

3. DISEÑO POR SISMO

3.1 Generalidades

3.1.1 Diseño mínimo por sismo

Las estructuras y sus partes deberán diseñarse y construirse para resistir, como mínimo, los efectos de los movimientos sísmicos del terreno como se dispone en esta sección.

3.1.2 Sismo y viento

Cuando los efectos del viento obtenidos por los procedimientos descritos en la Sección 2, son mayores que los efectos sísmicos, el diseño por viento deberá controlar, pero los requisitos y limitaciones en detalles del diseño dispuesto en esta Sección 3, y en otras normas técnicas complementarias de este código, deberán cumplirse.

3.2 Definiciones

Para los propósitos de esta Sección 3, se definen ciertos términos como sigue:

Base es el nivel al que se considera que los movimientos sísmicos son impartidos a la estructura, o el nivel al que la estructura, como un vibrador dinámico, es soportada

Colector es un miembro o elemento proporcionado para transferir fuerzas laterales de una parte de la estructura a los elementos verticales del sistema resistente a fuerzas laterales.

Cortante de piso, V_x , es la suma de todas las fuerzas laterales de diseño sobre el piso en consideración.

Cortante en la base, V , es la fuerza o cortante total lateral de diseño en la base de la estructura.

Cuerda de diafragma es un elemento de frontera de un diafragma o muro cortante que se supone toma los esfuerzos axiales en forma análoga a las alas de una viga.

Desplazamiento lateral relativo de un piso es el desplazamiento lateral de un piso relativo al nivel de arriba o abajo.

Desplazamiento lateral relativo. Ver desplazamiento lateral relativo de un piso.

Diafragma es un sistema horizontal, o casi horizontal, que actúa para transmitir fuerzas laterales a los elementos verticales resistentes a fuerzas laterales. El término "diafragma" incluye sistemas horizontales arriostrados.

Edificios esenciales son las estructuras que son necesarias para las operaciones de emergencia subsecuentes a un desastre natural

Efecto $P\Delta$ es el efecto secundario en cortantes, momentos y fuerzas axiales de los miembros de la estructura inducidos por las cargas verticales que actúan en la estructura lateralmente deformada

Efectos ortogonales son los efectos en elementos estructurales causados por los efectos de un

sismo que actúa en una dirección distinta a cualquiera de los dos ejes principales y ortogonales de la estructura.

Elemento de frontera es un elemento en los bordes de aberturas o en los perímetros de muros cortantes o diafragmas.

Elemento flexible o sistema flexible es el que presenta deformaciones bajo cargas laterales significativamente más grandes que las de partes adyacentes del sistema. Relaciones límite para definir elementos flexibles específicos están indicadas en 3.5.5 o 3.7.2.

Estructura es el acoplamiento de miembros y marcos diseñado para soportar cargas gravitacionales y resistir fuerzas laterales. Las estructuras se pueden clasificar en estructuras de edificios y otras estructuras.

Marco arriostrado es esencialmente un sistema de arnadura vertical del tipo concéntrico o excéntrico que se proporciona para resistir fuerzas laterales.

Marco arriostrado común (MAC) es un marco arriostrado de concreto diseñado de acuerdo con la Sección 21 de las normas técnicas complementarias para estructuras de concreto de este código.

Marco arriostrado concéntrico es un marco arriostrado en el que los miembros están sometidos principalmente a fuerzas axiales.

Marco arriostrado excéntrico (MAE) es un marco arriostrado en el que los miembros están sometidos a fuerzas axiales, flexión y cortante.

Marco espacial es un sistema estructural tridimensional, sin muros de carga, compuesto de miembros interconectados de manera que todo el sistema funciona como una unidad completa resistente a cargas laterales, con o sin la ayuda de diafragmas horizontales o sistemas de piso arriostrados.

Marco rígido es un marco en el que los miembros y juntas son capaces de resistir fuerzas principalmente por flexión.

Marco rígido común (MRC) es un marco resistente a momento que no cumple con los requisitos especiales de diseño para un comportamiento dúctil.

Marco rígido especial (MRE) es un marco resistente a momento detallado especialmente para proporcionar un comportamiento dúctil y que cumple con los requisitos de la Sección 21 de las normas técnicas complementarias para estructuras de concreto de este código.

Marco semirígido (MSR) es un marco de concreto diseñado de acuerdo con los requisitos de la Sección 21.8 de las normas técnicas complementarias para estructuras de concreto de este código.

Marco soportante de cargas verticales es un marco espacial diseñado para soportar todas las cargas verticales gravitacionales.

Marco-muro rígido (MMR) es un muro de mampostería enmarcado y detallado especialmente para que tenga un comportamiento dúctil.

Muro cortante es un muro diseñado para resistir fuerzas laterales paralelas a el plano del muro. También se conocen como diafragmas verticales.

Piso es el espacio entre dos niveles. El piso x es el piso debajo del nivel x .

Piso débil es un piso que tiene una resistencia menor que el 80% de la resistencia del piso superior. Ver Tabla 3.4-4.

