

# EVALUACIÓN DE CÓDIGO SÍSMICO

## CUBA

*Evaluación llevada a cabo por Carlos Llanes Burón*

**NOMBRE DEL DOCUMENTO:** NC 46 – 1999. Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción.

**AÑO:** 1999

**COMENTARIOS GENERALES:** Aprobación oficial por la Oficina Nacional de Normalización (NC).

### **TEMAS ESPECÍFICOS:**

**NOTA:** Los números entre corchetes se refieren a capítulos o artículos específicos del Código: [ ]

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

## **1. ALCANCE**

### **1.1 Conceptos Explícitos. [1]**

Esta norma establece los requisitos básicos para el diseño y construcción de edificaciones y estructuras de comportamiento similar, así como carreteras, puentes y diques ubicados en áreas de riesgo sísmico, con el propósito de disminuir o mitigar su grado de vulnerabilidad, a excepción de aquellas estructuras especiales como plantas nucleares, eléctricas, mecánicas y similares; para esos casos se requieren consideraciones específicas que estén de acuerdo con las que se presentan en esta norma.

### **1.2 Objetivos del Desempeño. [5.1]**

La filosofía general del diseño de estructuras para eventos sísmicos es la siguiente:

- a) Proteger la vida humana.
- b) Garantizar la continuidad de servicios vitales.
- c) Minimizar daños a las construcciones.

## 2. ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y CARACTERIZACIÓN DE SITIO [4]

### 2.1 Zonificación Sísmica (Calidad de Datos). [4.1, 4.1.1, Cuadro 4.1 y Figuras 4.1 y 4.2]

Para propósitos de aplicación de esta norma el territorio nacional ha sido dividido en cuatro áreas las cuales se indican en los Mapas de Zonificación Sísmica. Estas áreas son descritas en [4.1.1] y se les asigna valores de aceleración como fracciones de la gravedad.

Los mapas presentados son el resultado de una evaluación cualitativa del riesgo sísmico con un criterio de probabilidad con la información disponible hasta ahora.

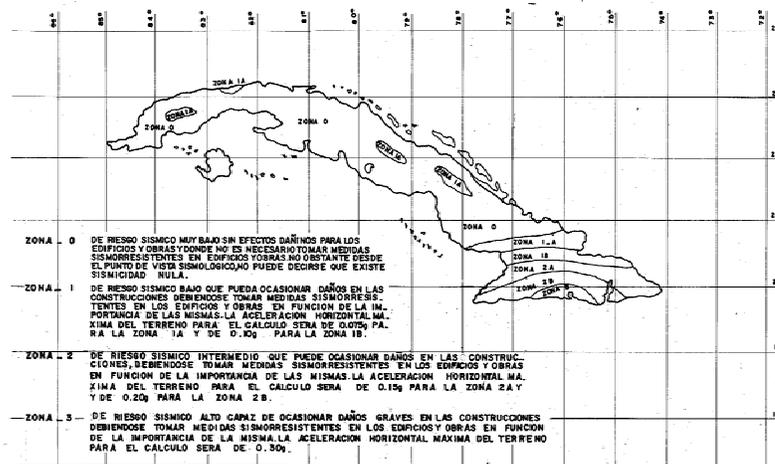


FIG. 4.1 MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA CON FINES DE INGENIERÍA.

### 2.2 Niveles de Intensidad Sísmica. [4.1.1 y 4.2]

Se definen cuatro niveles de intensidad sísmica. Desde nula a muy severa.

Los desplazamientos de diseño se definen en función de la aceleración máxima de la componente horizontal obtenida para roca. Fueron obtenidos con una probabilidad de 15% a 10% de excedencia y 50 años de vida útil correspondiente a un período de recurrencia de 475 años.

### 2.3 Consideraciones de Falla Cercana.

No se ha considerado.

