

# **EVALUACIÓN DE CÓDIGO SÍSMICO**

*(Original: ingles)*

## **COSTA RICA**

*Evaluación llevada a cabo por Jorge Gutiérrez*

**NOMBRE DEL DOCUMENTO:** “Código Sísmico de Costa Rica – 2002”

**AÑO:** 2002

**COMENTARIOS GENERALES:** Oficialmente aprobado por el “Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica”, CFIA en Noviembre de 2002. Se espera su impresión para el primer semestre de 2003.

**TEMAS ESPECÍFICOS:**

**NOTA:** Los números entre corchetes se refieren a capítulos o artículos específicos del Código: [4.1.b]  
Los números entre paréntesis se refieren a temas de este documento: (ver 2.2)

### **1. ALCANCE**

#### **1.1 Conceptos explícitos. [1.1]**

El alcance de este Código es para estructuras de Edificios y otras obras de comportamiento similar (torres, tanques elevados).

El diseño sísmico es controlado por desplazamientos y deformaciones. Se aceptan deformaciones inelásticas, la ductilidad adecuada es esencial.

El adobe está prohibido como material estructural para cargas sísmicas.

#### **1.2 Objetivos del Desempeño. [1.2 y 4.1.b]**

El objetivo principal es proteger la vida humana y reducir los costos económicos causados por terremotos [1.2].

Se definen cinco Objetivos del desempeño [4.1.b]:

- Desempeño de la Seguridad de la Vida para Ocupación Normal (ver 3.1) y Terremoto Severo (ver 2.2).
- Desempeño operacional para Facilidades de Ocupación Especiales (ver 3.1) y Terremoto Severo (ver 2.2).

- Desempeño de la Seguridad de la Vida para Facilidades de Alto Riesgo (ver 3.1) y Terremoto Extremo (ver 2.2).
- Desempeño operacional para Facilidades Esenciales (ver 3.1) y Terremoto Extremo (ver 2.2)
- Desempeño de Seguridad de la Vida para Facilidades de Bajo Riesgo (ver 3.1) y Terremoto Moderado (ver 2.2)

## 2. ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y CARACTERIZACIÓN DE SITIO

### 2.1 Zonificación sísmica (Calidad de Datos). [2.1, 2.4.a; Cuadro 2.1 y Figura 2.1]

El país está dividido en tres zonas sísmicas llamadas Zonas II, III y IV, con correspondientes Aceleraciones Pico en Tierra Efectivas  $a_{ef}$  sobre Rocas de 0.2, 0.3 y 0.4 de gravedad para Terremoto Severo (ver 2.2).