Piso suave es un piso que tiene una rigidez lateral menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior. Ver Tabla 3.4-4.

Puntal de diafragma (colector) es el elemento de un diafragma paralelo a la carga aplicada que

colecta el cortante del diafragma y lo transmite a los elementos verticales resistentes, o distribuye las cargas dentro del diafragma. Estos miembros pueden tomar fuerzas axiales en tensión o compresión.

Relación de desplazamiento lateral relativo es el desplazamiento lateral relativo de un piso dividido entre la altura del piso

Resistencia es la capacidad de un elemento o miembro de resistir cargas factorizadas.

Sistema de marco de edificio es esencialmente un marco espacial completo que proporciona soporte a cargas gravitacionales. Ver 3.4.6.3.

Sistema de muros de carga es un sistema estructural sin un marco espacial resistente a cargas verticales completo. Ver 3.4.6.2

Sistema doble es una combinación de marcos rígidos y muros de cortante o marcos arriostrados, diseñados de acuerdo con los criterios de 3.4.6.5.

Sistema horizontal arriostrado es un sistema de armadura horizontal que sirve la misma función de un diafragma

Sistema resistente a cargas laterales es la parte del sistema estructural asignado para resistir fuerzas laterales.

3.3 Notación

A_c	=	área efectiva combinada de los muros cortante en el primer piso de la estructura, m^2
A_e	=	el área cortante mínima de la sección transversal de un muro cortante para cualquier plano horizontal en el primer piso, m^2 .
A_x	=	el factor de amplificación torsionante en el Nivel x
C	=	coeficiente numérico especificado en 3.5.2.1.
C_p	=	coeficiente numérico especificado en 3.7 y dado en la Tabla 3.7-1
C_t	=	coeficiente numérico especificado en 3.5.2.2.
D_e	=	longitud de un muro cortante en el primer piso en la dirección paralela a la fuerza aplicada, m
DL	=	carga muerta en un elemento estructural.
E	=	carga debida a un sismo en un elemento estructural.
e	=	exponente numérico de curva de espectro indicado en la Tabla 3.4-2
F_i, F_n, F_x	=	fuerza lateral aplicada en el Nivel i, n o x , respectivamente.
F_p	=	fuerzas laterales en una parte de la estructura
F_t	=	la porción de la cortante en la base V que se considera concentrada en la parte superior de la estructura, además de F_n .
f_i	=	fuerza lateral en el Nivel i , utilizada en la ecuación (28-5).
g	=	aceleración gravitacional, 9.81 m/s^2
h_i, h_n, h_x	=	altura sobre la base de los Niveles i, n o x , respectivamente, m
I	=	factor de importancia dado en la Tabla 3.4-3.
I_p	=	factor de importancia especificado en 3.7.2
LL	=	carga viva en un elemento estructural.

- Nivel *i*** = nivel de la estructura refendo por el subíndice *i* "*i* = 1" designa el primer nivel sobre la base
- Nivel *n*** = el nivel mas alto en la porción principal de la estructura
- Nivel *x*** = el nivel que está siendo considerado para diseño "*x* = 1" designa el primer nivel sobre la base.
- R_w*** = coeficiente numérico dado en las Tablas 3.4-6 y 3.7-2.
- S*** = coeficiente del sitio para características del suelo dado en la Tabla 3.4-2
- T*** = período fundamental, o modal, de vibración de la estructura en la dirección en consideración, segundos.
- T_a, T_b*** = períodos característicos del suelo de curva de espectro indicados en la Tabla 3.4.2, segundos.
- V*** = fuerza total lateral de diseño o cortante en la base
- V_x*** = cortante de piso de diseño en el Piso *x*
- W*** = carga vertical total sísmica definida en 3 5 1
- W_p*** = peso de un elemento o componente.
- w_i, w_x*** = porción de ***W*** que esta localizada o es asignada al Nivel *i* o *x*, respectivamente
- w_{px}*** = peso del diafragma y los elementos tributarios en el Nivel *x*, incluyendo las porciones aplicables de otras cargas definidas en 3 5.1.
- Z*** = factor de zona sísmica dado en la Tabla 3 4-1
- δ_i*** = desplazamiento horizontal en el Nivel *i* relativo a la base, debido a la aplicación de las fuerzas laterales *f*, para utilizarse en la ecuación (28-5)

3.4 Criterios de selección

3.4.1 Bases para el diseño

Los procedimientos y limitaciones para el diseño de estructuras se deberá determinar considerando la zonificación, características del sitio, ocupación, configuración, sistema estructural y altura de la estructura de acuerdo con esta sección. Las fuerzas mínimas sísmicas de diseño deberán ser las determinadas de acuerdo con el procedimiento de fuerza lateral estática de la Sección 3.5, excepto como se modifique por 3 6 5 3

3.4.2 Zonas sísmicas

A cada sitio se deberá asignar una zona sísmica de acuerdo con la Figura 3 4-1. A cada estructura se debera asignar un factor de zona ***Z*** de acuerdo con la Tabla 3 4-1

