

## EL CAPITULO DE DISEÑO POR SISMO DE LA PROPUESTA DEL NUEVO REGLAMENTO PARA LAS CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL

Como se indicó en el número 10 de Ingeniería Sísmica, de mayo-agosto de 1973, el Reglamento para las Construcciones ha estado en revisión, misma que actualmente está en sus últimas etapas.

Por considerarlo de interés para los miembros de la SMIS, a continuación se presenta el capítulo de diseño por sismo de la propuesta de reglamento, la cual fué elaborada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y es propiedad del Departamento del Distrito Federal.

### CAPITULO XXXVII

#### DISEÑO POR SISMO

##### *Artículo 230. NOTACION*

Cada símbolo empleado en el presente capítulo se definirá donde se emplee por primera vez. Los más importantes son:

$a$  (adimensional) = ordenada de los espectros de diseño, como fracción de la aceleración de la gravedad, sin reducción por ductilidad.

$a_0$  (adimensional) = valor de  $a$  para  $T=0$

$B$  = base de un tablero de vidrio

$c$ (adimensional)	= $V/W$ = coeficiente sísmico
$H$	= altura de un tablero de vidrio
$h$ (m)	= altura de la masa para la que se calcula fuerza horizontal
$Q$ (adimensional)	= factor de ductilidad
$Q'$ (adimensional)	= factor reductivo de fuerzas sísmicas para fines de diseño
$T$ (seg)	= periodo natural
$T_1, T_2$ (seg)	= periodos característicos de los espectros de <u>d</u> i <u>s</u> eño
$R$	= respuesta de diseño
$R_i$	= respuesta en el modo $i$
$r$	= exponente en las expresiones de los espectros de diseño
$r_0$	= radio de giro de la masa en el extremo superior de un péndulo invertido
$V$ (ton)	= fuerza cortante horizontal en la base de la construcción
$W$ (ton)	= peso de la construcción (carga muerta más carga viva).