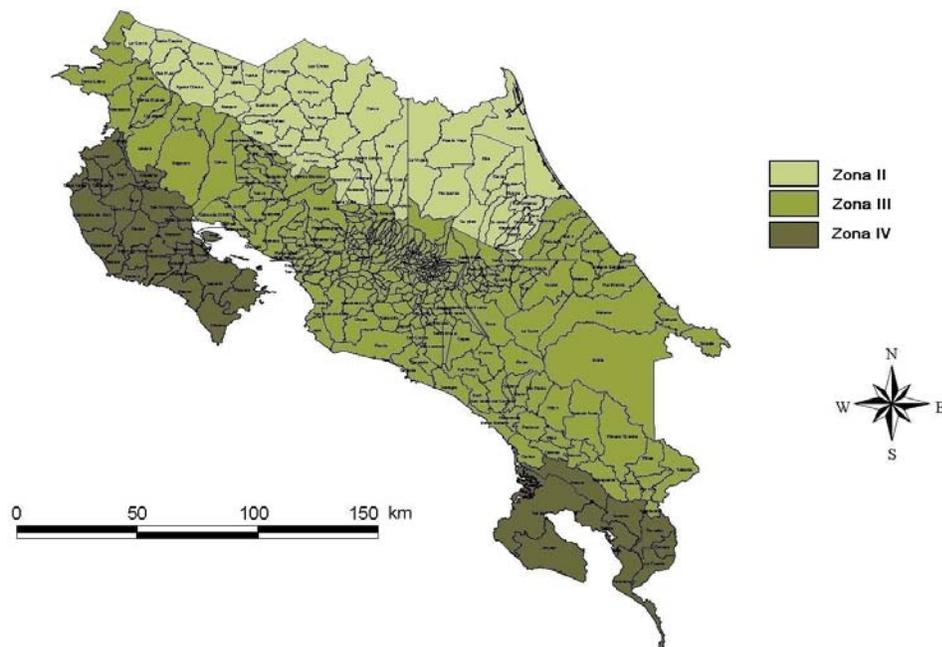


Figura 2.1. Zonificación sísmica

### 2.2 Niveles de Intensidad Sísmica. [2.3]

Se definen tres niveles de Intensidad Sísmica:

- **Terremoto Severo.** Correspondiente a un Período de Recurrencia de 500 años.

- **Terremoto Extremo.** Correspondiente a una Aceleración Pico en Tierra Efectiva 50% mayor que para Terremoto Severo.
- **Terremoto Moderado.** Correspondiente a Aceleración Pico en Tierra Efectiva 25% menor que para Terremoto Severo.

### 2.3 Consideraciones de Falla Cercana.

No se ha considerado.

### 2.4 Requisitos de Sitio. [1.3.d]

El Código se interesa por los efectos de temblor fuerte en la tierra por terremotos. No se ha dado ninguna consideración a los hundimientos de tierra o asentamientos con excesivo cimientto, licuación, deslizamientos de tierra o ruptura de fallas ya que el ingeniero debe verificar que el sitio no sea propenso a estos problemas.

### 2.5 Clasificación de Sitio. [2.2]

Se definen cuatro Tipos de Sitio:

- **Tipo S<sub>1</sub>.** Roca o suelo muy rígido ( $C_s > 760$  m/s (2500 fps))
- **Tipo S<sub>2</sub>.** Suelo rígido a medianamente rígido o denso a medianamente denso con más de 50m (165') de profundidad.
- **Tipo S<sub>3</sub>.** Arcilla suave a medianamente rígida o suelo no cohesivo bajo a medianamente denso de 6 a 12 m (20' a 40') de profundidad.
- **Tipo S<sub>4</sub>.** Arcilla suave o  $C_s < 150$  m/s (500 fps) con más de 12m (40') de profundidad.

### 2.6 Aceleraciones Pico en Tierra (Horizontales y Verticales). [2.4]

Aceleraciones Pico en Tierra Horizontales Efectivas están definidas para Terremotos Severos (ver 2.2) según la Zona Sísmica correspondiente (ver 2.1) y la Clasificación de Sitio (ver 2.5):

#### Aceleraciones Pico en Tierra Efectivas para Terremotos Severos

Tipo de sitio	Zona II	Zona III	Zona IV
<b>S<sub>1</sub></b>	0.20	0.30	0.40
<b>S<sub>2</sub></b>	0.24	0.33	0.40
<b>S<sub>3</sub></b>	0.28	0.36	0.44
<b>S<sub>4</sub></b>	0.34	0.36	0.36

No hay ninguna referencia a las aceleraciones del componente vertical.

### 3. PARÁMETROS PARA LA CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL

#### 3.1 Ocupación e Importancia. [4.1.a]

Se incluyen Cinco Grupos con su correspondiente Factor de Importancia “I” (ver 1.2 y 2.2):

- **Grupo A:** Facilidades Esenciales ( $I = 1.5$ )
- **Grupo B:** Facilidades de Alto riesgo ( $I = 1.5$ )
- **Grupo C:** Facilidades de Ocupación Especial ( $I = 1.0$ )
- **Grupo D:** Facilidades de Ocupación Normal ( $I = 1.0$ )
- **Grupo E:** Facilidades de Bajo Riesgo ( $I = 0.75$ )

#### 3.2 Tipo Estructural. [4.2]

Se consideran cinco Tipos Estructurales. Sus características y materiales estructurales son los siguientes:

- **Tipo Marco.** Únicamente marcos estructurales de acero, concreto o madera.
- **Tipo Doble.** Combinación de Marco y Muro; los marcos pueden resistir al menos 25% de la demanda de sismo resistencia en cada piso; los posibles materiales estructurales son concreto, acero, mampostería o madera.
- **Tipo Muro.** Solamente los muros sismorresistentes o marcos reforzados (concéntricos o excéntricos). Los posibles materiales estructurales son concreto, mampostería o plywood de madera para muros sismorresistentes o acero o madera para marcos reforzados.
- **Tipo Viga Voladiza.** También llamado sistemas de péndulo Invertido. Columnas aisladas o de línea única actuando esencialmente como sistemas de viga voladiza.
- **Otros Tipos.** Ninguno de los Tipos Estructurales o materiales estructurales anteriores.