Tabla 3.4-1 Factor de zona sísmica *Z*

ZONA SÍSMICA ^a	1	2	3	4	5	6
<i>Z</i>	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35

^a La zona sísmica debera determinarse del mapa de zonas en la Figura 3 4-1

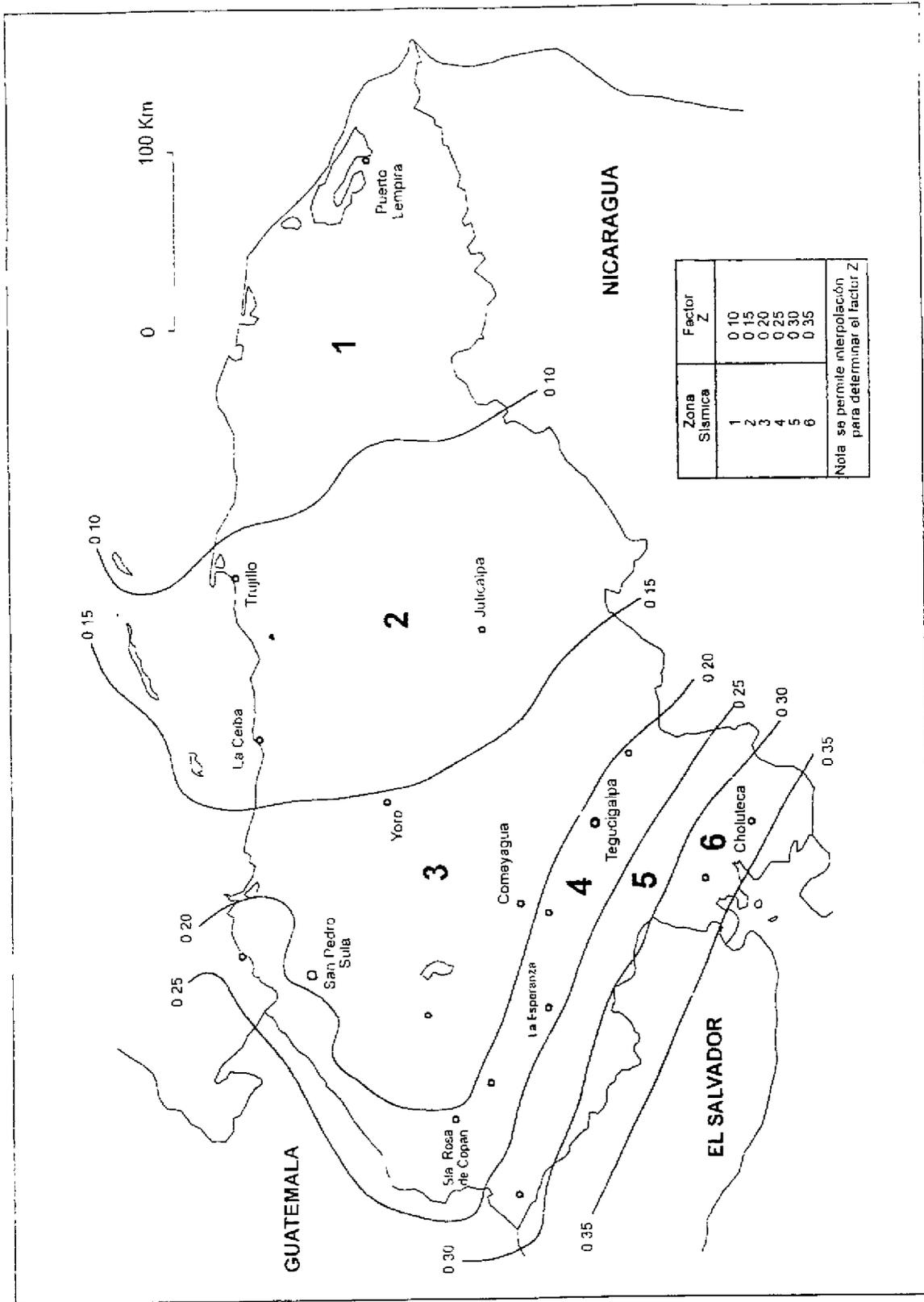


Figura 3 4-1 Mapa de Zonas Sísmicas

3.4.3 Geología del sitio y características del suelo

El tipo de perfil del suelo y los coeficientes del sitio S , deberán establecerse de acuerdo con la Tabla 3.4-2.