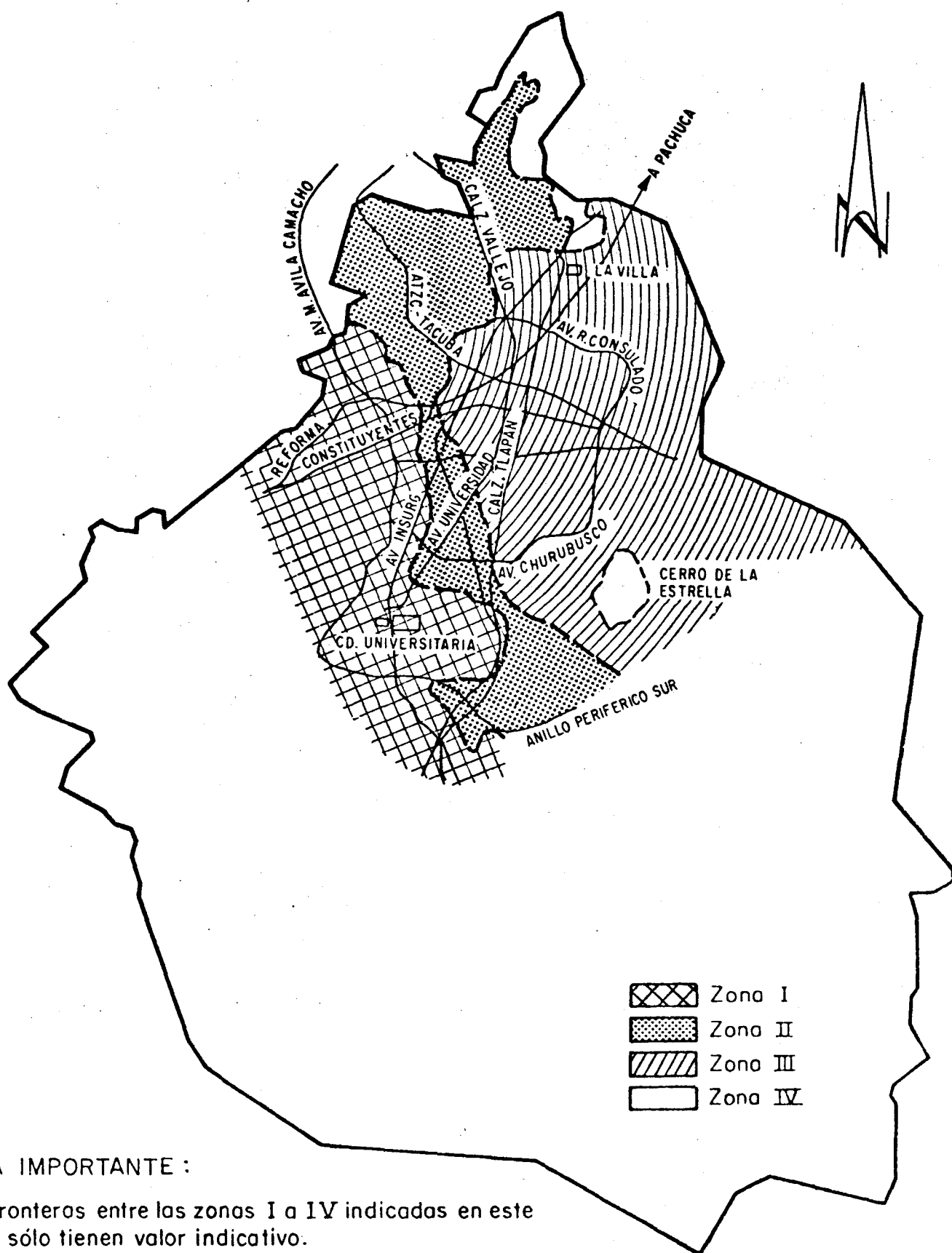
### *Artículo 231. ZONAS*

Para los efectos de este capítulo se considerarán las zonas I a IV que fija el artículo 262 de este Reglamento. En lo que sigue se darán valores únicamente para las zonas I a III; cualquier terreno dentro de la zona IV se podrá clasificar en alguna de las tres primeras al hacer los estudios de mecánica de suelos que se requieren en dicho artículo.

### *Artículo 232. CLASIFICACION DE LAS CONSTRUCCIONES SEGUN SU USO*

Según su uso, las construcciones se clasifican en los siguientes grupos:

GRUPO A. Construcciones cuyo funcionamiento sea especialmente importante a raíz de un sismo o que en caso de fallar causaría pérdidas directas o indirectas excepcionalmente altas en comparación con el costo necesario para aumentar su seguridad. Tal es el caso de subestaciones eléctricas, centrales



#### NOTA IMPORTANTE :

Las fronteras entre las zonas I a IV indicadas en este plano sólo tienen valor indicativo.

La zona en la que se localiza un predio dado, será determinada a partir de las investigaciones que se realicen en el subsuelo.

Zonificación del Distrito Federal en cuanto a tipos de subsuelo.

telefónicas, estaciones de bomberos, archivos y registros públicos, hospitales, escuelas, estadios, templos, salas de espectáculos, estaciones terminales de transporte, monumentos, museos y locales que alojen equipo especialmente costoso en relación con la estructura, así como instalaciones industriales cuya falla pueda ocasionar la difusión en la atmósfera de gases tóxicos o que puedan causar daños materiales importantes en bienes o servicios.

GRUPO B. Construcciones cuya falla ocasionaría pérdidas de magnitud intermedia, tales como otras plantas industriales, bodegas ordinarias, gasolinerías, comercios, bancos, centros de reunión, edificios de habitación, hoteles, edificios de oficinas, bardas cuya altura exceda de 2.5 m y todas aquellas estructuras cuya falla por movimientos sísmicos pueda poner en peligro otras construcciones de este grupo o del A.

GRUPO C. Construcciones cuya falla por sismo implicaría un costo pequeño y no causaría normalmente daños a construcciones de los primeros grupos. Se incluyen en el presente grupo bardas con altura no mayor de 2.5 m y bodegas provisionales para la construcción de obras pequeñas. Estas construcciones no requieren diseño sísmico.

### *Artículo 233. CLASIFICACION DE LAS CONSTRUCCIONES SEGUN SU ESTRUCTURACION*

Las construcciones a que se refiere este capítulo se clasificarán en los siguientes tipos de estructuración:

TIPO 1. Se incluyen dentro de este tipo los edificios y naves industriales, salas de espectáculos y construcciones semejantes, en que las fuerzas laterales se resisten en cada nivel por marcos continuos contraventeados o no, por diafragmas o muros, o por combinación de diversos sistemas como los mencionados. Se incluyen también las chimeneas, torres y bardas, así como los péndulos invertidos, o estructuras en que el 50 por ciento o más de su masa se halle en el

extremo superior, y que tengan un solo elemento resistente en la dirección de análisis.

