

dimensión del edificio en ese nivel perpendicular a la dirección de la fuerza bajo consideración. Deberá considerarse el efecto de este desplazamiento de la fuerza en la distribución del cortante en el piso.

Para propósitos de distribución de cortante y momentos torsionantes en pisos, los diafragmas deberán considerarse flexibles cuando la deformación máxima lateral del diafragma es más que 2 veces el desplazamiento lateral promedio relativo del piso correspondiente. Esto puede determinarse comparando la deflexión en el plano calculada en el centro del diafragma bajo la carga lateral, con el desplazamiento lateral relativo de piso de los elementos resistentes verticales adjuntos bajo una carga tributaria lateral equivalente.

3.5.6 Momentos horizontales de torsión

Deberán tomarse disposiciones para los cortantes incrementados que resultan de la torsión horizontal de los pisos cuando el diafragma no es flexible. Se deberá considerar la combinación de cargas más severa para el diseño de cada elemento estructural.

El momento de torsión de diseño para cada piso, deberá ser el momento que resulta de las excentricidades entre las fuerzas laterales de diseño aplicadas en los niveles sobre el piso en consideración y los elementos verticales resistentes en ese piso además de una torsión accidental.

El momento de torsión accidental deberá determinarse asumiendo que la masa es desplazada horizontalmente como se requiere en 3.5.5.

Cuando exista irregularidad torsionante, como se define en la Tabla 3.4-5, sus efectos deberán considerarse incrementando la torsión accidental en cada nivel por un factor de amplificación A_x , el cual se determina de la siguiente ecuación:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{pro}} \right)^2 \quad (3.5-9)$$

donde

δ_{max} = el desplazamiento máximo en el nivel x .

δ_{pro} = el promedio de los desplazamientos en los puntos extremos de la estructura en el Nivel x .

El valor de A_x no necesita exceder 3.0.

3.5.7 Volcamiento

3.5.7.1 Generalidades

Toda estructura deberá diseñarse para resistir los efectos de volcamiento causados por las fuerzas sísmicas especificadas en 3.5.4. En cualquier nivel, los momentos volcantes que deben resistirse deberán determinarse usando las fuerzas sísmicas (F_t y F_x) que actúan en los niveles sobre el nivel bajo consideración. En cualquier nivel, el momento volcante de diseño deberá distribuirse entre los diferentes elementos resistentes de acuerdo con la manera descrita en 3.5.5. Los efectos de volcamiento en todo elemento, deberán llevarse hacia abajo a la cimentación. Ver la Sección 3.8 para la combinación de fuerzas gravitacionales y sísmicas.

3.5.7.2 Zonas Sísmicas 4, 5 y 6

En las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6, cuando un elemento resistente a cargas laterales sea discontinuo, tales como para irregularidades verticales Tipo 4 en la Tabla 3.4-4 o irregularidades de planta Tipo 4 en la Tabla 3.4-5, las columnas que soportan estos elementos deberán tener la resistencia para soportar la fuerza axial que resulta de las siguientes combinaciones de carga, además de todas las otras combinaciones de carga aplicables:

$$DL + 0.8LL + 3(R_w / 8)E$$

$$0.85DL + 3(R_w / 8)E$$

(a) La fuerza axial en estas columnas no necesita exceder la capacidad de los otros elementos de la estructura requerida para transferir dichas cargas a la columna

(b) Estas columnas deberán ser capaces de soportar las fuerzas axiales descritas arriba, sin exceder la resistencia a carga axial de la columna. Para los diseños que utilizan los métodos de esfuerzos de trabajo, esta capacidad puede determinarse utilizando un esfuerzo permisible incrementado por 1.7

(c) Estas columnas deberán cumplir con los requerimientos de detalles de diseño o limitaciones en miembros, descritas en las normas técnicas complementarias de este código, correspondientes al tipo del material de la estructura en consideración

3.5.7.3 Cimentaciones

Para los momentos volcantes a ser soportados por las cimentaciones ver las normas técnicas complementarias correspondientes de este código.

3.5.8 Limitaciones en los desplazamientos laterales relativos de piso

3.5.8.1 Definición

El desplazamiento relativo de piso es el desplazamiento lateral de un nivel relativo al de el nivel superior o inferior debido a las fuerzas laterales de diseño. El cálculo de los desplazamientos relativos deberá incluir las deflexiones debidas a los efectos de traslación y torsión.

3.5.8.2 Límites para los desplazamientos laterales relativos

Los desplazamientos laterales relativos calculados no deberán exceder $0.04/R_w$ o 0.005 veces la altura de piso para estructuras que tienen un período fundamental menor que 0.7 segundos. Para estructuras que tienen un período fundamental igual o mayor que 0.7 segundos, el desplazamiento lateral relativo calculado no deberá exceder $0.03/R_w$ o 0.004 veces la altura de piso.

Estos límites podrán excederse cuando se demuestre que desplazamientos laterales relativos mayores pueden ser tolerados por los elementos estructurales y no estructurales sin perjudicar la seguridad de vidas humanas.

3.5.8.3 Fuerzas utilizadas para determinar desplazamientos laterales relativos

Las fuerzas laterales de diseño utilizadas para calcular el desplazamiento lateral relativo, pueden ser derivadas de un valor de C basado en el período determinado de la ecuación (3.5-5) ignorando el límite inferior para C/R_w de 0.075 de 3.5.2.1 y las limitaciones de 3.5.2.2(b).