Tabla 3.4-2 Coeficiente del suelo S^a y parámetros para curvas de espectro b

Tipo	Descripción	Coeficiente S	Parámetros para espectros		
			Períodos en segundos		Exponente e
			T_a	T_b	
S1	Un perfil de suelo con: (a) Un material tipo roca caracterizado por una velocidad de onda cortante mayor que 760 m/s o por otros medios adecuados de clasificación, o (b) Condiciones de suelo medio-denso a denso, o medio-duro a duro, donde la profundidad del suelo es menor que 60 metros.	1.0	0.15	0.40	0.80
S2	Un perfil de suelo con condiciones predominantes de suelo medio-denso a denso, o medio-duro a duro, donde la profundidad del suelo excede los 60 metros.	1.2	0.15	0.50	0.80
S3	Un perfil de suelo que contiene más de 6 metros de arcilla blanda a media-duro, pero no más de 12 metros de arcilla blanda.	1.5	0.15	0.50	0.80
S4	Un perfil de suelo que contiene más de 12 metros de arcilla blanda, caracterizado por una velocidad de onda cortante menor que 150 m/s.	2.0	0.15	0.50	0.80

^a El coeficiente del sitio deberá determinarse de datos geotécnicos adecuadamente respaldados. En los lugares donde las propiedades del suelo son desconocidas en suficiente detalle como para determinar el tipo de perfil de suelo, se deberá suponer un perfil de suelo tipo S3; no será necesario asumir un perfil de suelo tipo S4 a menos que el Supervisor determine que un perfil de suelo S4 puede existir en el sitio, o en el caso de que se establezca un perfil de suelo S4 por datos geotécnicos.

^b Los parámetros de curvas para espectros de respuesta se utilizan en los procedimientos dinámicos de análisis. Ver la Sección 3.6.5.7 y la Figura 3.6-1 para los espectros de respuesta para diseño correspondientes a cada Zona Sísmica y Perfil de Suelo.

3.4.4 Categorías de ocupación

Para el propósito de diseño resistente a sismos, cada estructura deberá colocarse en una de las categorías de ocupación indicadas en la Tabla 3.4-3. La Tabla 3.4-3 indica los factores de importancia I , y los requisitos característicos para cada categoría.

3.4.5 Requisitos de configuración

3.4.5.1 Generalidades

Cada estructura deberá ser designada como estructuralmente regular o irregular.

3.4.5.2 Estructuras regulares

Las estructuras regulares no tienen discontinuidades físicas significativas en su configuración vertical o en planta, o en su sistema resistente a fuerzas laterales como las características de irregularidad que se describen a continuación.

Tabla 3.4-3 Categoría de ocupación y factores de importancia

Categoría de Ocupación	Descripción de la ocupación o funciones de la estructura	Factor de importancia sísmica I	Factor de importancia sísmica ^a I_p	Factor de importancia de viento I_w
1 Estructuras esenciales	Hospitales y otros centros médicos que tienen áreas de cirugía y emergencia. Estaciones de bomberos y policía Garajes y refugios para vehículos y aeronaves de emergencia. Estructuras y refugios en centros de preparación para emergencias. Torres de control de aviación Estructuras y equipos esenciales del gobierno Centros de comunicación y otros centros requeridos para la responder a una emergencia Plantas y equipos generadores de energía para estructuras esenciales Tanques y otras estructuras que albergan, contienen o soportan agua contra incendios requerida para la protección de estructuras con Categoría tipo 1, 2 o 3	1.25	1.50	1.15
2 Estructuras peligrosas	Estructuras que albergan, contienen o soportan sustancias o químicos tóxicos o explosivos en cantidades suficientes que serían peligrosas a la seguridad del público en general si se soltaran.	1.25	1.50	1.15
3 Estructuras de ocupación especial	Centros de reuniones públicas para más de 300 personas Escuelas y centros para niños o infantes Universidades y centros similares para más de 500 estudiantes Centros de inválidos para más de 50 residentes Todas las estructuras para más de 5,000 personas Las estructuras y equipos de plantas generadoras de energía; y otros centros de servicios públicos no incluidos en las Categorías 1 y 2, y que su operación continua es requerida	1.00	1.00 ^b	1.00
4 Estructuras ordinarias	Todas las estructuras que tienen una ocupación o función no incluida en las Categorías 1, 2 o 3	1.00	1.00 ^b	1.00

^a La limitación de I_p para la conexión de paneles en la Sección 3.8.2.4, deberá ser 1.00 para todo el conector

^b Para el anclaje de maquinaria y equipo requerido para sistemas de seguridad de vidas humanas, el valor de I_p deberá tomarse como 1.5

3.4.5.3 Estructuras irregulares

Se consideran estructuras irregulares las siguientes

(a) Las estructuras irregulares tienen discontinuidades físicas significativas en su configuración o en su sistema resistente a fuerzas laterales. Las características de irregularidad incluyen, pero no están limitadas, a las descritas en las Tablas 3.4-4 y 3.4-5.

(b) Las estructuras que presentan una o más características de las indicadas en la Tabla 3.4-4 deberán diseñarse como si tienen irregularidad vertical

(c) Las estructuras que presentan una o más características de las indicadas en la Tabla 3.4-4 deberán diseñarse como si tienen irregularidad en planta.

