

EVALUACIÓN DE CÓDIGO SÍSMICO

(Original: ingles)

VENEZUELA

Evaluación llevada a cabo por Jorge Gutiérrez

NOMBRE DEL DOCUMENTO: "EDIFICACIONES SISMORRESISTENTES"
NORMA COVENIN 1756-98 (Revisión de 2001)

AÑO: Aprobado el 9 de Diciembre de 1998. Revisada en Marzo de 2001

COMENTARIOS GENERALES: Esta Norma es obligatoria por ley para todo el país. Reemplaza a la Norma "EDIFICACIONES ANTISÍSMICAS" COVENIN-MINDUR 1756-80-82 impresa el 17 de Noviembre de 1983 y reimpressa en Julio de 1988 como COVENIN 1756-87

NOTA: Los números entre corchetes se refieren a capítulos o artículos específicos del Código: [1.2], [C4.1.1]. La C que precede a un número se refiere a los Comentarios del Código.

Los números entre paréntesis se refieren a temas de este documento:
(ver 2.2)

1. ALCANCE

1.1 Conceptos Explícitos. [1.1; 1.2; 3.5]

El Código se aplica al análisis y diseño de nuevas edificaciones de concreto, acero y amalgamas de acero-concreto.

Este no incluye edificaciones de concreto prefabricadas u otro tipo de estructuras que no son edificaciones tales como puentes, tanques o diques.

Se acepta que la estructura sismorresistente puede ser deformada hasta el rango inelástico sin pérdida sensible de resistencia.

La confiabilidad final de la edificación para resistir terremotos dependerá no sólo del cumplimiento de las regulaciones del Código sino que de un proceso adecuado de ejecución, inspección y mantenimiento de la propia edificación.

1.2 Objetivos del Desempeño. [1.1; C4.1.1]

El propósito del Código es asegurar que en el evento de terremotos:

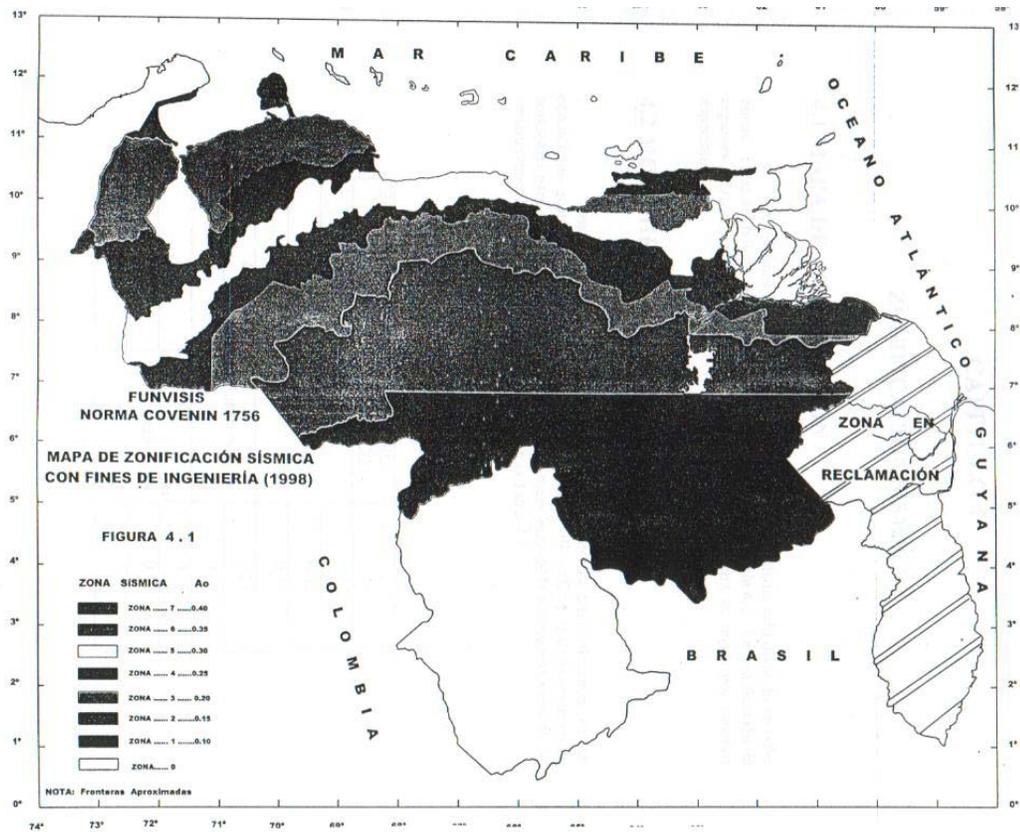
- Se protejan la vida humana
- Se reduzca el daño a las edificaciones
- Que las facilidades esenciales permanezcan en operación.