3.5.9 Efectos $P\Delta$

Las fuerzas y momentos resultantes en los miembros y los desplazamientos laterales inducidos por los efectos $P\Delta$ deberán considerarse en la evaluación de la estabilidad de toda la estructura. El efecto $P\Delta$ no necesita ser considerado cuando la relación entre los momentos de segundo orden y primer orden no excede 1.10. Esta relación podrá evaluarse para cualquier piso como el producto de la carga total (muerta y viva) sobre el piso multiplicada por el desplazamiento sísmico lateral relativo de ese piso, dividido entre el producto del cortante sísmico en ese piso multiplicado por la altura de ese piso. Para las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6, el efecto $P\Delta$ no necesita ser considerado cuando el desplazamiento lateral relativo no excede $0.02/R_w$.

3.5.10 Componente vertical sísmica

Los siguientes requisitos se aplican solamente a las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6.

Los elementos horizontales en voladizo deberán diseñarse para una fuerza neta hacia arriba igual a $0.5ZW_p$.

Además de todas las otras combinaciones de carga aplicables, los elementos horizontales de concreto preesforzado, deberán diseñarse utilizando no más del 50% de la carga muerta como carga vertical, sola o en combinación con los efectos de las fuerzas laterales.

3.6 Procedimientos dinámicos para determinar las fuerzas sísmicas

3.6.1 Generalidades

Los procedimientos de análisis dinámicos, cuando se utilizan, deberán conformarse con los criterios de esta Sección 3.6. Los análisis deberán basarse en representaciones apropiadas del movimiento del suelo y deberán ejecutarse utilizando principios de dinámica aceptados. Las estructuras diseñadas de acuerdo con esta sección, deberán cumplir con todos los otros requisitos aplicables de estas disposiciones sísmicas.

3.6.2 Movimiento del suelo

La representación del movimiento del suelo deberá, como mínimo, ser una que tenga un 10% de probabilidad de ser excedida en 50 años, y podrá ser una de las siguientes:

(a) Los espectros de respuesta descritos en 3.6.5.7 y graficados en la Figura 3.6-1

(b) Un espectro de respuesta específico del sitio basado en las características geológicas, tectónicas, sismológicas y del suelo asociadas con el sitio específico. El espectro deberá desarrollarse para una amortiguación del 5%, a menos que se demuestre que un valor diferente es consistente con el comportamiento estructural anticipado a la intensidad del temblor establecida para el sitio.

(c) Acelerogramas de movimientos del suelo desarrollados para el sitio específico, los cuales deberán ser representativos de los movimientos sísmicos reales. Los espectros de respuesta de acelerogramas, individuales o combinados, deberán aproximarse al espectro de diseño del sitio que se conforma a 3.6.2(c).

(d) Para estructuras en un Perfil de Suelo Tipo S4, los siguientes requisitos deberán aplicarse cuando sean requeridos por 3.4.8.3(d)

(d.1) La representación del movimiento del suelo deberá desarrollarse de acuerdo con (b) y (c). Cuando no se desarrolle esta representación del movimiento del suelo, podrá usarse como alternativa el espectro de respuesta correspondiente al Suelo Tipo S4 descrito en 3.6.5.7 y graficado en la Figura 3.6-1

(d.2) Deberá considerarse la posible amplificación de la respuesta del edificio debido a los efectos de la interacción entre el suelo y la estructura y el alargamiento del período del edificio causado por el comportamiento inelástico

(d.3) El cortante en la base determinado por estos procedimientos podrá reducirse a un cortante de diseño en la base V , dividiéndolo por un factor no mayor que el factor R_w apropiado para la estructura.

(e) La componente vertical del movimiento del suelo, podrá definirse multiplicando las aceleraciones horizontales correspondientes por un factor igual a $2/3$. Factores alternativos podrán utilizarse cuando estén respaldados por datos específicos del sitio

3.6.3 Modelo matemático

Un modelo matemático de la estructura física deberá representar la distribución espacial de la masa y rigidez de la estructura a un grado que sea adecuado para el cálculo de las características significativas de su respuesta dinámica. Un modelo tridimensional deberá ser utilizado para el análisis dinámico de estructuras con configuraciones en planta altamente irregulares, tales como las estructuras que tienen las irregularidades en planta definidas en la Tabla 3.4-5 y que tienen un diafragma rígido o semirígido.

3.6.4 Descripción de los procedimientos de análisis

3.6.4.1 Análisis con espectros de respuesta

Un análisis con espectros de respuesta es un análisis dinámico elástico de una estructura utilizando la respuesta dinámica pico de todos los modos que tienen una contribución significativa a la respuesta total de la estructura. Las respuestas modales pico se calculan utilizando las ordenadas de la curva del espectro de respuesta apropiado, descritos en 3.6.5.7 y graficados en la Figura 3.6-1, que corresponde a los períodos modales. Las contribuciones máximas modales se combinan en una manera estadística para obtener una respuesta aproximada total de la estructura.

3.6.4.2 Análisis con acelerogramas

Un análisis con acelerogramas es un análisis de la respuesta dinámica de la estructura a cada incremento de tiempo, cuando la base es excitada por un acelerograma específico del movimiento del suelo.

3.6.5 Análisis con espectros de respuesta

3.6.5.1 Número de modos

El requisito en 3.6.4.1 de que todos los modos significativos deberán ser incluidos en el análisis, puede satisfacerse si se demuestra que para los modos considerados por lo menos el 90% de la masa participante de la estructura está incluida en el cálculo de la respuesta para cada dirección horizontal considerada.

3.6.5.2 Combinación de modos

Las fuerzas en los miembros, desplazamientos, fuerzas en los pisos, cortantes en los pisos y reacciones en la base para cada modo deberán ser combinadas por métodos reconocidos. La respuesta total se podrá calcular como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las diferentes respuestas modales. Cuando se utilicen modelos tridimensionales en el análisis, se deberá considerar el efecto de interacción modal cuando se haga la combinación modal.