Tabla 3.4-4 Irregularidades estructurales verticales

Tipo y definición de irregularidad	Sección de referencia
1 Irregularidad de rigidez, piso suave Un piso suave es uno en el cual la rigidez lateral es menor que el 70% de la rigidez del piso superior o menor que el 90% del promedio para los tres pisos superiores	3 4.8 3(b)
2 Irregularidad de masa (peso) Se deberá considerar que existe irregularidad de masa cuando la masa efectiva de cualquier piso es más del 150% de la masa efectiva de un piso adyacente. No es necesario considerar un techo que sea más liviano que el piso inferior	3 4.8 3(b)
3 Irregularidad geométrica vertical Se deberá considerar que existe irregularidad geométrica vertical cuando la dimensión horizontal del sistema resistente a fuerzas laterales en cualquier piso es más del 130% de la de un piso adyacente. No es necesario considerar apartamentos miradores de un piso	3 4 8 3(b)
4 Discontinuidad en el plano de un elemento vertical del sistema resistente Una desalineación en el plano de los elementos verticales del sistema resistente a fuerzas laterales, mayor que la longitud de esos elementos	3 5 7
5 Discontinuidad de capacidad, piso débil Un piso débil es uno en el cual la resistencia del piso es menor que el 80% de la resistencia del piso superior. La resistencia del piso es la resistencia total de todos los elementos resistentes al sismo que comparten el cortante de piso en la dirección en consideración	3 4 9 1

Tabla 3.4-5 Irregularidades estructurales en planta

Tipo y definición de irregularidad	Sección de referencia
1 Irregularidad torsional, a considerarse cuando los diafragmas no son flexibles Deberá considerarse que existe irregularidad torsional cuando el desplazamiento lateral máximo relativo calculado incluyendo torsión accidental, en un extremo de la estructura transversal a un eje es más que 1.2 veces el promedio de los desplazamientos laterales relativos de piso de los dos extremos de la estructura	3 8.2 9(f)
2 Entrantes o salientes La configuración en planta de la estructura y su sistema resistente a fuerzas laterales se considera que contiene entrantes o salientes, cuando las dos proyecciones de la estructura más allá de un entrante o saliente son mayores que el 15% de la dimensión en planta de la estructura en esa dirección	3 8.2 9(f) y (g)
3 Discontinuidad de diafragma Diafragmas con discontinuidades abruptas o variaciones en la rigidez, incluyendo los que tienen recortes o aberturas mayores que el 50% de toda el área encerrada por el diafragma o cambios en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50% entre dos pisos adyacentes.	3 8 2 9(f)
4 Desalineamiento fuera del plano Discontinuidades en la trayectoria de una fuerza lateral, tales como el desalineamiento fuera del plano de los elementos verticales	3 5.7 y 3.8 2.9(b)
5 Sistemas no paralelos Los elementos verticales resistentes a cargas laterales no son paralelos o simétricos a los ejes ortogonales principales del sistema resistente a sismos.	3 8.1

3.4.6 Sistemas estructurales

3.4.6.1 Generalidades

Los sistemas estructurales deberán ser clasificados como uno de los tipos indicados en la Tabla 3.4-6 y definidos en esta sección 3.4.6.

Tabla 3.4-6 Coeficiente R_w para sistemas estructurales

Sistema básico estructural ^a	Descripción del sistema resistente a fuerzas laterales	R_w ^b	Altura ^c (metros)
1 Sistema con muros de carga	1 Paredes livianas con marco y paneles de cortante	8	20
	a) Paneles de paredes de madera para estructuras de 3 pisos o menos	6	20
	b) Todas las otras paredes livianas		
	2 Muros cortante		
	a) Concreto	6	50
	b) Mampostería	6	50
	3 Muros de carga livianos de acero con riostras solo en tensión	4	20
	4 Marcos arriostrados donde las riostras soportan cargas gravitacionales		
	a) Acero	6	50
	b) Concreto ^d	6	-
	c) Madera pesada	4	20
2 Sistema de marco de edificio	1 Marco arriostrado excéntrico de acero (MAE)	10	75
	2 Paredes livianas con marco y paneles de cortante		
	a) Paneles de paredes de madera para estructuras de 3 pisos o menos	9	20
	b) Todas las otras paredes livianas	7	20
	3 Muros cortante		
	a) Concreto	8	75
	b) Mampostería	8	50
	4 Marcos arriostrados comunes		
	a) Acero	8	50
	b) Concreto ^d	8	-
	c) Madera pesada	8	20
	5 Marcos arriostrados concéntricos especiales de acero	9	75
3 Sistema de marco rígido	1 Marcos rígidos especiales (MRE)		
	a) Acero	12	S L
	b) Concreto	12	S L
	2 Marco-muro rígido de mampostería	9	50
	3 Marcos semirígidos de concreto (MSR) ^e	8	-
	4 Marcos rígidos comunes (MRC)		
	a) Acero	6	50
	b) Concreto ^f	5	-
4 Sistemas dobles	1 Muros cortante		
	a) Concreto con MRE	12	S L
	b) Concreto con MRC de acero	6	50
	c) Concreto con MSR de concreto ^e	9	50
	d) Mampostería con MRE	8	50
	e) Mampostería con MRC de acero	6	50
	f) Mampostería con MSR de concreto ^d	7	-
	2 Marco arriostrado excéntrico de acero (MAE)		
	a) con MRE de acero	12	S L
	b) con MRC de acero	6	50
	3 Marcos arriostrados comunes		
	a) Acero con MRE de acero	10	S.L
	b) Acero con MRC de acero	6	50
	c) Concreto con MRE de concreto ^d	9	-
	d) Concreto con MSR de concreto ^d	6	-
	4 Marcos arriostrados concéntricos especiales		
	a) Acero con MRE de acero	11	S L
	b) Acero con MRC de acero	6	50
5 No definido	Ver Secciones 3.4.8.3 y 3.4.9.2	-	-