El terremoto de diseño tiene un 10% de probabilidad de excederse en 50 años (período de recurrencia de 475 años).

2. ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y CARACTERIZACIÓN DE SITIO

2.1 Zonificación Sísmica (Calidad de Datos). [4.1]

El país se divide en 8 zonas sísmicas (0 a 7) con la más alta sismicidad a lo largo de la costa y descendiendo hacia el interior (ver figura).



La calidad de los datos utilizados para zonificación sísmica es muy buena; están basados en más de 100 años de mapas de zonificación sísmica (1898-1998) y más de siete estudios de riesgo sísmico elaborados durante los últimos 15 años.

2.2 Niveles de Intensidad Sísmica. [4.2]

Sólo un nivel de intensidad sísmica es asignado a cada zona sísmica en particular y corresponde a un período de recurrencia de 475 años (ver 1.2). Sin embargo, hay un Factor de Importancia (ver 3.1) que incrementa las fuerzas sísmicas, pero no está asociado a alguna intensidad sísmica específica.

2.3 Consideraciones de Falla Cercana.

No se ha considerado.

2.4 Requisitos de Sitio. [5.2; 11.6]

Si bajo condiciones sísmicas, se determina que los suelos sobre el sitio son propensos a experimentar licuación, cambios volumétricos o pérdida de resistencia, estudios especiales deben llevarse a cabo para evaluar la respuesta dinámica del perfil de suelo y para establecer su forma espectral y coeficientes de aceleración basados en las propiedades reales de dichos suelos bajo efectos de carga cíclicos.

Debe chequearse la estabilidad de sitio cuando las condiciones geológicas sugieren inestabilidades potenciales debidas a declives en el terreno, discontinuidades geológicas, modificaciones de la topografía original y presiones por alta porosidad.

2.5 Clasificación de Sitio. [5.1]

Seis tipos de materiales de suelo son definidos en términos de la velocidad de su onda sismorresistente. Adicionalmente la profundidad del sitio y las zonas sísmicas se utilizan para definir el Tipo de Forma Espectral y el Factor de Corrección ϕ .

Clasificación de Sitio, Formas Espectrales y Factores de Corrección ϕ

Material de Suelo	Velocidad de onda (m/s)	Altura (m)	Zonas Sísmicas 1 a 4		Zonas Sísmicas 5 a 7	
			Forma Espectral	Factor ϕ	Forma Espectral	Factor ϕ
Roca dura	> 500	--	S1	0.85	S1	1.00
Roca suave, suelos muy duros o muy densos	> 400	< 30	S1	0.85	S1	1.00
		30-50	S2	0.80	S2	0.90
		> 50	S3	0.70	S2	0.90
Suelos duros o densos	250-400	< 15	S1	0.80	S1	1.00
		15-50	S2	0.80	S2	0.90
		> 50	S3	0.75	S2	0.90
Suelos firmes o semi-densos	170-250	\leq 50	S3	0.70	S2	0.95
		> 50	S3	0.70	S3	0.75
Suelos suaves o flojos	< 170	\leq 15	S3	0.70	S2	0.90
		> 15	S3	0.70	S3	0.80
Suelos suaves o flojos con capas de suelos más rígidos	--	H ₁	S2	0.65	S2	0.70