3.6.5.3 Escalamiento de resultados

El cortante en la base V para una dirección dada, determinada utilizando estos procedimientos, cuando su valor sea menor que los valores indicados a continuación, se deberá aumentar hasta estos valores:

(a) El cortante en la base deberá incrementarse hasta los siguientes porcentajes de los valores determinados por los procedimientos de la Sección 3.5.

(a.1) 100% para edificios irregulares.

(a.2) 90% para edificios regulares, excepto que el cortante en la base no deberá ser menor que el 80% de la determinada de la Sección 3.5 utilizando un período T calculado por el Método A.

Todos los parámetros de respuesta correspondientes, incluyendo deflexiones, momentos y fuerzas en los miembros, deberán aumentarse proporcionalmente.

(b) El cortante en la base para una dirección dada, determinada utilizando estos procedimientos no necesita exceder el valor requerido por (a). Cuando el cortante sea mayor podrá disminuirse al valor requerido por (a), y todos los parámetros de respuesta correspondientes podrán ajustarse proporcionalmente.

3.6.5.4 Efectos direccionales

Los efectos direccionales para movimiento horizontal del suelo deberán conformarse a los requisitos de 3.5.1. Los efectos del movimiento vertical del suelo en voladizos horizontales y en elementos de concreto preesforzado deberán considerarse en concordancia con 3.5.10. Alternativamente la respuesta sísmica vertical puede determinarse por métodos dinámicos de respuesta, en ningún caso la respuesta utilizada para el diseño deberá ser menor que la obtenida por el método estático

3.6.5.5 Torsión

El análisis deberá considerar los efectos de torsión, incluyendo los efectos de torsión accidental descritos en 3.5.6. Cuando se utilicen modelos tridimensionales en el análisis, los efectos de torsión accidental deberán considerarse por ajustes adecuados al modelo, tales como el ajuste en la localización horizontal de las masas, o por procedimientos estáticos equivalentes como los descritos en 3.5.6

3.6.5.6 Sistemas dobles

Cuando las fuerzas sísmicas laterales son soportadas por un sistema doble como se define en 3.4.6.5, el sistema combinado deberá ser capaz de resistir el cortante en la base determinado de acuerdo con 3.6.5. El sistema de marcos rígidos deberá conformarse a 3.4.6.5(2) y podrá analizarse utilizando cualquiera de los procedimientos de 3.5.4 o 3.6.5

3.6.5.7 Espectros de respuesta

Los espectros de respuesta a ser utilizados por el procedimiento de análisis modal descrito en esta sección, se definen a continuación y están graficados en la Figura 3.6-1.

La forma de los espectros de respuesta depende del tipo de Perfil de Suelo, por lo que se deberá utilizar el correspondiente al tipo de suelo donde se construirá la estructura. Los períodos característicos T_a y T_b , y el factor exponencial e para los diferentes tipos de suelo se indican en la Tabla 3.4-2. La ordenada o aceleración espectral a está dada en función de los parámetros T_a , T_b y e y el coeficiente S del suelo, el factor sísmico Z correspondiente a la Zona Sísmica del sitio, y el período modal T en consideración.

(a) Para $T < T_a$

$$a = Zg \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_a} \right) S \quad (3.5-10)$$