^a Los sistemas básicos estructurales están definidos en la Sección 3.4.6

^b Ver la Sección 3.5.3 para la combinación de sistemas estructurales

^c Altura límite en metros (S L = sin límite) aplicable a las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6. Ver la Sección 3.4.7

^d Prohibido en las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6

⊘ Prohibido en las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6, excepto como se permite en la Sección 3.9.2

! Prohibido en las Zonas Sísmicas 3, 4, 5 y 6. Ver la Sección 3.8.2.7

3.4.6.2 Sistema de muros de carga

Un sistema de muros de carga es un sistema estructural sin un marco espacial completo para resistir las cargas verticales. Los muros de carga o sistemas arriostrados proporcionan el soporte para todas o la mayoría de las cargas verticales. La resistencia a las fuerzas laterales es proporcionada por muros cortante o marcos arriostrados.

3.4.6.3 Sistema de marco de edificio

Un sistema de marco de edificio es un sistema estructural con un marco espacial esencialmente completo que proporciona el soporte para las cargas gravitacionales. La resistencia a las fuerzas laterales es proporcionada por muros cortante o marcos arriostrados.

3.4.6.4 Sistema de marco rígido

Un sistema de marco rígido es un sistema estructural con un marco espacial esencialmente completo que proporciona el soporte para las cargas de gravedad. La resistencia a las cargas laterales es proporcionado principalmente por la acción flexionante de los miembros.

3.4.6.5 Sistema doble

Un sistema doble es un sistema estructural con las siguientes características:

- (a) Un marco espacial esencialmente completo que proporciona soporte para las cargas de gravedad
- (b) La resistencia a cargas laterales es proporcionada por dos sistemas: muros cortante o marcos arriostrados y marcos rígidos.
- (c) Los dos sistemas deberán diseñarse para resistir todo el cortante de diseño en la base V , en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema doble en todos los niveles.

3.4.6.6 Sistema estructural no definido

Es un sistema estructural que no está descrito en la Tabla 3.4-6.

3.4.6.7 Sistema estructural que no es de edificio

Es un sistema estructural que se conforma a la sección 3.9.

3.4.7 Límites de altura

Los límites de altura para los diferentes sistemas estructurales en las Zonas 4, 5 y 6 están indicados en la Tabla 3.4-6. Excepto que para estructuras regulares estos límites se pueden exceder hasta en un 50% para estructuras no ocupadas y que no tienen acceso al público en general.

3.4.8 Selección del procedimiento para determinar las fuerzas sísmicas

3.4.8.1 Generalidades

Cualquier estructura puede ser, y ciertas estructuras definidas abajo deberán ser, diseñadas utilizando el procedimiento del análisis dinámico descrito en la Sección 3.7.

3.4.8.2 Análisis estático

El procedimiento del análisis estático descrito en la Sección 3.6 puede ser utilizado para las siguientes estructuras:

- (a) Todas las estructuras, regulares o irregulares, en la Zona Sísmica 1 y con Categoría de Ocupación 4, ubicadas en las Zonas Sísmicas 2 y 3.
- (b) Estructuras regulares de una altura menor a 75 metros, con resistencia a cargas laterales proporcionada por los sistemas descritos en la Tabla 3.4-6, excepto donde se aplique 3.4.8.3(d).

- (c) Estructuras irregulares con no más de 5 pisos o con una altura que no exceda 20 metros
- (d) Estructuras que tienen una parte superior flexible apoyada en una parte inferior rígida, donde ambas partes de la estructura consideradas separadamente se pueden clasificar como regulares. la rigidez promedio de los pisos de la parte inferior es por lo menos 10 veces la rigidez promedio de los pisos de la parte superior, y el período de toda la estructura no es mayor que 1.1 veces el período de la parte superior considerada como una estructura separada y empotrada en su base.