2.6 Aceleraciones Pico en Tierra (Horizontales y Verticales). [4.2]

Las 8 zonas sísmicas (ver 2.1) están agrupadas en tres niveles de riesgo sísmico. Cada zona sísmica tiene un coeficiente de aceleración horizontal A_0 según el siguiente cuadro:

Zonas Sísmicas	Riesgo Sísmico	Coefficiente de Aceleración Horizontal A_0
7	Alto	0.40
6		0.35
5		0.30
4	Intermedio	0.25
3		0.20
2	Bajo	0.15
1		0.10
0		----

El coeficiente de aceleración vertical se define como 0.7 veces el correspondiente coeficiente de aceleración horizontal.

3. PARÁMETROS PARA LA CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL

3.1 Ocupación e Importancia. [6.1]

Hay cuatro Grupos con sus correspondiente Factor de Importancia α (ver 2.2):

- Grupo A:** Facilidades esenciales o de alto riesgo ($\alpha = 1.30$)
- Grupo B1:** Edificaciones públicas o privadas densamente ocupadas ($\alpha = 1.15$)
- Grupo B2:** Edificaciones públicas o privadas de ocupación normal ($\alpha = 1.00$)
- Grupo C:** Edificaciones no clasificadas como A, B1 o B2, que no están destinadas para vivienda o uso público. No se necesita hacer cumplir la Norma si los detalles constructivos adecuados son provistos.

3.2 Tipo Estructural. [6.3.1]

Cinco Tipos Estructurales:

- Tipo I: Estructuras de marco.
- Tipo II: Combinaciones de los Tipos I y III. Los marcos deben ser capaces de resistir al menos 25% de las fuerzas sísmicas.

- Tipo III: Marcos reforzados o muros estructurales capaces de resistir 100% de las fuerzas sísmicas. También, aquellas estructuras del Tipo II cuyos marcos no puedan resistir 25% de las fuerzas sísmicas.
- Tipo IIIa: Muros sismorresistentes acoplados de concreto y marcos reforzados excéntricos de acero.
- Tipo IV: Estructuras con diafragmas flexibles, con columnas en voladizo o con lozas planas.

3.3 Regularidad Estructural: Plana y Vertical. [6.5]

Nueve tipos de irregularidades verticales: diafragmas suaves, diafragmas débiles, distribución irregular de masa, masas que incrementan con altura, reveses, delgadez excesiva, discontinuidades estructurales verticales, falta de conectividad de elementos estructurales verticales a diafragmas y efectos de columna corta.

Cuatro tipos de irregularidades planas: gran excentricidad, alto riesgo torsional, sistemas no ortogonales y diafragmas flexibles.

3.4 Redundancia Estructural. [6.2.2]

Algunos tipos estructurales son penalizados con un requisito de Nivel de Diseño 3 (ND3) (ver 3.5) por sus redundancia limitada (es decir, edificaciones con discontinuidades de columna y edificaciones con menos de tres ejes de resistencia en cualquier dirección).

3.5 Ductilidad de elementos y componentes. [6.2.2]

No se incluye en el Código ninguna clasificación específica de elementos según su ductilidad. Sin embargo, se definen tres diferentes Niveles de Diseño para el detalle de elementos estructurales.

Nivel de Diseño 1 (ND1). Sistemas estructurales cuyos elementos estructurales han sido dimensionados y detallados sin ajustarse a cualquier requisito específico para zonas sísmicas.

Nivel de Diseño 2 (ND2). Sistemas estructurales cuyos elementos estructurales han sido dimensionados y detallados y que cumplen únicamente con algunos requisitos específicos para zonas sísmicas que proporcionarán alguna ductilidad global al sistema estructural y prevendrán fallas frágiles en zonas críticas.

Nivel de Diseño 3 (ND3). Sistemas estructurales cuyos elementos estructurales han sido dimensionados y detallados con estricto cumplimiento de todos los requisitos específicos para zonas sísmicas.