(b) Para $T_a \leq T \leq T_b$

$$a = ZgS \quad (3.5-11)$$

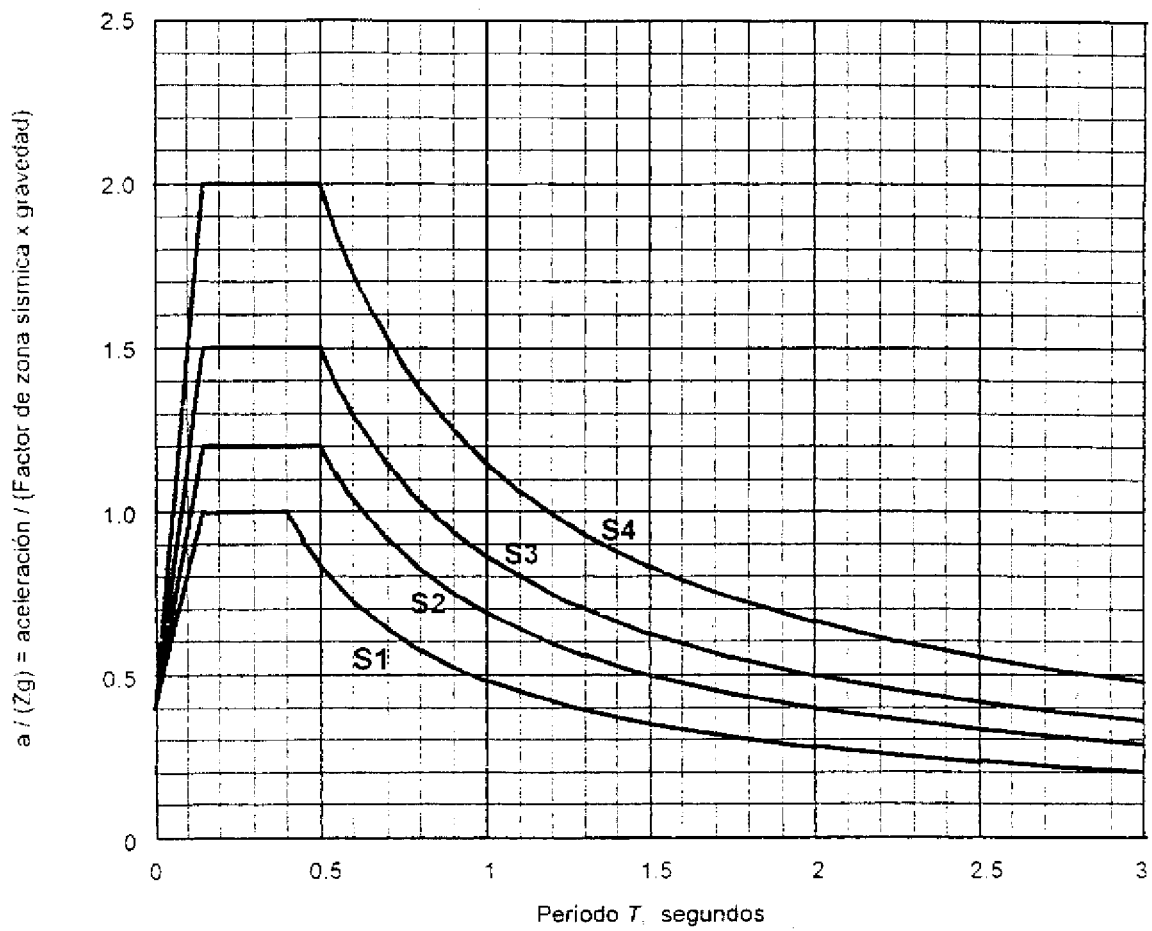
(c) Para $T > T_b$

$$a = Zg \left(\frac{T_b}{T} \right)^e S \quad (3.5-12)$$

Donde los valores de los períodos están dados en segundos y la aceleración espectral a y la aceleración gravitacional g en metros por segundo al cuadrado (m/s^2). Para el Perfil de Suelo Tipo S4 se deberá establecer un espectro de respuesta específico del sitio de acuerdo con 3.6.2(d 1).

3.6.6 Análisis con acelerogramas

Los análisis donde se utilizan acelerogramas deberán cumplir con los requerimientos de 3.4.10



Notas: a) Ver Tabla 3.4-2 para la definición de Perfiles de Suelo S1, S2, S3 y S4
 b) Ver Figura 3.4-1 para el factor Z de las Zonas Sísmicas

Figura 3.6-1 Curvas de espectros de respuesta

3.7 Fuerza lateral en elementos de estructuras, componentes no estructurales y equipo soportados por estructuras

3.7.1 Generalidades

Los elementos de estructuras y sus conexiones, componentes no estructurales permanentes y sus conexiones, y las conexiones de maquinaria o equipo permanente, soportados por una estructura, deberán diseñarse para resistir toda la fuerza sísmica de diseño prescrita en 3.7.2. Las conexiones de techo o piso para el montaje de equipo que pesa menos de 180 Kg y el mobiliario, no necesitan ser diseñados

Las conexiones deberán incluir anclajes y armostramientos requeridos. La fricción que resulta de las cargas gravitacionales, deberá considerarse que no proporciona resistencia a las fuerzas sísmicas.

Cuando la falla estructural de sistemas resistentes a fuerzas laterales de equipo no rígido, pueda causar peligro a vidas humanas, estos sistemas deberán diseñarse para resistir las fuerzas sísmicas prescritas en 3.7.2

3.7.2 Diseño por fuerza lateral total

La fuerza sísmica total de diseño F_p , deberá determinarse de la siguiente ecuación:

$$F_p = Z I_p C_p W_p \quad (3.7-1)$$

Los valores de Z y de I_p deberán ser los empleados para la estructura, obtenidos de las Tablas 3.4-1 y 3.4-3. El valor de C_p está indicado en la Tabla 3.7-1. El valor de W_p es el peso del elemento o componente.

El coeficiente C_p es para elementos y componentes, y para equipo rígido o rígidamente soportado. Se define equipo rígido o rígidamente soportado al que tiene un período fundamental menor o igual que 0.06 segundos. El equipo no rígido o flexiblemente soportado se define como un sistema que tiene un período fundamental, incluyendo el equipo, mayor que 0.06 segundos.

Las fuerzas laterales calculadas para equipo no rígido o flexiblemente soportado por una estructura y localizado sobre el nivel del terreno, deberá determinarse considerando las propiedades dinámicas del equipo y de la estructura que lo soporta, pero el valor no deberá ser menor que el indicado en la Tabla 3.7-1. En la ausencia de un análisis o datos empíricos, el valor de C_p para equipo no rígido o flexiblemente soportado localizado sobre el nivel del terreno en una estructura, deberá tomarse como dos veces el valor indicado en la Tabla 3.7-1, pero no necesita exceder 2.0.

Excepto para sistemas de tuberías y ductos que están contruidos de materiales dúctiles y sus conexiones, puede usarse el valor de C_p de la Tabla 3.7-1.

El valor de C_p para elementos, componentes y equipo soportado lateralmente por sí mismo, en o abajo del nivel del terreno, puede ser 2/3 del valor indicado en la Tabla 3.7-1. Sin embargo, las fuerzas laterales de diseño para un elemento, componente o pieza de equipo, no deberán ser menores que las que se obtendrían si estos artículos se trataran como estructuras independientes y utilizando las disposiciones de la Sección 3.9

Las fuerzas laterales de diseño determinadas de la ecuación (3.7-1), deberán distribuirse en proporción a la distribución de masas del elemento o componente

Las fuerzas determinadas de la ecuación (3.7-1) deberán usarse para diseñar miembros y conexiones que transfieren estas fuerzas a los sistemas resistentes a sismos.