3.4.8.3 Análisis dinámico

El procedimiento del análisis dinámico descrito en la Sección 3.7 deberá utilizarse para todas las otras estructuras que no están indicadas en 3.4.8.2, incluyendo las siguientes:

- (a) Estructuras con una altura igual o mayor a 75 metros, excepto como se permite por 3.4.8.2(a).
- (b) Estructuras que tienen una rigidez, peso o irregularidad geométrica vertical del Tipo 1, 2 o 3 como se define en la Tabla 3.4-4, o estructuras que tienen características irregulares no descntas en la Tabla 3.4-4 o en la Tabla 3.4-5 excepto como se permite por 3.5.3.2
- (c) Estructuras con más de 5 pisos o con una altura mayor que 20 metros en la Zonas Sísmicas 4, 5 o 6, y que no tienen el mismo sistema estructural a lo largo de toda su altura, excepto como se permite por 3.5.3.2.
- (d) Estructuras, regulares e irregulares, localizadas en un Perfil de Suelo Tipo S4 el cual tiene un período mayor que 0.7 segundos. El análisis deberá incluir los efectos de los suelos en el sitio y deberá conformarse a 3.6.2(d)

3.4.9 Limitaciones en sistemas

3.4.9.1 Discontinuidad

Las estructuras con discontinuidad en su capacidad, irregularidad vertical Tipo 5 como se define en la Tabla 3.4-4, no deberán tener más de dos pisos o una altura mayor a 9 metros donde el piso débil tiene una resistencia calculada menor que el 65% del piso de arriba. Excepción: donde el piso débil es capaz de resistir toda una fuerza lateral sísmica igual a $3(R_w / 8)$ veces la fuerza de diseño prescrita en la Sección 3.5.

3.4.9.2 Sistemas estructurales no definidos

Los sistemas estructurales no definidos en estas normas, deberán haber demostrado por medio de datos técnicos y datos de prueba que establecen sus características dinámicas, que la capacidad de resistencia a cargas laterales y absorción de energía es equivalente a los sistemas indicados en la Tabla 3 4-6 para valores de R_w equivalentes

3.4.9.3 Características irregulares

Todas las estructuras que presenten características irregulares descntas en la Tabla 3.4-4 o 3.4 5, deberán diseñarse para que cumplan los requerimientos adicionales de las secciones referenciadas en las tablas.

3.4.10 Procedimientos alternativos

3.4.10.1 Generalidades

Procedimientos alternativos para la determinación de las fuerzas sísmicas utilizando análisis racionales basados en principios bien establecidos de mecánica, pueden ser empleados en lugar de los procedimientos descritos en estas disposiciones.

3.4.10.2 Aislamiento sísmico

Aislamiento sísmico, sistemas de disipación de energía y sistemas de amortiguación podrán utilizarse en el diseño de estructuras cuando sean aprobados por el Supervisor y cuando detalles especiales de diseño son usados para proporcionar resultados equivalentes a los obtenidos por el uso de sistemas estructurales convencionales

3.5 Fuerzas mínimas laterales de diseño y efectos relacionados

3.5.1 Generalidades

Las estructuras deberán diseñarse para fuerzas sísmicas que actúan en cualquier dirección horizontal.

Se puede asumir que las fuerzas sísmicas de diseño actúan separadamente en la dirección de cada eje principal de la estructura, excepto como se requiere en 3.8.1.

El peso sísmico W , es el peso total de la carga muerta más las porciones de otras cargas indicadas a continuación:

- (a) En ocupaciones para almacenes y bodegas, deberá incluirse por lo menos el 25% de la carga viva de piso.
- (b) Cuando una carga por divisiones se utiliza en el diseño del piso, se deberá incluir una carga no menor que 50 Kg/m^2 .
- (c) Se deberá incluir el peso total del equipo o maquinaria permanente.

3.5.2 Procedimiento estático para determinar las fuerzas sísmicas

3.5.2.1 Cortante de diseño en la base

El cortante total de diseño en la base en una dirección dada, deberá determinarse por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{ZIC}{R_w} W \quad (3.5-1)$$

$$C = \frac{1.25 S}{T^{2/3}} \quad (3.5-2)$$

El valor de C no necesita exceder 2.75, y este valor puede utilizarse para cualquier estructura sin consideraciones de tipo de suelo o período de la estructura.

El valor mínimo de C/R_w deberá ser 0.075, excepto para las disposiciones donde las fuerzas prescritas por estas normas son aumentadas por $3(R_w/8)$.

3.5.2.2 Período de la estructura

El valor de T deberá determinarse de uno de los métodos siguientes:

- (a) **Método A:** Para todos los edificios, el valor de T puede aproximarse de la ecuación siguiente:

$$T = C_t (h_n)^{3/4} \quad (3.5-3)$$

donde:

- $C_t = 0.0853$ para marcos rígidos de acero
- $C_t = 0.0731$ para marcos rígidos de concreto reforzado y marcos arriostrados excéntricamente
- $C_t = 0.0488$ para todos los otros edificios

Alternativamente, el valor de C_t para estructuras con muros cortante de concreto o mampostería puede tomarse como:

$$C_t = \frac{0.0743}{\sqrt{A_c}}$$

El valor de A_c está dado en m^2 , y deberá determinarse de la siguiente ecuación

$$A_c = \Sigma A_e \left[0.2 + (D_e/h_n)^2 \right] \quad (3.5-4)$$

El valor de D_e/h_n usado en la ecuación (3.5-4) no deberá exceder 0.9

(b) **Método B:** El período fundamental T puede ser calculado utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes en un análisis adecuadamente comprobado. Este requisito puede satisfacerse utilizando la siguiente ecuación.

$$T = 2\pi \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2 \right) + \left(g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i \right)} \quad (3.5-5)$$

Los valores de f_i representan cualquier fuerza lateral distribuida aproximadamente en concordancia con los principios de las ecuaciones (3.5-6), (3.5-7) y (3.5-8), o cualquier otra distribución racional. Las deflexiones elásticas δ_i , deberán calcularse usando la aplicación de las fuerzas laterales f_i . El valor de T del Método B, no deberá ser mayor que el 40% del valor de T obtenido del Método A.