#### 3.3 Regularidad Estructural: Plana y Vertical. [4.3]

**Seis Requisitos de Regularidad Plana:** excentricidad, separación de frecuencias laterales y rotativas, sin esquinas reentrantes, sin aperturas de diafragma, sistemas estructurales ortogonales o simétricos, dos o más ejes de fuerza en cada dirección.

**Siete Requisitos de Regularidad Estructural Vertical:** continuidad, reveses, rigidez, diafragmas horizontales de piso, fuerza lateral, peso, masa y centros de rigidez.

Las irregularidades están clasificadas como Planas Moderadas y Severas e Irregularidades Verticales.

### 3.4 Redundancia Estructural.

No se ha considerado

### 3.5 Ductilidad de elementos y componentes. [4.4.1]

**Ductilidad Local Óptima:** los elementos y componentes satisfacen los requisitos de Ductilidad Óptima definidos en capítulos específicos del Código para cada material estructural. Alternativamente, capacidad relativa de desvío lateral (ver 5.7) de 0.025 con pérdida de fuerza de no más del 20%, verificado por pruebas.

**Ductilidad Local Moderada:** los elementos y componentes satisfacen los requisitos de Ductilidad Moderada definidos en capítulos específicos del Código para cada material estructural.

## 4. ACCIONES SÍSMICAS

### 4.1 Espectros de Respuesta Elásticos (Horizontales y Verticales). [5]

#### Espectros Horizontales:

Estabilidad Constante  $S_{a \max} = 2.5$  veces la Aceleración Pico en Tierra Efectiva (ver 2.6).

Bifurcación Descendente  $S_a = S_{a1} / T$  empezando en  $T_s = S_{a1} / S_{a \max}$

donde:

$S_{a1}$  Espectros en  $T = 1$  seg.

$T_s$  Definido para cada Zona Sísmica (ver 2.1) y Tipo de Sitio (ver 2.4) de conformidad con el siguiente Cuadro ( $T_s$  en segundos)

#### Valores de $T_s$ según la Zona Sísmica y el Tipo de Sitio (seg.)

Tipo de Sitio	Zona II	Zona III	Zona IV
<b>S1</b>	0.400	0.400	0.400
<b>S2</b>	0.533	0.545	0.560
<b>S3</b>	0.571	0.600	0.582
<b>S4</b>	0.753	0.933	1.067

#### Espectros Verticales:

No se han considerado.

## 4.2 Espectros de Diseño. [4.4.2; Cuadro 4.3; 5]

Se asigna a cada estructura una Ductilidad Global en términos de Tipo Estructural (ver 3.2), Plano Estructural y Regularidad Vertical (ver 3.3) y Ductilidad de los Elementos y Componentes (ver 3.5). Los valores de Ductilidad Global son 1 (elástico), 1.5, 2, 3, 4 y 6.

Los Espectros de Diseño se definen como un Coeficiente Sísmico  $C$ :

$$C = (a_{ef} I FED) / SR$$

donde

$C$  = Coeficiente Sísmico

$a_{ef}$  = Aceleración Pico en Tierra Efectiva (ver 2.6)

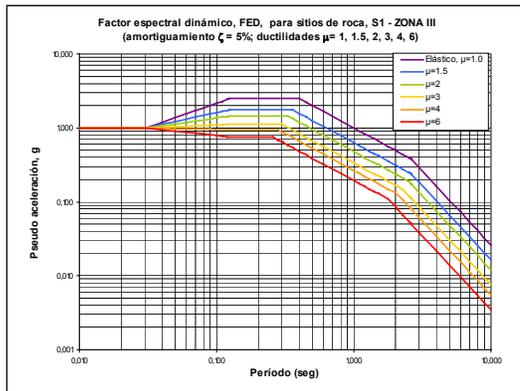
$I$  = Factor de Importancia (ver 3.1)