Para las fuerzas aplicables a conectores de paneles exteriores y diafragmas, referirse a 3.8.2.4 y 3.8.2.9

Las fuerzas deberan aplicarse en la direccion horizontal que resulta en las cargas mas criticas para el diseno

Tabla 3.7-1 Factor de fuerza horizontal C_p

Elementos de estructuras, componentes no estructurales y equipo ^a	C_p	Nota
1 Elementos de estructuras		
1 Muros incluyendo lo siguiente:		
a) Parapetos no arriostrados (voladizo)	2.00	
b) Otros muros exteriores sobre el piso del terreno	0.75	b y c
c) Todos los muros y divisiones interiores	0.75	c
d) Cercos de mampostería o concreto con más de 1.80 metros de altura	0.75	
2 Apartamento mirador (excepto cuando es parte del resto de la estructura)	0.75	
3 Conexiones para elementos estructurales prefabricados distintos a muros, con la fuerza aplicada en el centro de gravedad	0.75	d
4 Diafragmas	-	e
2 Componentes no estructurales		
1 Ornamentaciones y apéndices exteriores e interiores	2.00	
2 Chimeneas, tubos de escape, torres tipo armadura y tanques sobre patas:		
a) Soportado en, o proyectado como, un voladizo no arriostrado sobre el techo a más de la mitad de su altura total	2.00	
b) Todos los otros, incluyendo los soportados debajo del techo con una proyección sobre el techo menor que la mitad de su altura, o arriostrado o soportado por tensores al marco estructural en o sobre sus centros de masa	0.75	
3 Rótulos y tableros de propaganda	2.00	
4 Estantes de almacenamiento (incluye contenidos)	0.75	
5 Anclajes para gabinetes y estantes de libros permanentemente soportados en el piso con más de 1.50 metros de altura (incluye contenidos)	0.75	
6 Anclajes para cielos falsos y dispositivos de iluminación	0.75	d, f, g, i
7 Sistemas de acceso de pisos	0.75	
3 Equipo		
1 Tanques y contenedores incluyendo el contenido, soportes y anclajes	0.75	
2 Maquinaria y equipo eléctrico, mecánico y de plomería con la tubería y los ductos correspondientes	0.75	h

^a Ver la Sección 3.7.2 para artículos soportados sobre o debajo del nivel del terreno.

^b Ver la Sección 3.8.2.4 y la Sección 3.7.2

^c Cuando diafragmas flexibles, como se definen en la Sección 3.5.6 proporcionan soporte lateral a muros y divisiones el valor de C_p para anclaje debera ser incrementado 50% para la mitad media del claro del diafragma

^d No se aplica a la Zona Sismica 1.

^e Ver la Sección 3.8.2.9

^f El peso del cielo debera incluir todos los dispositivos de iluminación y otro equipo o particiones que están lateralmente soportadas por el cielo. Para el propósito de determinar la fuerza sismica, se debera usar un cielo falso con un peso no menor que 20 Kg/m²

^g Para cielos contruidos con láminas de yeso o materiales similares atomillados o clavados a miembros suspendidos que soportan el cielo y se extienden de pared a pared, no necesitan ser analizados si las paredes no están separadas a más de 15 metros

^h El equipo incluye, pero no está limitado a, caldera, enfriador, bomba, unidad de manejo de aire, torre enfriadora, panel de control, motor, engranajes, transformador y equipo de seguridad. Incluye conductos, ductos y tubería principal que sirve a esta maquinaria y equipo y sistema de aspersores contra incendio. Ver la Sección 3.7.2 para requisitos adicionales en la determinación de C_p para equipo no rígido o flexiblemente soportado

ⁱ El valor de W_p para sistemas de acceso de pisos debera ser la carga muerta del sistema de acceso más el 25% de la carga viva de piso más una carga adicional de 50 Kg/m² por divisiones

^j Los dispositivos de iluminación y servicios de mecánica instalados en sistemas suspendidos de metal para paneles acusticos o similares deberán estar soportados independientemente de la estructura arriba del cielo.

3.7.3 Especificación de fuerzas laterales

Las especificaciones de diseño para el equipo deberán incluir las fuerzas laterales de diseño aquí prescritas o referenciarse a estas disposiciones.

3.7.4 Movimiento relativo de las conexiones de equipo

Para equipo en edificios de Categoría 1 y 2 definidos en la Tabla 3 4-3, las fuerzas laterales de diseño deberán considerar los efectos del movimiento relativo de los puntos de conexión a la estructura (desplazamientos laterales relativos)

3.7.5 Diseños alternativos

Cuando datos aprobados de pruebas físicas proporcionan una base para el diseño antisísmico de un tipo particular de equipo u otro componente no estructural, estos datos podrán ser aceptados como una base para el diseño de los artículos con las siguientes limitaciones:

- (a) Estas disposiciones deberán proporcionar los valores mínimos para el diseño del anclaje y los miembros y las conexiones que transfieren las fuerzas al sistema resistente a sismos
- (b) La fuerza F_p y el momento volcante usados en el diseño de los componentes no estructurales no deberán ser menores que el 80% de los valores que se obtendrían usando estas disposiciones.

3.8 Requisitos de diseño para detalles del sistema

3.8.1 Generalidades

Todos los sistemas estructurales de marco deberán cumplir con los requisitos de la Sección 3.4. Solamente los elementos del sistema designado para soportar fuerzas sísmicas deberán ser utilizados para resistir las fuerzas de diseño. Los componentes individuales deberán diseñarse para resistir las fuerzas sísmicas de diseño prescritas que actúan sobre ellos. Los miembros también deberán cumplir con las disposiciones específicas para el tipo de material en consideración, establecidas en las normas técnicas complementarias correspondientes de este código. Además, estos sistemas y componentes deberán cumplir con los requisitos de diseño para detalles del sistema indicados en esta Sección 3.8.

Todos los componentes de los edificios deberán diseñarse para resistir los efectos de las fuerzas sísmicas prescritas aquí, y los efectos de las cargas gravitacionales, muerta y viva.

Se deberá considerar en el diseño los efectos de fuerzas de levantamiento causadas por las cargas sísmicas. Para los materiales que usan procedimientos de esfuerzos de trabajo, las cargas muertas deberán multiplicarse por 0.85 cuando se utilizan para reducir el levantamiento.