Los Niveles de Diseño son seleccionados según el Grupo de Factor de Importancia (ver 3.1) y la Zona Sísmica (ver 2.1) como se indica en el Cuadro siguiente:

**Posibles Niveles de Diseño, ND
Según el Factor de Importancia y la Zona Sísmica**

Grupo de Factor de Importancia	Zona Sísmica		
	1, 2	3, 4	5, 6, 7
A, B1	ND2 ND3	ND3	ND3
B2	ND1 ND2 ND3	ND2 ND3	ND3 ND2

Según el material estructural, el Tipo Estructural (ver 3.2) y el Nivel de Diseño (ver 3.5) se definen Factores de Reducción R en el siguiente Cuadro y son usados para los cálculos de los Espectros de Diseño (ver 4.2)

Factores de Reducción R

		Concreto Estructural				
Nivel de Diseño ND	Tipo Estructural					
	I	II	III	IIIa	IV	
ND3	6.0	5.0	4.5	5.0	2.0	
ND2	4.0	3.5	3.0	3.5	1.5	
ND1	2.0	1.75	1.5	2.0	1.25	
		Acero Estructural				
Nivel de Diseño ND	Tipo Estructural					
	I	II	III	IIIa	IV	
ND3	6.0	5.0	4.0	6.0	2.0	
ND2	4.5	4.0	---	---	1.5	
ND1	2.5	2.25	2.0	---	1.25	
		Amalgama de Acero-Concreto				
Nivel de Diseño ND	Tipo Estructural					
	I	II	III	IIIa	IV	
ND3	6.0	5.0	4.0	6.0	2.0	
ND2	4.0	4.0	---	---	1.5	
ND1	2.25	2.25	2.25	---	1.0	

4. ACCIONES SÍSMICAS

4.1 Espectros de Respuesta Elásticos (Horizontales y Verticales). [7.2]

Hay cuatro Espectros de Respuesta Elásticos Horizontales (S1, S2, S3 y S4, ver Cuadro en 2.5), con valores espectrales A_d como se define en la siguiente Figura. Los Espectros Verticales son 0.7 veces los Horizontales (ver 2.6).

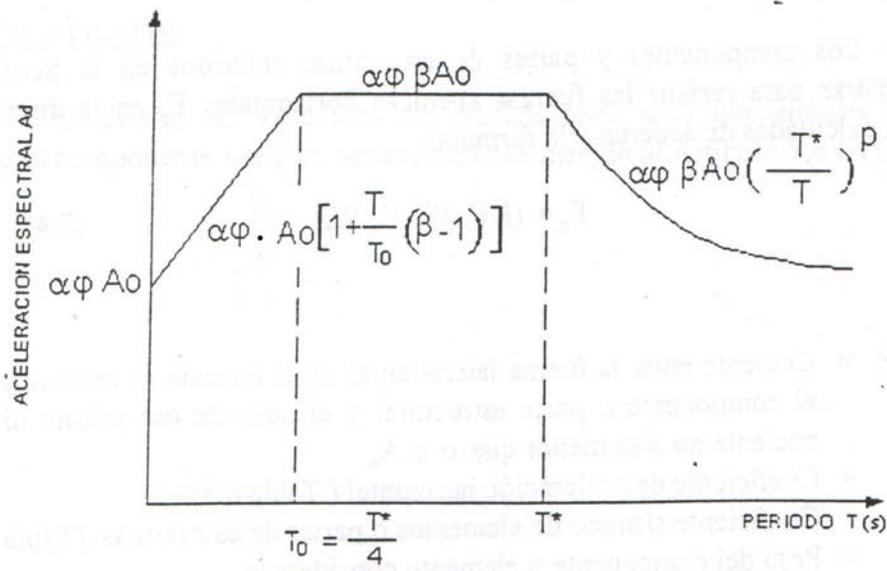


FIGURA 7.1 ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO (R=1)

Donde:

A_d = Aceleración de los Espectros de Respuesta Elásticos (como fracción de g).