### 2.4 Requisitos de Sitio. [6.4]

### 2.5 Clasificación de Sitio. [6.4]

Cuatro tipos de suelo:

**Tipo S1:** Roca o suelo muy rígido ( $C_s > 800$  m/s).

**Tipo S2:** Suelo rígido a medianamente rígido o denso a medianamente denso con más de 60m de profundidad.

**Tipo S3:** Arcilla suave a medianamente rígida o suelo no cohesivo bajo a medianamente denso con 10 m de profundidad ( $C_s < 240$  m/s).

**Tipo S4:** Arcilla suave o  $C_s < 150$  m/s con más de 12 m de profundidad.

## 2.6 Aceleraciones Pico en Tierra (Horizontales y Verticales). [Cuadros 6.2 y 6.3 y Figura 6.1]

ZONA	1A	1B	2A	2B	3
A	0.075	0.10	0.15	0.20	0.3

## 3. PARÁMETROS PARA LA CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL

### 3.1 Ocupación e Importancia. [Cuadro 6.4]

Cinco grupos con factores de importancia  $I$  correspondientes.

**Grupo 1:** Edificaciones y estructuras de importancia excepcional. ( $I \geq 1.25$ )

**Grupo 2:** Edificaciones y estructuras de importancia especial. ( $I = 1.25$ )

**Grupo 3:** Edificaciones y estructuras de mediana importancia. ( $I = 1.00$ )

**Grupo 4:** Edificaciones y estructuras de importancia secundaria. ( $I = 0.60$ )

**Grupo 5:** Edificaciones y estructuras no importantes. ( $I = 0.00$ ).

### 3.2 Tipo Estructural. [Cuadro 6.5]

Siete Tipos Estructurales.

1. **Tipo Pórtico o Marco** (Hormigón ó Concreto, acero).

2. **Tipo Doble** (Combinación de pórtico + Muro Sismorresistente. Pórtico con 25% de demanda de sismorresistencia. (Concreto))

3. **Muro Sismorresistente o Pórticos de Refuerzo Diagonales** con 100 % de demanda de sismorresistencia. (Concreto, acero y madera).

4. **Estructuras de Grandes Paneles.**

5. **Mampostería Reforzada.**

6. **Mampostería Confinada con refuerzo interior.**

7. **Otras estructuras no consideradas anteriormente.**

### 3.3 Regularidad Estructural: Plana y Vertical. [6.2, 6.2.1 y 6.2.2]

**Siete requisitos de Regularidad Plana:** Sistemas estructurales ortogonales o simétricos, excentricidad, centro de masa y rigidez, proporción ancho/longitud no mayor que 3, ninguna abertura del diafragma, ninguna esquina reentrante, dos o más ejes de resistencia en cada dirección.

**Nueve Requisitos de Regularidad Vertical:** Continuidad, reducción gradual de la sección, rigidez, diafragmas de piso horizontales, resistencia lateral, peso, relación altura / dimensión base mínima no mayor que 4.

Irregularidades Planas y Verticales moderadas y severas.

### **3.4 Redundancia Estructural.**

No se ha considerado.

### **3.5 Ductilidad de elementos y componentes. [6.1 y 6.1.1 y Cuadro 6.1]**

Los sistemas definidos en esta norma pueden ser proyectados de manera que posean diferentes niveles de ductilidad (tres niveles). Esos niveles de ductilidad son una función de la Importancia de la estructura y la Zona Sísmica.

## **4. ACCIONES SÍSMICAS [ 6.4, Cuadro 6.2 y Figura 6.1]**

### **4.1 Espectros de Respuesta Elásticos (Horizontales y Verticales).**

Este tiene tres ramificaciones definidas por las siguientes expresiones:

- a)  $C = 1 + (Fa - 1) \frac{T}{T_1}$  para  $0 \leq T \leq T_1$ , donde  $T$  es el período.
- b)  $C = Fa$  para  $T_1 \leq T \leq T_2$ ,  $Fa$  es el coeficiente de amplificación que depende del perfil del suelo.
- c)  $C = Fa \left( \frac{T_2}{T} \right)^p$  para  $T > T_2$ ,  $p$  es el exponente que define la bifurcación descendente del espectro en función del perfil del suelo.