Se deberá considerar los efectos de las fuerzas sísmicas actuando en otra dirección distinta a los ejes principales en cada una de las siguientes circunstancias:

- (a) La estructura tiene irregularidad de planta Tipo 5, como se indica en la Tabla 3 4-5
- (b) La estructura tiene irregularidad de planta Tipo 1, como se indica en la Tabla 3.4-5, para ambos ejes principales.
- (c) Una columna de la estructura forma parte de dos o más sistemas resistentes a cargas laterales que se interceptan. Excepto cuando la carga axial en la columna debida a las fuerzas sísmicas que actúan en cualquiera de las direcciones es menor que el 20% de la carga axial permisible de la columna.

El requisito de que los efectos ortogonales sean considerados puede satisfacerse diseñando esos elementos para el 100% de las fuerzas sísmicas prescritas en una dirección más el 30% de las fuerzas prescritas en la dirección perpendicular. La combinación que requiera la resistencia mayor deberá usarse en el diseño. Alternativamente, los efectos de las dos direcciones ortogonales puede

combinarse en base a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las fuerzas, cuando se utilice este método, a cada término calculado se le deberá asignar el signo por el que se obtendría el resultado más conservativo.

3.8.2 Sistemas estructurales de marco

3.8.2.1 Generalidades

En estas disposiciones se reconocen cuatro tipos básicos de sistemas estructurales de edificios, definidos en 3.4.6 e indicados en la Tabla 3.4-6. Cada tipo está subdividido por los tipos de elementos verticales utilizados para resistir fuerzas sísmicas laterales. Detalles especiales de diseño se prescriben en esta sección y en las normas técnicas complementarias, de este código, para el tipo de material correspondiente.

3.8.2.2 Detalles para sistemas combinados

Para componentes comunes a diferentes sistemas estructurales, se deberá usar los requerimientos de detalle más estrictos.

3.8.2.3 Conexiones

Las conexiones que resisten fuerzas sísmicas deberán ser diseñadas correspondientemente, y detalladas en los planos de diseño.

3.8.2.4 Compatibilidad de deformaciones

Todos los elementos en un marco que no son requeridos por el diseño para formar parte del sistema resistente a fuerzas laterales, deberán ser investigados y demostrar que su capacidad es adecuada para resistir cargas verticales cuando se desplazan $3(R_w/8)$ veces los desplazamientos obtenidos de la aplicación de las fuerzas horizontales requeridas. Se deberán considerar los efectos $P\Delta$ en estos elementos. Para los diseños que usan los métodos de esfuerzos de trabajo, esta capacidad utilizando un esfuerzo permisible aumentado por 1.7. La rigidez de elementos rígidos adjuntos y elementos exteriores deberá considerarse como sigue:

(a) **Elementos rígidos adjuntos.** Los marcos rígidos pueden encerrar o tener adjuntos elementos que son más rígidos, los que tenderán a prevenir que el marco resista las fuerzas laterales. Se deberá, por lo tanto, demostrar que la acción o falla de estos elementos no perjudicará la capacidad del marco rígido para resistir cargas verticales y laterales.

(b) **Elementos exteriores.** Los paneles de pared exteriores que no son de carga ni de cortante o elementos que están sujetos a o que encierran el exterior del edificio, deberán diseñarse para resistir las fuerzas de la ecuación (3.7-1) y deberán acomodarse a los movimientos de la estructura que resultan de las fuerzas laterales o cambios de temperatura. Estos elementos deberán estar soportados por medio de concreto fundido en el sitio o por conectores o sujetadores mecánicos de acuerdo con las siguientes disposiciones.

(b.1) Las juntas y conexiones de paneles deberán permitir un movimiento relativo entre pisos por lo menos igual a 2 veces los desplazamientos laterales relativos causados por el viento, $3(R_w/8)$ veces el desplazamiento elástico lateral relativo calculado para las fuerzas sísmicas de diseño, o 1.5 cm, el que sea mayor.

(b.2) Las conexiones que permiten movimiento en el plano del panel por los desplazamientos laterales relativos del piso, deberán ser conexiones deslizantes usando huecos alargados o agrandados, conexiones que permiten movimiento por flexión del acero, u otras conexiones que proporcionan capacidades equivalentes de deslizamiento o ductilidad.

(b.3) Los cuerpos de las conexiones deberán tener capacidad suficiente de ductilidad y rotación para prevenir fractura del concreto o falla súbita en o cerca de las soldaduras.

(b.4) El cuerpo de la conexión deberá diseñarse para una fuerza igual a 1.33 veces la determinada por la ecuación (3.7-1).

(b.5) Todos los sujetadores en el sistema de conexión, tales como pernos, inserciones, soldaduras y bastones, deberán diseñarse para una fuerza igual a 4 veces la determinada por la ecuación (3.7-1).

(b.6) Los sujetadores incrustados en el concreto, deberán estar ligados a, o enganchados alrededor de, el acero de refuerzo, o terminados de otra forma de manera que transfieran efectivamente las fuerzas al acero de refuerzo.

3.8.2.5 Amarres y continuidad

Todas las partes de la estructura deberán estar interconectadas y las conexiones deberán ser capaces de transmitir la fuerza sísmica inducida por las partes conectadas. Como mínimo, cualquier parte pequeña del edificio deberá estar asegurada al resto del edificio por elementos que tengan por lo menos una resistencia para soportar $Z/3$ veces el peso de la parte pequeña.

Una conexión positiva para resistir una fuerza horizontal que actúe paralela al miembro, deberá proporcionarse para cada viga, trabe o armadura. Esta fuerza no deberá ser menor que $Z/5$ veces la suma de la carga muerta y viva.