A_0 = Coeficiente de Aceleración Horizontal (ver 2.6)

α = Factor de Importancia (ver 3.1)

φ = Factor de Corrección de aceleración horizontal (ver 2.5)

β = Factor de Magnificación Promedio, dependiente de la Forma Espectral (ver 2.5) según el Cuadro siguiente.

T = Período Estructural

T^* = Valor de Período que depende de la Forma Espectral según el Cuadro siguiente.

$T_0 = 0.25 T^*$

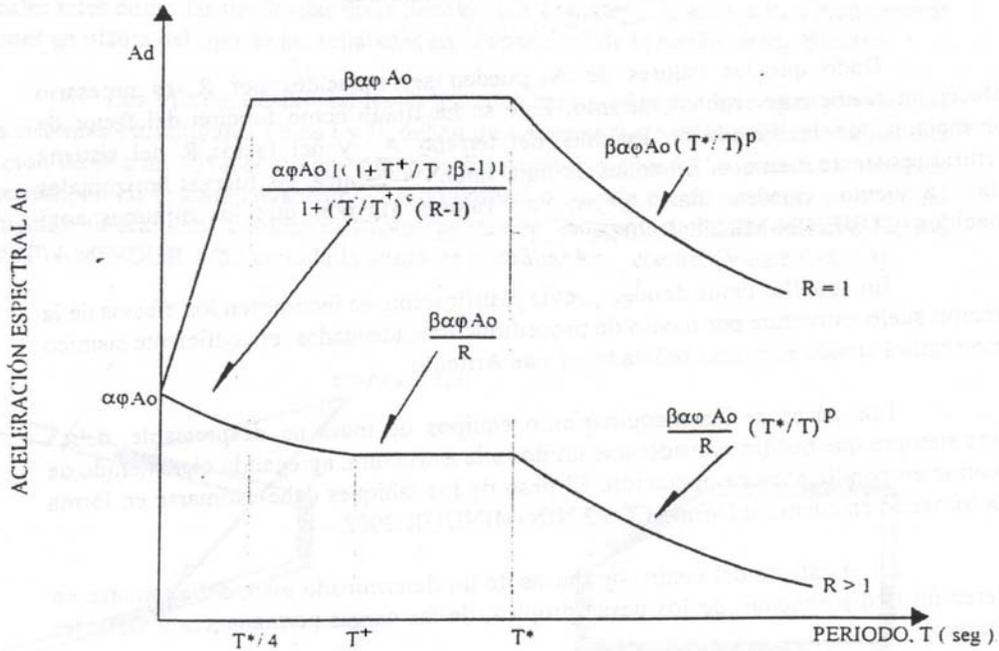
p = Factor de bifurcación descendente que depende de la Forma Espectral según el Cuadro siguiente.

Valores de T^* , β y p según las Formas Espectrales

Forma Espectral	T^* (segs)	β	p
S1	0.4	2.4	1.0
S2	0.7	2.6	1.0
S3	1.0	2.8	1.0
S4	1.3	3.0	0.8

4.2 Espectros de Diseño. [7.1; 7.2]

Los Espectros de Diseño [7.2], también llamados A_d , se obtienen mediante la división de los Espectros de Respuesta Elásticos (ver 4.1) por factores que dependen del Período estructural. Para períodos $T > T^+$ (donde $T^+ = 0.1 (R-1)$ para $R < 5$ y 0.4 para $R \geq 5$) se divide por el Factor de Reducción R . Para $T < T^+$ se divide por un factor igual a $[1 + (T/T^+)^c (R-1)]$, con $c = (R/\beta)^{1/4}$. Se presenta un ejemplo en la siguiente figura:



En cualquier caso [7.1] el Coeficiente Sísmico definido como V_0 / W nunca puede ser menor que $\alpha A_0 / R$, donde V_0 es la sismorresistencia base y W es el peso total de la edificación para propósitos sísmicos (100% de la carga muerta (DL) más una fracción de la carga viva (LL)).

4.3 Representación de historias de tiempo de aceleración. [9.8.4]

Historias de tiempo de aceleración, ya sea registradas o simuladas usando cualquier procedimiento estándar, pueden ser utilizadas para análisis dinámico no lineal (ver 5.5). Sus espectros promedio deberían aproximar, siendo conservador, los espectros de diseño con $R=1$, dentro del rango de períodos de la estructura.