### **4.2 Espectros de Diseño. [ Figura 6.1]**

### **4.3 Representación de historias de tiempo de aceleración.**

No se ha considerado.

### **4.4 Desplazamiento de Diseño del Suelo.**

No se ha considerado.

## 5. FUERZAS DEL DISEÑO, MÉTODOS DE ANÁLISIS Y LIMITES DE LA DERIVA

### 5.1 Combinaciones de Carga incluyendo los Efectos de Carga Sísmica Ortogonal. [6.3.1]

Se definen las combinaciones de carga en la Norma de Diseño de Construcciones, "Obras de Hormigón Armado. Principios Generales y Métodos de Cálculo". Aquí en [6.3.1] sólo se especifica el porcentaje a ser considerado de cargas vivas temporales.

### 5.2 Procedimientos Simplificados de Análisis y Diseño.

No se ha considerado.

### 5.3 Procedimientos del Método Estático. [ 6.4, 6.4.2 y 6.4.3]

**Análisis Estático Equivalente.** Restringido únicamente a Estructuras Regulares Planas y Verticales con altura no mayor que 80 m y período fundamental menor que 2 s. Para Estructuras Irregulares, no más de 5 niveles y 20 m de altura.

$$V = \frac{A I C}{R_d} W \quad \text{en kN.}$$

Donde **A**, es la aceleración horizontal máxima del terreno expresada como una fracción de la gravedad correspondiente a una zona sísmica determinada.

**I**, es el coeficiente que toma en cuenta el riesgo sísmico como función de la importancia de la estructura.

**R<sub>d</sub>**, es el coeficiente de reducción por ductilidad el cual depende del sistema estructural utilizado y el nivel de ductilidad según la zona y la importancia de la estructura.

**W**, es el peso de la construcción en kN según los requisitos de la norma.

**C**, es el coeficiente sísmico espectral el cual depende del el perfil de suelo y el período de la estructura.

Distribución de fuerza en proporción a cada peso ,  $W_i$ , y altura,  $h_i$  de piso

$$F_x = \frac{(V - F_t) W_x h_x}{\sum_{i=1}^n W_i h_i}$$

El período natural es calculado con formulas empíricas según el sistema estructural utilizado [ 6.4.2]. Cualquier método dinámico clásico es permitido.

#### **5.4 Métodos de Superposición Modal. [ 6.5, 6.5.1 a 6.5.6]**

**Método de Análisis Modal:** En el caso de modelos planos el análisis debe incluir para cada uno de los ejes perpendiculares, todos los modos de vibración con un período mayor que 0.4 s, y como mínimo los tres con el período más alto.

Para modelos espaciales, el análisis incluirá, para cada dirección de aplicación de la acción sísmica, todos los modos de vibración de período superior a 0.4 s, y como mínimo cuatro modos, dos de ellos fundamentalmente traslacionales y los otros dos predominantemente con carácter rotacional.

#### **5.5 Métodos No Lineales. [3]**

Se hace notar cuándo deberían ser usados pero no se especifica ningún método.

#### **5.6 Consideraciones Torsionales. [ 6.8]**

Se tomarán en cuenta los efectos de torsión cuando la estructura posea elementos verticales capaces de transmitir este efecto al cimiento siempre que el diafragma horizontal que los une posea la rigidez y la resistencia suficiente para garantizar la distribución de las fuerzas horizontales.

Se presenta un procedimiento de cálculo que toma en consideración este aspecto.

#### **5.7 Límites de deriva. [7, 7.1 a 7.4]**

De acuerdo con la Ocupación y el Tipo de Elemento Estructural. Los límites de deriva de Piso, según la altura relativa del piso y el coeficiente de ductilidad, son definidos mediante algunas formulas específicas.