$SR$  = Sobre Resistencia. Definida para cada Tipo Estructural como sigue:

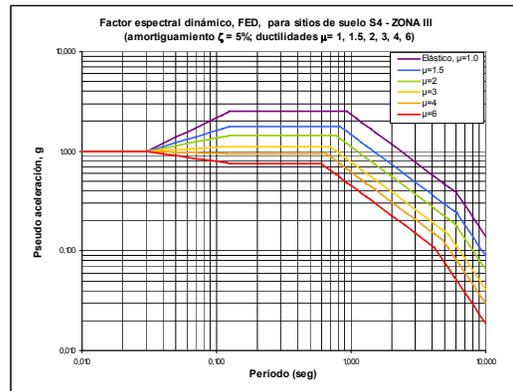
$SR = 2.0$  para Marcos de Tipos Estructurales, Doble y Muro (ver 3.2) con Métodos Estático (ver 5.3) o de Superposición Modal (ver 5.4).

$SR = 1.2$  para Tipos Estructurales de Vigas Movedizas u Otros (ver 3.2) con Métodos Estático (ver 5.3) o de Superposición Modal (ver 5.4) o todos los Tipos Estructurales con Métodos No Lineales (ver 5.5).

$FED$  = Factor Espectral Dinámico, dependiente de la Zona Sísmica (ver 2.1), clasificación de Tipo de Sitio (ver 2.5), Ductilidad Global Asignada de la Estructura y su Período Natural. El  $FED$  se presenta en 12 figuras [figuras 5.1 a 5.12], dos de las cuales se presentan aquí como ejemplos:



**FED para la Zona Sísmica III y Tipo de Sitio S<sub>1</sub>. Ductilidad Global 1, 1.5, 2, 3, 4, 6**



**FED para la Zona Sísmica III y Tipo de Sitio S<sub>4</sub>. Ductilidad Global 1, 1.5, 2, 3, 4, 6**

### 4.3 Representación de historias de tiempo de aceleración. [7.7.c]

Para el análisis Histórico del Tiempo No Lineal (ver 5.5), el Código requiere por lo menos tres acelerogramas, generados real o artificialmente, en cada dirección. El promedio de sus espectros de aceleración para 5% de amortiguamiento debería aproximarse al espectro de respuesta elástico horizontal del Código (ver 4.1).

### 4.4 Desplazamientos de Tierra del Diseño.

No se han considerado.

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

### 5.1 Combinaciones de Carga incluyendo los Efectos de Carga Sísmica Ortogonal. [6.2; 7.3]

El Código define cuatro Combinaciones de Cargas para el Diseño de la Resistencia [6.2]:

$$\begin{aligned} CU &= 1.4 CP \\ CU &= 1.2 CP + 1.6 CT \\ CU &= 1.05 CP + f_1 CT \pm CS + CE \\ CU &= 0.95 CP \pm CS + CE \end{aligned}$$

donde

*CU* Carga Unificada (para LRFD o Diseño de Resistencia)  
*CP* Carga Permanente (Muerta)  
*CT* Carga Temporal (Viva)  
*CS* Carga Sísmica  
*CE* Presión lateral de suelos  
 $f_1$  = 1.0 para asamblea pública, parqueo u otra alta probabilidad de sitios de ocupación.  
= 0.5 para lugares usuales  
= 0.0 para techos.

Para cada elemento, *CS* será la más crítica de las siguientes combinaciones [7.3]:

$$\begin{aligned} CS &= 1.0 CS_x + 0.3 CS_y & \text{o} \\ CS &= 0.3 CS_x + 1.0 CS_y \end{aligned}$$

donde

$CS_x$ ,  $CS_y$  Cargas Sísmicas debidas a Terremotos en las direcciones horizontales x e y. No se considera explícitamente el componente vertical de Terremotos.

Estas combinaciones no se requieren para estructuras cuyos sistemas de resistencia son paralelos u ortogonales entre ellos dentro de plano.