4.4 Desplazamiento de Tierra del Diseño.

No se ha considerado.

5. FUERZAS DEL DISEÑO, MÉTODOS DE ANÁLISIS Y LIMITACIONES DEL DESVÍO

5.1 Combinaciones de Carga incluyendo los Efectos de Carga Sísmica Ortogonal. [8.6]

La carga sísmica EQ representa un evento extremo y no tiene factores de escala adicionales. A excepción de cimientos [11.4.4], no se dan indicaciones de cómo las otras cargas (muertas, vivas) son combinadas.

Para cimientos $Q = 1.1 DL + LL \pm EQ$
 $Q = 0.9 DL \pm EQ$

La estructura debe ser diseñada para la acción simultánea de ambos componentes horizontales, de conformidad a uno de los siguientes criterios:

- Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de cada componente horizontal.
- Valor total en una dirección más 30% del valor en la otra dirección.
- Combinación Cuadrática Completa 3 (CQC3).

5.2 Procedimientos de Análisis Simplificado y Diseño.

No se han considerado.

5.3 Procedimientos del Método Estático. [9.2; 9.3]

Este método puede ser aplicado a edificaciones regulares (ver 3.3) de no más de 10 pisos o 30m de altura. Para cada dirección horizontal, la sismorresistencia base está dada por

$$V_o = \mu A_d W \geq \alpha A_o W / R \text{ (ver 4.1 y 4.2)}$$

Donde:

W = Peso total de la edificación por encima del nivel base (ver 4.2)

μ = El mayor de los dos valores siguientes:

$$\mu = 1.4 [(N+9)/(2N+12)] \text{ , } \mu = [0.80 - 0.05 (T/T^* - 1)]$$

El Período estructural T puede ser determinado por el Método de Rayleigh.

La distribución vertical de la sismorresistencia base total V_o es:

Una fuerza $F_t = [0.06 (T/T^*) - 0.02] V_o$ (dentro de los límites: $0.04 V_o \leq F_t \leq 0.10 V_o$) se aplica en la parte superior (nivel N). La fuerza restante ($V_o - F_t$) se distribuye como:

$$F_i = (V_o - F_t) [W_i h_i / \sum_k W_k h_k]$$

5.4 Métodos de Superposición Modal. [9.4; 9.6; 9.7]

Se requieren siempre que los Procedimientos del Método Estático (ver 5.3) no son permitidos.

Se consideran tres procedimientos de superposición modal:

- Bi-Dimensional (1 dof por nivel) [9.4]
- Tri-Dimensional con Diafragmas Rígidos (3 dof por nivel) [9.6]
- Tri-Dimensional con Diafragmas Flexibles (más de 3 dof por nivel) [9.7]

Los modos pueden ser combinados según la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados SRSS o la Combinación Cuadrática Completa CQC.

5.5 Métodos No Lineales. [9.8; 9.9]

Dos métodos No Lineales de análisis se permiten como métodos alternativos:

Métodos de Capacidad de Espectro con un análisis de Pushover (“empujón”) [9.9].

Análisis dinámico de Historia de Tiempo No Lineal [9.8].

5.6 Consideraciones Torsionales. [9.5; 9.6.2.2; 9.7.4]

Se define un Método de Torsión Estático Equivalente [9.5] para el Método Estático (ver 5.3) con momentos torsionales en cada nivel igual a la sismorresistencia de diseño horizontal V_i en el nivel i multiplicada por su excentricidad (incluyendo excentricidad accidental). También se consideran excentricidades accidentales en los Métodos de Superposición Modal Tri-Dimensionales [9.6.2.2; 9.7.4].

5.7 Limitaciones de Desvío. [10.2]

Desvíos inelásticos se estiman como $\Delta_i = 0.8 R \Delta_{ei}$

Donde: R = Factor de Reducción (ver 3.5)
 Δ_{ei} = Desvío elástico correspondiente a las fuerzas de diseño incluyendo efectos de P- Δ y respuesta torsional.