3.8.2.6 Elementos colectores

Se deberán proporcionar elementos colectores que sean capaces de transferir las fuerzas sísmicas originadas en otras partes del edificio a los elementos que proporcionan la resistencia a esas fuerzas.

3.8.2.7 Marcos de concreto

Los marcos de concreto requeridos por el diseño a ser parte del sistema resistente a fuerzas laterales deberán conformarse a los siguiente.

- (a) En las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6, deberán ser marcos rígidos especiales.
- (b) En las Zonas Sísmicas 2 y 3, deberán ser como mínimo marcos rígidos intermedios.

3.8.2.8 Anclaje de muros de concreto o mampostería

Los muros de concreto o mampostería deberán anclarse al piso y techo que proporcionan soporte lateral para los muros. El anclaje deberá proveerse como una conexión directa positiva entre el muro y la construcción del piso o techo capaz de resistir las fuerzas horizontales especificadas en 3.7 o 1.11. Los requisitos para desarrollar las fuerzas de los anclajes en diafragmas están descritos en 3.8.2.9. La deformación de los diafragmas deberá ser considerada en el diseño del muro soportado.

3.8.2.9 Diafragmas

- (a) La deflexión en el plano del diafragma no deberá exceder la deflexión permisible de los elementos sujetos. La deflexión permisible deberá ser la que permita al elemento sujeto mantener su integridad estructural bajo las cargas individuales y continuar soportando las cargas prescritas.
- (b) Los diafragmas de piso y techo deberán diseñarse para resistir las fuerzas determinadas de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F_{px} = \frac{F_t + \sum_{i=y}^n F_i}{\sum_{i=x}^n W_i} W_{px} \quad (3.8-1)$$

La fuerza F_{px} determinada de la ecuación (3.8-1) no necesita exceder $0.75 Z I W_{px}$, pero no deberá ser menor que $0.35 Z I W_{px}$.

Cuando se requiera que el diafragma transmita fuerzas laterales de los elementos verticales resistentes arriba del diafragma a otros elementos verticales resistentes abajo del diafragma

debido a desalineamientos en la colocación de los elementos verticales o a cambios en sus rigideces, estas fuerzas deberán sumarse a las determinadas por la ecuación (3.8-1)

(c) Las fuerzas de diseño para diafragmas flexibles y sus conexiones que proveen soporte lateral a muros o marcos de concreto o mampostería, deberán ser calculadas usando un valor de R_w que no exceda de 6

(d) Los diafragmas que soportan muros de concreto o mampostería deberán tener amarres continuos o puntales entre las cuerdas del diafragma para distribuir las fuerzas de anclaje especificadas en 3.8.2.8. Se podrán usar cuerdas adicionales para formar subdiafragmas para transmitir las fuerzas de anclaje a las cuerdas principales.

(e) Las conexiones de los diafragmas con elementos verticales y colectores, y las conexiones de los colectores con elementos verticales, en estructuras en las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6, que tienen irregularidad de planta Tipo 1, 2, 3 o 4 definidas en la Tabla 3.4-5, deberán diseñarse sin considerar el incremento de 1/3 para los esfuerzos permisibles, que usualmente es permitido en para elementos que resisten fuerzas sísmicas.

(f) En estructuras en Zonas Sísmicas 4, 5 y 6, que tienen una irregularidad de planta Tipo 2 definida en la Tabla 3.4-5, las cuerdas de los diafragmas y demás elementos deberán diseñarse considerando movimiento independiente de las alas proyectadas de la estructura. Cada uno de los elementos de estos diafragmas deberá diseñarse para la condición más severa de las dos suposiciones siguientes

(f 1) Movimiento de las alas proyectadas en la misma dirección.

(f 2) Movimiento de las alas proyectadas en direcciones opuestas.

Este requisito puede obviarse si se cumplen con los procedimientos de 3.6 y se utiliza un modelo tridimensional para determinar las fuerzas sísmicas de diseño.

3.8.2.10 Marcos debajo de la base

La resistencia y rigidez de la parte de la estructura debajo de la base y la cimentación, no deberán ser menores que los de la superestructura. Los requerimientos especiales aplicables descritos en las normas técnicas complementarias para los diferentes tipos materiales y cimentaciones, deberán ser considerados en el diseño de estas partes de la estructura.

3.8.2.11 Separación de edificios

Todas las estructuras deberán estar separadas de estructuras adyacentes. Esta separación deberá permitir desplazamientos laterales iguales a $3(R_w/8)$ veces los desplazamientos debidos a fuerzas sísmicas. Cuando una estructura esté adjunta a una línea de propiedad, esta estructura también se deberá correr hacia adentro de la línea de propiedad la distancia anteriormente especificada.

Se podrán usar valores menores de separaciones o corrimientos de línea de propiedad cuando se justifique por medio de análisis racionales basados en movimientos sísmicos máximos esperados. Como mínimo, la distancia de separación o corrimiento de línea de propiedad no deberá ser menor que $(R_w/8) \geq 1$ veces la suma de los desplazamientos laterales debidos a las fuerzas sísmicas especificadas por este código

3.9 Estructuras distintas a edificios

3.9.1 Generalidades

3.9.1.1 Alcance

Las estructuras consideradas en esta sección son todas las estructuras distintas a edificios que están soportadas por sí mismas y que resisten cargas gravitacionales y efectos sísmicos. Estas estructuras deberán diseñarse para resistir las fuerzas mínimas laterales especificadas en esta

sección. El diseño deberá conformarse a las disposiciones aplicables de otras secciones modificadas por las disposiciones contenidas en 3.9.