TIPO 2. Tanques

TIPO 3. Muros de retención

TIPO 4. Otras estructuras

Los criterios de diseño para estructuras tipo 1 se especifican en los artículos 234 y 244 de este Reglamento. Los que se aplican a los tipos 2, 3 y 4 se especifican en los artículos 245 y 247 de este Ordenamiento.

#### *Artículo 234. COEFICIENTE SISMICO*

Se entiende por coeficiente sísmico  $c$  el cociente de la fuerza cortante horizontal en la base de la construcción, sin reducir por ductilidad, y el peso  $W$  de la misma sobre dicho nivel. Para el cálculo de  $W$  se tomarán las cargas muertas y vivas que especifican los capítulos XXXV y XXXVI, respectivamente.

Para el análisis estático de las construcciones clasificadas en el grupo B, según su uso, se emplearán los valores de  $c$  que consigna la tabla siguiente:

#### COEFICIENTE SISMICO PARA ESTRUCTURAS DEL GRUPO B

ZONA	$c$
I (terreno firme)	0.16
II (terreno de transición)	0.20
III (terreno compresible)	0.24

Tratándose de las construcciones clasificadas en el grupo A, estos valores se multiplicarán por 1.3.

#### *Artículo 235. REDUCCION POR DUCTILIDAD*

Con fines de diseño, las fuerzas sísmicas para análisis estático y los espectros para análisis dinámico modal se obtendrán, según especifican los artículos 236 y 240 de este Reglamento, dividiendo respectivamente los coeficientes sísmicos del artículo 234 de este Ordenamiento o las ordenadas de los espectros de diseño sísmico del artículo 236 del presente cuerpo de normas reglamentarias entre el factor  $Q'$ , obtenido como se define

en los artículos 236 y 240 para los métodos dinámico y estático, respectivamente.  $Q'$  es función del factor de ductilidad  $Q$  que se especifica más adelante. Las deformaciones se calcularán multiplicando por  $Q$  las causadas por las fuerzas sísmicas reducidas.

El factor  $Q$  podrá diferir en las dos direcciones ortogonales en que se analiza la estructura, según sea la ductilidad de ésta en dichas direcciones.

Para aplicar el factor de ductilidad, las estructuras deben satisfacer los requisitos señalados en la tabla siguiente:

#### VALORES DEL FACTOR $Q$ DE DUCTILIDAD

Caso	Tipo de estructura	Requisitos	Factor de ductilidad
1	1	<p>La resistencia es suministrada en todos los niveles exclusivamente por marcos no contraventeados de concreto reforzado o de acero con zona de fluencia definida, y se cumplen las siguientes condiciones:</p> <p>a) Las vigas y columnas de acero satisfacen los requisitos correspondientes a secciones compactas, de acuerdo con los criterios que al respecto fija el Departamento en las Normas Técnicas Complementarias de este Reglamento, y sus juntas pueden admitir rotaciones importantes antes de fallar.</p> <p>b) Las columnas de concreto son zunchadas, o poseen estribos que proporcionan al núcleo un confinamiento equivalente al del zuncho, de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias de este Reglamento.</p> <p>c) Para la revisión de los estados límite de falla por fuerza cortante, torsión, pandeo por compresión axial y otras formas de falla frágil, se usa un factor de carga de 1.4 en lugar de 1.1 especificado en el artículo 220 del presente cuerpo normativo, para cuando obran cargas accidentales.</p>	6.0

Caso Tipo de es- tructuración	Requisitos	Factor de ductilidad
	<p>d) Se satisfacen las limitaciones que se fijan para articulaciones plásticas en miembros de concreto en las Normas Técnicas Complementarias de este Reglamento. Dichas limitaciones deben satisfacerse en todos los extremos de trabes y columnas, o bien, en los lugares donde se formarían las articulaciones plásticas que se requerirán para que cada marco alcanzara un mecanismo de colapso en cada piso o entrepiso, si la fuerza lateral fuera suficientemente elevada.</p> <p>e) El mínimo cociente de la capacidad resistente de un entrepiso (resistencia de diseño calculada, tomando en cuenta todos los elementos que pueden contribuir a la resistencia) entre la acción de diseño, no diferirá en más de 20 por ciento del promedio de dichos cocientes para todos los entrepisos.</p>	
2	<p>1 La resistencia en todos los niveles es suministrada exclusivamente por marcos no contraventeados de concreto, madera o acero con o sin zona de fluencia definida; así como por marcos contraventeados o con muros de concreto, en los que la capacidad de los marcos sin contar muros o contravientos sea cuando menos el 25 por ciento del total. El mínimo cociente de capacidad resistente de un entrepiso (resistencia de diseño calculada tomando en cuenta todos los elementos que pueden contribuir a la resistencia) entre la acción de diseño, no diferirá en más de 35 por ciento del promedio de dichos cocientes para todos los entrepisos.</p>	4.0
3	<p>1 La resistencia a fuerzas laterales es suministrada por marcos o columnas de concreto reforzado, madera o acero contraventeados o no, o muros de concreto, que no cumplen en algún entrepiso lo</p>	2.0