3.5.3 Combinación de sistemas estructurales

3.5.3.1 Generalidades

Cuando combinaciones de sistemas estructurales son incorporados en la misma estructura, los requisitos de 3.5.3 deberán satisfacerse.

3.5.3.2 Combinaciones verticales

El valor de R_w utilizado en el diseño de cualquier piso, deberá ser menor o igual al valor de R_w usado en la dirección considerada para el piso superior

Excepción. Este requisito no necesita ser aplicado a un piso donde el peso sísmico sobre ese piso es menor que el 10% del peso sísmico total de la estructura

Las estructuras pueden diseñarse utilizando los procedimientos de esta sección bajo las siguientes condiciones.

(a) Toda la estructura es diseñada usando el valor más pequeño de R_w de los diferentes sistemas resistentes a fuerzas laterales utilizados, o

(b) Para estructuras que se conforman a 3.4.8.2(d), se puede utilizar el siguiente procedimiento de análisis estático consistente en dos etapas:

(b.1) La parte flexible superior deberá diseñarse como una estructura separada, soportada lateralmente por la parte rígida inferior, usando el valor apropiado de R_w

(b.2) La parte rígida inferior deberá diseñarse como una estructura separada usando el valor apropiado de R_w . Las reacciones de la parte superior deberán ser las determinadas por el análisis de la parte superior pero amplificadas por el cociente de R_w de la parte superior dividido entre R_w de la parte inferior

3.5.3.3 Combinaciones a lo largo de ejes diferentes

En las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6 cuando una estructura tenga un sistema de muro de carga solamente en una dirección, el valor de R_w usado para el diseño en la dirección ortogonal no deberá ser mayor que el utilizado para el sistema de muro de carga.

Cualquier combinación de sistemas de muros de carga, sistemas de marco de edificios, sistemas dobles o sistemas de marcos rígidos, puede emplearse para resistir las fuerzas sísmicas en estructuras con una altura menor que 50 metros. Para estructuras que exceden los 50 metros de altura en la Zonas Sísmicas 4, 5 y 6, se deberá utilizar únicamente combinaciones de sistemas dobles y marcos rígidos especiales.

3.5.3.4 Combinaciones a lo largo del mismo eje

Para sistemas que no sean dobles, cuando se utiliza una combinación de sistemas para resistir fuerzas laterales en la misma dirección, el valor de R_w usado en esa dirección no deberá ser mayor que el valor menor de los sistemas utilizados en esa misma dirección.

3.5.4 Distribución vertical de la fuerza cortante en la base

La fuerza total V , en ausencia de un procedimiento más riguroso, deberá distribuirse sobre la altura de la estructura de acuerdo con las ecuaciones (3.5-6), (3.5-7) y (3.5-8).

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i \tag{3.5-6}$$

La fuerza concentrada en la parte superior de la estructura F_t , la cual es adicional a F_n , deberá determinarse de la siguiente ecuación.

$$F_t = 0.07TV \tag{3.5-7}$$

El valor de T con el propósito de calcular F_t , puede ser el período que corresponde al cortante de diseño de la base determinado por la ecuación (3.5-1). El valor de F_t no necesita exceder $0.25V$ y puede considerarse igual a cero cuando el período T es menor o igual a 0.7 segundos. La parte restante del cortante en la base V deberá distribuirse sobre la altura de la estructura, incluyendo el nivel n , de acuerdo con la siguiente ecuación

$$F_x = \frac{(V - F_t) w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \tag{3.5-8}$$

En cada nivel designado como x , la fuerza F_x deberá aplicarse sobre el área del edificio de acuerdo con la distribución de masas en ese nivel. Los esfuerzos en cada elemento estructural deberán calcularse como el efecto de las fuerzas F_x y F_t aplicadas a los niveles apropiados sobre la base.

3.5.5 Distribución horizontal de cortante

El cortante de diseño de piso V_x , para cualquier piso, deberá ser la suma de las fuerzas F_t y F_x sobre ese piso. El valor de V_x deberá distribuirse entre los diferentes elementos del sistema resistente a fuerzas laterales, en proporción a sus rigideces, considerando la rigidez del diafragma. Para elementos no intencionados a formar parte de los sistemas resistentes a fuerzas laterales ver 3.8.2.4

Cuando los diafragmas no son flexibles se deberá suponer que la masa en cada nivel está desplazada del centro de masas calculado en cada dirección, una distancia igual al 5% de la