## **5.2 Procedimientos de Análisis Simplificado y Diseño.**

No se ha considerado, salvo para los Edificios Residenciales Pequeños (ver 7).

## **5.3 Procedimientos de Método Estático. [7.4]**

Este procedimiento está restringido para Estructuras Regulares Planas y Verticales (ver 3.3) que tengan cinco pisos o menos. La Sismorresistencia Base Total  $V$  es:

$$V = C W$$

donde

$V$  = Sismorresistencia Base Total

$C$  = Coeficiente Sísmico (ver 4.2)

$W$  = Peso Total, estimado como 100% de Carga Permanente (Muerta) + 15% de Carga Temporal (Viva).

Las Fuerzas están distribuidas en proporción al peso  $W_i$  y altura  $h_i$  de cada piso:

$$F_i = V [ w_i h_i / \sum_k W_k h_k ]$$

El Período Natural es calculado mediante el Método Rayleigh

## **5.4 Métodos de Superposición Modal. [7.5]**

Se requiere siempre que los Procedimientos del Método Estático (ver 5.3) no sean permitidos.

Combinación de modos según SRSS (Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados) o CQC (Combinación Cuadrática Completa).

## **5.5 Métodos No Lineales. [7.7]**

Dos métodos no lineales de análisis son permitidos como métodos alternativos:

- Métodos de Capacidad de Espectro con Espectro de Ductilidad Constante combinado con un análisis de Pushover (“empujón”).
- Análisis de Historia de Tiempo No Lineal (ver 4.3).

## 5.6 Consideraciones Torsionales. [7.5.e]

Todas las estructuras con Irregularidades Estructurales Planas (ver 3.3) requieren el análisis acoplado tri-dimensional lateral-torsional con un mínimo de tres dof por piso.

## 5.7 Limitaciones de Desvío. [7.6; 7.8.a]

Cuando se han usado los Métodos Estático (ver 5.3) o de Superposición Modal (ver 5.4), los Desvíos de Pisos Inelásticos son calculados como:

$$\Delta_i = \Delta_e \mu SR$$

donde

- $\Delta_i$  = Desvíos de Piso Inelásticos
- $\Delta_e$  = Desvío de Piso Elásticos (a partir del Análisis Elástico Lineal)
- $\mu$  = Ductilidad de la Estructura (ver 4.2)
- $SR$  = Sobre Resistencia (ver 4.3)

Cálculos de Desplazamientos de Piso Inelásticos Absolutos son reducidos aún más por un Factor de Desplazamiento Inelástico  $\alpha$ .

$$\bar{\delta}_i = \bar{\delta}_e \mu SR \alpha$$

donde:

- $\bar{\delta}_i$  = Desplazamiento de Piso Inelástico Absoluto.
- $\bar{\delta}_e$  = Desplazamiento de Piso Elástico Absoluto (Análisis Elástico Lineal)
- $\mu$  = Ductilidad Global Asignada de la Estructura (ver 4.2).
- $SR$  = Sobre Resistencia (ver 4.2).
- $\alpha$  = Factor de desplazamiento inelástico.  $\alpha = 0.70$  para Tipos Estructurales de Marco, Doble y Muro (ver 3.2);  $\alpha = 1.00$  para Tipos Estructurales de Vigas voladizas y Otros (ver 3.2).

Los Desvíos de Piso inelásticos límite, como una proporción de altura de piso ( $\Delta_i / \Delta h_i$ ), están definidos de acuerdo a la Ocupación e Importancia (ver 3.1) y Tipo Estructural (ver 3.2), conforme al siguiente Cuadro:

### Límites de Desvío de Piso a Altura

Tipo Estructural	Importancia o Grupo de Uso	
	A, C	B, D, E
Marco	0.010	0.016
Doble	0.010	0.014
Muro	0.008	0.008
Viga voladiza	0.010	0.016
Otros	0.005	0.008

Estos límites pueden ser incrementados en 50% si los efectos  $P-\Delta$  son considerados en el análisis (ver 6.4).

#### 5.8 Consideraciones de Interacción Suelo-Estructura.

No se ha considerado.