Caso	Tipo de es- tructuración	Requisitos	Factor de ductilidad
		especificado por los casos 1 y 2 de esta tabla, o por muros de mampostería de piezas macizas confinados por castillos, dadas, columnas o trabes de concreto reforzado o de acero, que satisfacen los requisitos de las Normas Técnicas Complementarias de este Reglamento.	
4	1	La resistencia a fuerzas laterales es suministrada en todos los niveles por muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior, que satisfacen los requisitos de las Normas Técnicas Complementarias de este Reglamento, o por combinaciones de dichos muros con elementos como los descritos para los casos 1 a 3.	1.5
5	1 a 4	Estructuras de cualquier tipo cuya resistencia a fuerzas laterales sea suministrada al menos parcialmente por elementos o materiales diferentes de los arriba especificados, a menos que se haga un estudio que demuestre, a satisfacción del Departamento, que se puede emplear un valor más alto que el que aquí se especifica.	

#### *Artículo 236. ESPECTRO PARA DISEÑO SISMICO*

Cuando se aplique el análisis dinámico modal que especifica el artículo 241 de este Reglamento, dicho análisis se llevará a cabo de acuerdo con las siguientes hipótesis:

I. La estructura se comporta elásticamente.

II. La ordenada del espectro de aceleraciones para diseño sísmico,  $a$ , expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, está dada por las siguientes expresiones, donde  $c$  es el coeficiente sísmico obtenido en la tabla del artículo 234 del presente cuerpo normativo.

$a = a_0 + (c - a_0) T/T_1$ , si  $T$  es menor que  $T_1$

$a = c$ , si  $T$  está entre  $T_1$  y  $T_2$



$$a = c (T_2/T)^r, \text{ si } T \text{ excede de } T_2$$

Aquí,  $T$  es el periodo natural de interés y  $T$ ,  $T_1$  y  $T_2$  están expresados en segundos:

VALORES DE  $a_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  y  $r$

ZONA	$a_0$	$T_1$	$T_2$	$r$
I	0.030	0.3	0.8	1/2
II	0.045	0.5	2.0	2/3
III	0.045	0.8	3.3	1

IV Los sitios incluidos en esta zona se reclasificarán en alguna de las tres anteriores de acuerdo con lo estipulado en el artículo 262 de este Ordenamiento, salvo que para sitios que al reclasificarse resulten en la zona III, el valor de  $T_2$  no se tomará menor que 5 seg, a menos que se compruebe que es aplicable un valor menor, ya sea con base en estudios que tomen en cuenta las relaciones esfuerzo deformación de los suelos que se encuentren en el sitio o en el análisis de las características de temblores intensos ahí registrados. En ningún caso se tomará  $T_2$  menor que el especificado en esta tabla para la zona correspondiente.

Para evaluar las fuerzas sísmicas, estas ordenadas se dividirán entre el factor  $Q'$ , el cual se tomará igual a  $Q$  si  $T$  es mayor que  $T_1$ , e igual a  $1 + (Q-1) T/T_1$  en caso contrario

III. Las ordenadas espectrales especificadas tienen en cuenta los efectos de amortiguamiento, por lo que, excepto la reducción por ductilidad, no deben sufrir reducciones adicionales a menos que éstas se concluyan de estudios específicos aprobados por el Departamento.

### Artículo 237. CRITERIO DE ANALISIS

Las estructuras se analizarán bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales del movimiento del terreno. Los efectos correspondientes (desplazamientos y fuerzas internas) se combinarán con los de las fuerzas gravitacionales. En edificios la combinación en cada sección crítica se efectuará sumando vectorialmente los efectos gravitacionales, los de un

componente del movimiento del terreno y, cuando sea significativo, 0.3 de los efectos del otro; en péndulos invertidos, tanques elevados, torres, chimeneas y estructuras semejantes, la combinación en cada sección crítica se efectuará sumando vectorialmente los efectos gravitacionales, los de un componente del movimiento del terreno y 0.5 de los efectos del otro. En todos los casos se supondrá la más desfavorable de dichas combinaciones, asignando a los efectos sísmicos del signo más desfavorable.

