Guzmán-Solis, V.; Pozos-Estrada, A.; Gómez-Martínez, R. 2020, "Experimental study of wind-induced shear, bending, and torsional loads on rectangular tall buildings". *Adv. Struct. Eng.* 23, 2982–2995.
- Housner G.W., Bergman, L.A., Caughey, T.K., Chassiakos, A.G., Claus, R.O., et al. 1997, "Structural control: Past, present and future". *Journal of Engineering Mechanics, ASCE*, Vol. 123, 897-971.
- Kareem, A., Kijewski, T. and Tamura, Y. 1999, "Mitigation of Motions of Tall Buildings with Specific Examples of Recent Applications". *Wind and Structures*, Vol. 2(3), 201-251.
- Kwok, K.C.C., Burton, M.D. and Abdelrazaq, A.K. 2015, "Wind-Induced Motion of Tall Buildings: Designing for Habitability", ASCE, USA.
- Li, S. J., Li, G. Q., Tang, J., Li, Q. S. 2002, "Shallow rectangular TLD for structural control implementation". *Applied Acoustics*, Vol. 63, 1125 – 1135.
- Love, J., & Tait, M. 2012, "A preliminary design method for tuned liquid dampers conforming to space restrictions". *Engineering Structures*, Vol. 40, 187–197.
- Love, J., Morava, B., Robinson, J., & Haskett, T. 2021, "Tuned sloshing dampers in tall buildings: a practical performance-based design approach". *ASCE*, 26 (3): 04021016.
- Canadian Commission on Building and Fire Codes. 2015, "National Building Code of Canada". v. 1, 714 p.; v. 2, 698 p.
- Pozos-Estrada, A. and Gómez, R. 2019, "Parametric Study of the Use and Optimization of Tuned Mass Dampers to Control the Wind- and Seismic-Induced Response of a Slender Monument". *The structural design of tall and special buildings*, Vol. 28:e1633.
- Pozos-Estrada, A., 2018, "A simple procedure to evaluate the wind-induced acceleration in tall buildings: an application to Mexico", *JCR; Wind and Structures an international journal*, Vol. 27(5), pp. 337 – 345.
- Pozos-Estrada, A., Hong, H.P. and Galsworthy, J.K. 2010, "Serviceability Design Factors for Design of Wind-Sensitive Structures". *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 37(5), pp. 728 – 738, ISSN: 0315-1468.
- Simiu, E. 2009, "Toward a Standard on the Wind Tunnel Method", NIST TECHNICAL NOTE 1655.
- Solari, G. 1983, "Gust Buffeting. II: Dynamic Alongwind Response", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 119, No. 2, pp. 383-398.
- Soong, T.T., and Spencer, B.F.Jr. 2002, "Supplemental energy dissipation: state-of-the-art and state-of-the-practice". *Engineering Structures*, Vol.24, 243-259.
- Sun, L. M., Fujino, Y., Chaiseri, P., Pacheco, B. M. 1995, "The properties of tuned liquid dampers using a TMD analogy". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 24, 967 – 976.
- Tait, M. J. 2008, "Modeling and preliminary design of a structure-TLD system". *Engineering Structures*, Vol. 30, 2644 – 2655.
- Tait, M. J., Isyumov, N., El Damatty, A. A. 2004, "The efficiency and robustness of a uni-directional tuned liquid damper and modelling with an equivalent TMD". *Wind and Structures*, Vol. 7(4), 235 – 250.
- Tamura, Y., Chul Kim Y., Kikuchi, H., Hibi, K. 2014, "Correlation and combination of wind force components and responses". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 125: 81-93.

Tamura, Y., Kikuchi, H., Hibi, K. 2003, "Quasi-static wind load combinations for low- and middle-rise buildings". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 91: 1613-1625.

Tamura, Y., Kikuchi, H., Hibi, K. 2008, "Peak normal stresses and effects of wind direction on wind load combinations for medium-rise buildings". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96: 1043-1057.

Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., Shirasawa, T. 2008, "AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96, 1749-1761.

Vickery, B.J., Isyumov, N., and Davenport, A.G. 1983, "The role of damping, mass and stiffness in the reduction of wind effects on structures". *J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 11, 285 – 294.