## 6. VERIFICACIONES DE SEGURIDAD.

### 6.1 Separación de Edificaciones. [7.8.d]

Todas las edificaciones deben estar separadas entre ellas por una distancia no menor a la suma de sus Desplazamientos de Piso Inelásticos Absolutos  $\delta_i$  (ver 5.7).

### 6.2 Requerimientos para Diafragmas Horizontales. [3.e; 12.7]

Es altamente deseable que los Diafragmas de piso horizontales sean diseñados como componentes rígidos dentro de los planos. Los Diafragmas son considerados componentes frágiles (es decir no dúctiles); en consecuencia, estos deben ser diseñados para fuerzas internas iguales a la sobre resistencia SR multiplicada por las fuerzas derivadas de el análisis. Si se usan vigas o bloques prefabricados hay necesidad de echar una capa continua de concreto reforzado de un mínimo de 5 cm. para edificios hasta de 3 pisos de altura o 6 cm. para edificios mas altos.

Para diafragmas flexibles, la Ductilidad Global (ver 4.2) no puede ser mayor de 1.5.

### 6.3 Requerimientos para Cimientos. [13]

Los cimientos deben estar protegidos con capacidad contra daño y derrumbes. Si se usan cimientos aislados, deben estar conectados entre

sí por elementos tirantes al nivel de la base para una respuesta integrada en plano (Ej. sin desplazamientos diferenciales horizontales).

#### 6.4 Consideraciones de P-Δ. [7.8.b]

No se requiere si las limitaciones de desvío (ver 5.7) han sido satisfechas. Sin embargo, es posible incrementar estos límites de desvío hasta el 50%. En este caso, los efectos de P-Δ deben ser considerados y se requiere un método de análisis alternativo no lineal (ver 5.5).

#### 6.5 Componentes No Estructurales. [14]

Todos los componentes y sistemas no estructurales deben ser diseñados para resistir fuerzas de  $F_p$  dadas por:

$$F_p = 4.0 a_{ef} I W_p \quad \text{o}$$

$$F_p = (X_p a_{ef} I / R_p) [1 + 3 h_x / h_r] W_p$$

$$\text{con } 0.7 a_{ef} I W_p \leq F_p \leq 4.0 a_{ef} I W_p$$

donde:

$F_p$  = Diseño de Fuerza Sísmica para cada componente o sistema no estructural.

$a_{ef}$  = Aceleración Pico en Tierra Efectiva (ver 2.6).

$I$  = Factor de Importancia (ver 3.1).

$W_p$  = Peso Total del sistema o componente.

$X_p$  = Factor de Amplificación de Sistema (tabulado, varía de 1.0 a 2.5).

$R_p$  = Factor de Modificación de Respuesta (tabulado, varía de 1.5 a 4).

$h_x$  = Altura por encima del nivel de la base del centro de la masa del sistema o componente.

$h_r$  = Altura Total del edificio por encima del nivel de la base.

#### 6.6 Previsiones para el Aislamiento de la Base.

No se ha considerado.

### 7. EDIFICIOS RESIDENCIALES PEQUEÑOS. [17]

Para viviendas de uno y dos pisos, se presentan requerimientos normativos o prescriptivos simples para unidades de hasta 250 m<sup>2</sup> (2690 pies<sup>2</sup>) cuyo sistema, materiales de construcción y métodos estructurales, satisfacen los requerimientos específicos.

## **8. PREVISIONES PARA EDIFICACIONES EXISTENTES. [15]**

Un capítulo completo se refiere al diagnóstico estructural y readaptación sísmica. Para edificios existentes el énfasis no está en regulaciones específicas sino en la satisfacción de los Objetivos del Desempeño (ver 1.2). Para edificios viejos, el período de recurrencia (y las correspondientes fuerzas sísmicas) pueden ser reducidos.

### **RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL CÓDIGO**

**El Código Sísmico de Costa Rica puede ser considerado un código de lo más moderno y sofisticado. A pesar de que algunos temas como los Efectos de los Terremotos por Falla Cercana (ver 2.3), Interacción Suelo-Estructura (ver 5.8) y Aislamiento de la Base (ver 6.6) no están incluidos, no se considera necesario hacer recomendaciones específicas para mejorar el Código.**