El análisis de los efectos debidos a cada componente del movimiento del terreno deberá satisfacer los siguientes requisitos, con las salvedades que corresponden al método simplificado de análisis:

- I. La influencia de fuerzas laterales se analizará tomando en cuenta los desplazamientos horizontales, los verticales que sean significativos, los giros de todos los elementos integrantes de la estructura, así como la continuidad y rigidez de los mismos. En particular se considerarán los efectos de la inercia rotacional en los péndulos invertidos.
- II. Deberán tomarse en cuenta efectos de segundo orden cuando la deformación total de un entrepiso dividida entre su altura, medida de piso a piso, sea mayor que 0.08 veces la relación entre fuerza cortante del entrepiso y las fuerzas verticales debidas a acciones permanentes y variables que obren encima de éste. Se entenderá por análisis de segundo orden aquél que suministra las fuerzas internas y deformaciones teniendo en cuenta la contribución de la acción de las fuerzas actuantes sobre la estructura deformada. Para valuar los efectos de segundo orden se aplicarán los procedimientos prescritos en las Normas Técnicas Complementarias.
- III. En las estructuras metálicas revestidas de concreto reforzado se podrá considerar la acción combinada de estos materiales en el cálculo de resistencias y rigideces cuando se asegure el trabajo combinado de las secciones compuestas.
- IV. Se revisará la seguridad contra los estados límite de la cimentación. Se supondrá que no obran tensiones entre las subestructuras y el terreno, debiéndose satisfacer el equilibrio de las fuerzas y momentos totales calculados. Se podrán admitir tensiones entre la subestructura y elementos tales como pilotes o pilas siempre que estos elementos estén específicamente diseñados para resistir dichas tensiones.

- V. Se verificará que las deformaciones de los sistemas estructurales, incluyendo las de las losas de piso, sean compatibles entre sí. Se revisará que todos los elementos estructurales, incluso las losas, sean capaces de resistir los esfuerzos inducidos.
- VI. En el diseño de marcos que contengan tableros de mampostería que formen parte integrante de la estructura, se supondrá que las fuerzas cortantes que obran en ellos son equilibradas por fuerzas axiales y cortantes en los miembros que constituyen el marco. Se revisará que las esquinas del marco sean capaces de resistir los esfuerzos causados por los empujes que sobre ellas ejercen los tableros.
- VII. Cuando los muros divisorios no se consideren como parte integrante de la estructura deberán sujetarse a ésta de manera que no restrinjan su deformación en el plano del muro. Deberán especificarse los detalles de sujeción en los planos constructivos.
- VIII. Para el diseño de todo elemento que contribuya en más de 20% a la capacidad total en fuerza cortante, momento torsionante o momento de volteo de un entrepiso dado, se adoptará un factor de carga 20% superior al que le correspondería de acuerdo con el artículo 220.
- IX. En las estructuras cuyas capacidades o relaciones fuerza deformación sean diferentes para cada sentido de aplicación de las cargas laterales, se aplicará algún procedimiento que tome en cuenta la forma en que tal diferencia afecte a los requisitos de ductilidad.

#### *Artículo 238. ELECCION DEL TIPO DE ANALISIS*

Las estructuras con altura menor de 60 m podrán analizarse de acuerdo con el método estático al que se refiere el artículo 240 de este Reglamento o con los dinámicos a los que hace mención el artículo 241 de este ordenamiento. En las estructuras con altura superior a 60 m deberá emplearse el análisis dinámico descrito en el artículo 241 del presente cuerpo de normas reglamentarias.

El método simplificado a que se refiere el artículo 239 del presente cuerpo normativo será aplicable al análisis de estructuras del tipo 1 cuando se cumplan simultáneamente los siguientes requisitos:

- I. En cada planta, al menos el 75 por ciento de las cargas verticales estarán soportadas por muros ligados entre sí mediante losas corridas. Dichos muros deberán ser de concreto, de mampostería de piezas macizas o de mampostería de piezas huecas que satisfagan las condiciones que establezca el Departamento en las Normas Técnicas Complementarias.
- II. En cada nivel existirán al menos dos muros perimetrales de carga paralelos o que formen entre sí un ángulo no mayor de 20 grados, estando cada muro ligado por las losas antes citadas en una longitud de por lo menos 50 por ciento de la dimensión del edificio, medida en las direcciones de dichos muros.
- III. La relación entre longitud y anchura de la planta del edificio no excederá de 2.0, a menos que, para fines de análisis sísmico, se pueda suponer dividida dicha planta en tramos independientes cuya relación entre longitud y anchura satisfaga esta restricción y cada tramo resista según el criterio que marca el artículo 239 de este Reglamento.
- IV. La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base del edificio no excederá de 1.5, y la altura del edificio no será mayor de 13 m.