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

No se ha considerado.

### **6. VERIFICACIONES DE SEGURIDAD.**

#### **6.1 Separación de Edificaciones. [7.8, 7.8.1 a 7.8.3]**

La separación de junta mínima en cada nivel de las construcciones adyacentes no será menor que la suma de los valores absolutos de sus correspondientes desplazamientos laterales máximos ni menor que:

$$J = 5 + 0,5(H - 10) \geq 5 \text{ cm}$$

donde:

$J$  es el ancho de la junta en cm.

$H$  es la altura de la edificación en metros.

## **6.2 Requerimientos para Diafragmas Horizontales. [6.7]**

La deformación en el plano del diafragma no excederá la deformación permisible de los elementos ligados a él. La deformación permisible será la que permita que los elementos unidos al diafragma mantengan su integridad estructural bajo sus cargas individuales y continúen soportando las cargas del diseño.

## **6.3 Requerimientos para Cimientos. [8, 8.1 a 8.5 y Cuadro 8.1]**

Este capítulo incluye los requisitos para el diseño sismorresistente de la subestructura de edificaciones y estructuras de ingeniería civil, las cuales se consideran formadas por los cimientos, sean superficiales o profundos, y por su respectivo refuerzo. Así mismo, incluye las especificaciones para los muros de contención, y aquellos que corresponden a taludes o pendientes cercanas a edificaciones.

## **6.4 Consideraciones de P-Δ. [7.5 y 7.6]**

Será necesario considerar los efectos de segundo orden de P – Δ como momentos y fuerza sismorresistente cuando en cualquier nivel de la edificación el valor del índice de estabilidad calculado exceda 0.1.

Cuando el límite establecido es excedido en algún nivel de la edificación, la fuerza sismorresistente que actúa en cada uno de estos niveles será incrementada multiplicándola por un factor de amplificación.

## **6.5 Componentes No Estructurales. [6.9 y Cuadro 6.7]**

Serán diseñados para resistir la fuerza sísmica total de acuerdo con:

$$F_p = A I C_p W_p \text{ en kN.}$$

donde:

$F_p$  es la fuerza sísmica total, en kN.

$W_p$  es el peso del elemento o componente, en kN.

$C_p$  es el coeficiente dado en el [Cuadro 6.7], adimensional.

Nota: "A" e "I" tienen el mismo significado que en (6.4).

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

No se ha considerado.

## **6.7 Efectos de Carga Sísmica Ortogonal. [6.8]**

Para cada piso o nivel, las fuerzas laterales debidas a la suma de 100% de los efectos del terremoto actuando en la dirección analizada y de 30% de los efectos del terremoto actuando en la dirección normal a la anterior y viceversa, serán calculados tomando el mayor de los resultados del análisis.

## **6.8 Efectos de Licuefacción. [8.6, 8.6.1, y Cuadro 8.2, y Figura 8.1 a 8.3]**

Cuando hay estructuras ubicadas en las áreas sísmicas 1, 2, o 3 y donde el suelo presenta capas de espesor significativo formadas por arenas o arenas limosas no muy densas debajo del nivel freático, en los primeros 20 metros del depósito, se evaluará la licuefacción potencial.

En el epígrafe [8.6.1], se definen tres diferentes criterios.

## **7. EDIFICIOS RESIDENCIALES PEQUEÑOS.**

No se ha considerado.

## **8. PREVISIONES PARA EDIFICACIONES EXISTENTES. [9, 9.1 a 9.5]**

En el [Capítulo 9] se definen todos los requisitos para garantizar la seguridad a estructuras existentes.

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

**La Norma Sísmica de Cuba puede ser considerada una norma moderna a pesar de que algunos temas no han sido considerados, pero otros, tales como los efectos de licuefacción, se han tomado en cuenta. Quizás se pueden añadir algunas pequeñas modificaciones para mejorar la Norma.**