Los desvíos relativos se limitan como sigue:

Desvíos Relativos Máximos ($\Delta_i / \Delta h_i$)

Tipos y arreglos de elementos no estructurales	Grupos de Factor de Importancia (ver 3.1)		
	A	B1	B2
Propenso a experimentar daño desvíos estructurales	0.012	0.015	0.018
No propensos a experimentar daño bajo desvíos estructurales	0.016	0.020	0.024

5.8 Consideraciones de Interacción Suelo-Estructura. [8.8]

Un breve párrafo establece que para edificaciones regulares, los efectos de interacción suelo-estructura pueden ser incluidos en el cálculo de las fuerzas sísmicas y de los desplazamientos de estructura correspondientes.

6. VERIFICACIONES DE SEGURIDAD.

6.1 Separación de Edificaciones. [10.3]

El Código especifica separaciones mínimas a partir de límites de sitio y de edificaciones adyacentes. Sin embargo, las edificaciones adyacentes próximas entre sí son permitidas si todos los pisos están al mismo nivel y no son previstos efectos desfavorables.

6.2 Requerimientos para Diafragmas Horizontales. [8.3.3]

El código asume que todos los diafragmas son lo suficientemente duros para comportarse como rígidos en su propio plano y lo suficientemente fuertes para distribuir las fuerzas sísmicas entre los sistemas de resistencia laterales según su rigidez. Si este no es el caso, la flexibilidad del diafragma debe ser considerada en el análisis (ver 5.4).

Los sistemas prefabricados de concreto son aceptados como diafragmas rígidos si su efectividad es verificada en los cálculos.

6.3 Requerimientos para Cimientos. [11]

Un capítulo completo define los requisitos para los diferentes tipos de cimiento (aislada, en grupos, con pilotes). Los cimientos deben ser dimensionados y diseñados para resistir todas las fuerzas transmitidas por la estructura y para producir presiones hacia el suelo dentro de valores aceptables. Los asentamientos deben mantenerse bajo control para prevenir daño estructural.

6.4 Consideraciones de P-Δ. [8.5]

Los efectos de P-Δ deberían ser considerados cuando, en cualquier nivel, el coeficiente de estabilidad θ_i exceda 0.08

Donde $\theta_i = \delta_{ei} \Sigma W_i / V_i \Delta h_i \leq \theta_{max} = \text{Min} [0.625 / R , 0.25]$

δ_{ei} = Desvío elástico en el centro de masa en el nivel i
 ΣW_i = Peso total de la edificación por encima del nivel i
 V_i = Sismorresistencia de diseño en el nivel i
 Δh_i = Altura de piso en el nivel i

Si θ_i excede θ_{max} la estructura debe ser rediseñada.

6.5 Componentes No Estructurales. [7.3]

Se definen dos criterios para componentes no estructurales:

- Deberían ser capaces de resistir las fuerzas sísmicas resultantes del correspondiente método de análisis (ver 5) o
- Deben ser diseñados para fuerzas específicas calculadas con la debida consideración de sus propiedades dinámicas.

6.6 Previsiones para el Aislamiento de la Base. [8.7]

Un breve párrafo establece que dispositivos de control tales como sistemas de aislamiento de base o de disipación de energía pasiva pueden ser utilizados si se justifica mediante resultados analíticos y experimentales.

7. EDIFICIOS RESIDENCIALES PEQUEÑOS.

Viviendas en general están incluidas en el Grupo B2 (ver 3.1) pero no se incluyen en el Código provisiones específicas para edificios residenciales pequeños.

8. PREVISIONES PARA EDIFICACIONES EXISTENTES. [7]

Un capítulo específico contiene los requisitos y regulaciones para la evaluación, readaptación y refuerzo estructural de edificaciones existentes.

RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL CÓDIGO

El Código Sísmico de Venezuela es de lo último y más moderno. No se considera necesario hacer recomendaciones específicas para mejorar el Código.