*Artículo 239. METODO SIMPLIFICADO DE ANALISIS*

Para aplicar este método se hará caso omiso de los desplazamientos horizontales, torsiones y momentos de volteo y se verificará únicamente que en cada piso la suma de las resistencias al corte de muros de carga, proyectadas en la dirección en que se considera la aceleración, sea cuando menos igual a la fuerza cortante total que obre en dicho piso, calculada según se especifica en el inciso I del artículo 240 de este Reglamento, pero empleando los coeficientes sísmicos reducidos que se indican en la tabla siguiente, debiéndose verificar por lo menos en dos direcciones ortogonales.

## COEFICIENTES SISMICOS REDUCIDOS POR DUCTILIDAD PARA EL METODO SIMPLIFICADO

ZONA	MUROS DE PIEZAS MACIZAS			MUROS DE PIEZAS HUECAS		
	ALTURA DE LA CONSTRUCCION			ALTURA DE LA CONSTRUCCION		
	Menor de 4 m	Entre 4 y 7 m	Entre 7 y 13 m	Menor de 4 m	Entre 4 y 7 m	Entre 7 y 13 m
I.	0.06	0.08	0.08	0.07	0.11	0.11
II.	0.07	0.08	0.10	0.08	0.11	0.13
III.	0.07	0.09	0.10	0.08	0.10	0.12

En este cálculo, tratándose de muros cuya relación entre la altura de pisos consecutivos,  $h$ , y la longitud,  $L$ , exceda de 1.33, la resistencia se reducirá afectándola del coeficiente  $(1.33 L/h)^2$ .

## Artículo 240. ANALISIS ESTATICO

Para efectuar el análisis estático de una estructura se procederá en la forma siguiente:

- I. Para calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las masas. Cada una de estas fuerzas se tomará igual al peso de la masa que corresponde por un coeficiente proporcional a  $h$ , siendo  $h$  la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables), sin incluir tanques, apéndices u otros elementos cuya estructuración difiera radicalmente de la del resto de la misma. El factor de proporcionalidad se tomará de tal manera que la relación  $V/W$  en la base sea igual a  $c/Q$  pero no menor que  $a_0$ , siendo  $Q$  el factor de ductilidad que se define en el artículo 235 de este Reglamento y  $c$  el valor dado por la tabla del artículo 234 de este mismo ordenamiento. Al calcular  $V/W$  se tendrán en cuenta los pesos de tanques, apéndices y otros elementos cuya estructuración difiera radicalmente de la del resto de la estructura y las fuerzas laterales asociadas a ellos, calculadas según se especifica en el inciso V de este artículo.

II. Podrán adoptarse fuerzas cortantes menores que las calculadas según el inciso anterior, siempre y cuando se tome en cuenta el valor aproximado del periodo fundamental de vibración de la estructura, de acuerdo con lo siguiente:

- a) El periodo fundamental de vibración  $T$ , se tomará igual a  $6.3 \left| (1/g) \sum W_i x_i^2 / \sum P_i x_i \right|$ , en donde  $W_i$  es el peso de la masa  $i$ ,  $P_i$  la fuerza horizontal que actúa sobre ella de acuerdo con el inciso I,  $x_i$  el correspondiente desplazamiento en la dirección de la fuerza, y  $g$  la aceleración de la gravedad.
- b) Si  $T$  está comprendido entre  $T_1$  y  $T_2$  no se permitirá reducción por concepto de la influencia del periodo fundamental de vibración.
- c) Si  $T$  es mayor que  $T_2$  se procederá como en el inciso I, pero de tal manera que cada una de las fuerzas laterales se tome igual al peso de la masa que corresponde por un coeficiente igual a

$$(k_1 h + k_2 h^2) c / Q$$

siendo

$$k_1 = q |1 - r(1 - q)| \sum W_i / (\sum W_i h_i)$$

$$k_2 = 1.5 r q (1 - q) \sum W_i / (\sum W_i h_i^2)$$

$$q = (T_2 / T)^r$$

y  $h$  la altura de la  $i$ ésima masa sobre el desplante.