3.9.1.2 Criterios

Las fuerzas mínimas laterales de diseño especificadas en esta sección son a nivel de servicio. El diseño de estructuras distintas a edificios deberá proporcionar suficiente resistencia y ductilidad, consistente con las disposiciones especificadas en estas normas para edificios, para resistir los efectos de los movimientos sísmicos representados por estas fuerzas de diseño.

3.9.1.3 Peso W

El peso W para estructuras distintas a edificios deberá incluir toda la carga muerta como se define para edificios en 3.5.1. Con el propósito de calcular las fuerzas sísmicas de diseño en estructuras distintas a edificios, W deberá incluir todos los contenidos normales de operación para artículos tales como tanques, contenedores, tolvas y tuberías.

3.9.1.4 Período T

El período fundamental de la estructura deberá determinarse por métodos racionales como el Método B en 3.5.2.

3.9.1.5 Desplazamiento lateral relativo

En general, no será necesario aplicar las limitaciones para los desplazamientos laterales relativos especificadas en 3.5.8, a estructuras distintas a edificios. Las limitaciones para los desplazamientos laterales relativos deberán aplicarse para elementos estructurales y no estructurales cuya falla sería una amenaza de peligro a vidas humanas. Los efectos $P\Delta$ deberán considerarse para estructuras cuyo desplazamiento lateral relativo calculado excede los valores especificados en 3.5.8.

3.9.1.6 Efectos de interacción

En las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6, las estructuras que soportan elementos no estructurales flexibles cuyo peso combinado excede el 25% del peso de la estructura, deberán diseñarse considerando los efectos de interacción entre la estructura y los elementos soportados.

3.9.2 Fuerza lateral

Los procedimientos para determinar la fuerza lateral para estructuras distintas a edificios con sistemas estructurales similares a los de edificios (las que tienen sistemas estructurales que están descritos en la Tabla 3.4-6) deberán ser seleccionados de acuerdo con la Sección 3.4.

Se podrán usar marcos rígidos intermedios en las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6 para estructuras distintas a edificios en Categoría de Ocupación 3 y 4 si (a) la estructura tiene una altura menor que 15 metros y (b) se utiliza un valor de R_w igual a 4.0 para el diseño.

3.9.3 Estructuras rígidas

Las estructuras rígidas, que tienen un período T menor que 0.06 segundos, incluyendo sus anclajes, deberán diseñarse para la fuerza lateral obtenida de la ecuación (3.9-1).

$$V = 0.5 Z I W \quad (3.9-1)$$

La fuerza V deberá distribuirse de acuerdo con la distribución de masas, y deberá asumirse que actúa en cualquier dirección horizontal.

3.9.4 Tanques con el fondo soportado

Los tanques con fondo plano u otros tanques con su fondo soportado, fundados en o abajo del terreno, deberán diseñarse para resistir la fuerza sísmica calculada utilizando los procedimientos de la Sección 3.9 para estructuras rígidas, considerando el peso total del tanque y sus contenidos.

Alternativamente, estos tanques podran diseñarse utilizando uno de los dos procedimientos descritos a continuación:

- (a) Un análisis con espectros de respuesta que incluye consideración del movimientos sísmico real anticipado en el sitio y el efecto de inercia del fluido contenido.
- (b) Uso de bases de diseño aprobadas y prescritas para el tipo particular del tanque condicionado a que la zona sísmica y la categoría de ocupación deberán conformarse a las disposiciones de 3.4.2 y 3.4.4, respectivamente.

3.9.5 Otras estructuras distintas a edificios

Las estructuras distintas a edificios que no están contempladas en 3.9.2 y 3.9.3, deberán diseñarse para resistir fuerzas laterales sísmicas mínimas que no sean menores que las determinadas de acuerdo con las disposiciones en la Sección 3.5 con las siguientes modificaciones

- (a) El factor R_w deberá ser el indicado en la Tabla 3.9-1. La relación C/R_w utilizada en el diseño no deba ser menor que 0.4
- (b) La distribución vertical de las fuerzas sísmicas laterales en las estructuras consideradas en esta sección, podrá determinarse por medio de las disposiciones en 3.5.4 o utilizando los procedimientos en 3.6. Excepto que, el procedimiento en 3.6 deberá ser utilizado para todas las estructuras irregulares con Categoría de Ocupación 1 y 2 que no pueden ser modelas con una sola masa.
- (c) Podrá utilizarse las bases de otro procedimiento aprobado para el diseño antisísmico de un tipo particular de estructura considerado en esta sección, sujetándose a las siguientes limitaciones.
 - (c.1) Las zonas sísmicas y las categorías de ocupacion deberán conformarse a las disposiciones de 3.4.5 y 3.4.4, respectivamente.
 - (c.2) Los valores de el cortante total y el momento de volcamiento en la base utilizados en el diseño, no deberán ser menores que el 80% de los valores que se obtendrían utilizando las disposiciones de estas normas

Tabla 3.9-1 Factores R_w para estructuras distintas a edificios

Tipo de estructura	R_w
1 Contenedores, incluyendo tanques y esferas presurizadas sobre patas arriostreadas o sin riostras	3
2 Silos y chimeneas de concreto fundido en el sitio con muros continuos hasta la cimentación	5
3 Estructuras en voladizo con la masa distribuida como tubos de escape, chimeneas, silos y contenedores soportados verticalmente	4
4 Torres tipo armaduras (sin o con tensores) tubos de escape con tensores y chimeneas	4
5 Estructuras tipo péndulo invertido	3
6 Torres de enfriamiento	5
7 Tolvas y contenedores sobre patas arriostreadas o sin riostras	4
8 Estantes de almacenamiento	5
9 Rótulos y tableros de propaganda	5
10 Estructuras para entretenimiento y monumentos	3
11 Todas las otras estructuras soportadas por sí mismas distintas a las de arriba	4