- d) Si  $T$  es menor que  $T_1$ , se procederá como en el inciso I pero de tal manera que la relación  $V/W$  en la base sea igual a

$$|a_0 + (c - a_0) T / T_1| / Q'$$

III. En el análisis de péndulos invertidos (estructuras en que 50 por ciento o más de su masa se halle en el extremo superior y tengan un solo elemento resistente en la dirección de análisis), además de la fuerza lateral estipulada se tendrán en cuenta las aceleraciones verticales de la masa superior asociadas al giro de dicha masa con respecto a un eje horizontal normal a la dirección de análisis y que pase por el punto de unión entre la masa y el elemento resistente. El efecto de dichas aceleraciones se tomará equivalente a un par aplicado en el extremo superior del elemento resistente, cuyo valor es  $1.5 V r_0^2 A / x$ , siendo  $V$  la fuerza lateral actuante sobre la masa,  $r_0$  el radio de giro de dicha masa con respecto al eje horizontal en cuestión,  $A$  el giro

del extremo superior del elemento resistente bajo la acción de la fuerza lateral  $V$  y  $x$  el desplazamiento lateral de dicho extremo.

- IV. Cuando el análisis estático se lleve a cabo de acuerdo con el inciso II, el factor  $Q'$  definido en el artículo 235 del presente Reglamento se calculará de acuerdo con lo especificado en el artículo 236 del presente Reglamento.
- V. Para valuar las fuerzas sísmicas que obran en tanques, apéndices y demás elementos cuya estructuración difiera radicalmente de la del resto de la construcción, se supondrá actuando sobre el elemento en cuestión la misma distribución de aceleraciones que le correspondería si se apoya directamente sobre el terreno, multiplicada por  $(c' + a_0)/a_0$ , donde  $c'$  es el factor por el que se multiplican los pesos a la altura de desplante del elemento cuando se valúan las fuerzas laterales sobre la construcción. Se incluyen en este requisito los parapetos, pretilas, anuncios, ornamentos, ventanales, muros, revestimientos, y otros apéndices con que cuenten. Se incluyen, asimismo, los elementos sujetos a esfuerzos que dependen principalmente de su propia aceleración (no de la fuerza cortante ni del momento de volteo), como las losas que transmiten fuerzas de inercia de las masas que soportan.
- VI. El momento de volteo para cada marco o grupo de elementos resistentes en un nivel dado podrá reducirse, tomándolo igual al calculado multiplicado por  $0.8 + 0.2z$  (siendo  $z$  la relación entre la altura a la que se calcula el factor reductivo por momento de volteo y la altura total de la construcción), pero no menor que el producto de la fuerza cortante en el nivel en cuestión multiplicada por su distancia al centro de gravedad de la parte de la estructura que se encuentre por encima de dicho nivel. En péndulos invertidos no se permite reducción de momento de volteo.
- VII. La excentricidad torsional calculada en cada nivel se tomará como la distancia entre el centro de torsión del nivel correspondiente y la fuerza cortante en dicho nivel. Para fines de diseño, el momento torsionante se tomará igual a la fuerza cortante de entrepiso multiplicada por la excentricidad que para cada marco resulte más desfavorable de las siguientes:  $1.5e_s + 0.1b$  ó  $e_s - 0.1b$ , donde  $e_s$  es la excentricidad torsional calculada en el

entrepiso considerado y  $b$  es la máxima dimensión en planta de dicho entrepiso medida perpendicularmente a la dirección del movimiento del terreno.

#### *Artículo 241. ANALISIS DINAMICO*

Se aceptarán como métodos de análisis dinámico el análisis modal y el cálculo paso a paso de respuestas a temblores específicos.

Si se usa el análisis modal, deberá incluirse el efecto de todos los modos naturales de vibración con periodo mayor o igual que 0.4 seg, pero en ningún caso podrán considerarse menos de 3 modos. Puede despreciarse el efecto dinámico torsional de excentricidades estáticas. En tal caso, el efecto de dichas excentricidades y de la excentricidad accidental se calculará como lo especifica el artículo correspondiente al análisis estático.

Para calcular la participación de cada modo natural en las fuerzas laterales actuando sobre la estructura, se supondrán las aceleraciones espectrales de diseño especificadas en el artículo 236 de este Reglamento, incluyendo la reducción que ahí mismo se fija. Esta reducción no será aplicable a las deformaciones calculadas.

Las respuestas modales  $R_i$  (donde  $R_i$  puede ser fuerza cortante, deformación, momento de volteo, etc), se combinarán de acuerdo con la expresión:

$$R = (\sum R_i^2)$$

salvo en los casos en que en el cálculo de los modos de vibración se hayan tomado en cuenta los grados de libertad correspondientes a torsión o a deformaciones de apéndices. En estos casos, los efectos de los modos naturales se combinarán de acuerdo con el criterio que apruebe el Departamento.

Si se emplea el método de cálculo paso a paso de respuestas a temblores específicos, podrá acudir a acelerogramas de temblores reales o de movimientos simulados, o a combinaciones de éstos siempre que se usen no menos de cuatro movimientos representativos, independientes entre sí, cuyas intensidades sean compatibles con los demás criterios que consigna el presente Reglamento, y que se tengan en cuenta el comportamiento no lineal de la estructura y las incertidumbres que haya en cuanto a sus parámetros.



*Artículo 242. ESTADO LIMITE POR DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES*

Las deformaciones laterales de cada entrepiso debidas a fuerza cortante no excederán de 0.008 veces la diferencia de elevaciones correspondientes, salvo donde los elementos que no forman parte integrante de la estructura estén ligados a ella en tal forma que no sufran daños por las deformaciones de ésta. En este caso, el límite en cuestión deberá tomarse igual a 0.016. En el cálculo de los desplazamientos se tomará en cuenta la rigidez de todo elemento que forme parte integrante de la estructura.

*Artículo 243. ESTADO LIMITE POR ROTURA DE VIDRIOS*

En las fachadas, tanto interiores como exteriores, los vidrios de las ventanas se colocarán en los marcos de éstas dejando en todo el derredor de cada panel una holgura por lo menos igual a la mitad del desplazamiento horizontal relativo entre sus extremos, calculado a partir de la deformación por cortante de entrepiso y dividido entre  $1 + H/B$ , donde B es la base y H la altura del tablero de vidrio de que se trate. Podrá omitirse esta precaución cuando los marcos de las ventanas estén ligados a la estructura de tal manera que las deformaciones de ésta no les afecten.

*Artículo 244. ESTADOS LIMITE POR CHOQUES CONTRA ESTRUCTURAS ADYACENTES*

Toda construcción deberá separarse de sus linderos con los predios vecinos una distancia igual al desplazamiento horizontal acumulado, calculado en cada nivel, aumentado en 0.001, 0.0015 y 0.002 de su altura, en las zonas I, II y III respectivamente.

En caso de omitirse este cálculo, esta separación deberá ser cuando menos de 0.006, 0.007 y 0.008 de su altura en las zonas I, II y III respectivamente. Esta separación en ningún caso será inferior a 5 cm.

Para las juntas de dilatación regirá el mismo criterio que para los linderos de colindancia, a menos que se tomen precauciones especiales para evitar daños por choques.

#### *Artículo 245. TANQUES*

En el diseño de tanques deberán tomarse en cuenta las presiones hidrodinámicas y las oscilaciones del líquido almacenado, así como los momentos que obren en el fondo del recipiente. De acuerdo con el tipo de la estructura que los soporte, se adoptarán los valores de  $Q$  que se fijan en el artículo 235 de este ordenamiento correspondiente a la estructuración 1 y los criterios de análisis estático especificados en el artículo 240 de este Reglamento.

#### *Artículo 246. MUROS DE RETENCION*

Los empujes que ejercen los rellenos sobre los muros de retención, debidos a la acción de los sismos, se valuarán suponiendo que el muro y la zona de relleno por encima de la superficie crítica de deslizamiento se encuentran en equilibrio límite bajo la acción de las fuerzas debidas a carga vertical, y a una aceleración horizontal igual a  $c/3$  veces la gravedad. Podrán asimismo emplearse procedimientos diferentes siempre y cuando sean previamente aprobados por el Departamento.

#### *Artículo 247. OTRAS ESTRUCTURAS*

El análisis y diseño de las estructuras que no puedan clasificarse en alguno de los tipos descritos, se hará de manera congruente con lo que marca el presente Reglamento para los tipos aquí tratados, previa aprobación del Departamento.

#### *Artículo 248. ESTRUCTURAS DANADAS*

Cuando a raíz de un sismo una construcción sufra daños en sus elementos, sean o no estructurales, deberá presentarse un proyecto de reparación o de refuerzo al Departamento, quién podrá dictaminar sobre las disposiciones y criterios que deban aplicarse.