

EVALUACIÓN DE CÓDIGO SÍSMICO

(Original: Ingles)

NICARAGUA

Evaluación llevada a cabo por Guillermo Santana

NOMBRE DEL DOCUMENTO: “Reglamento de Construcción que regirá el Territorio Nacional”

AÑO: 1983

COMENTARIOS GENERALES: Documento elaborado por un comité técnico bajo la supervisión del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos del Gobierno de Reconstrucción Nacional de la República de Nicaragua.

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. [Art. 1]

La norma se aplica al diseño y construcción de edificaciones nuevas, así como a la reparación y readaptación de facilidades existentes. El mismo incluye prescripciones de carga para terremoto, viento y también sedimentaciones de cenizas volcánicas, con la zonificación asociada.

1.2 Objetivos del Desempeño. [Art. 1]

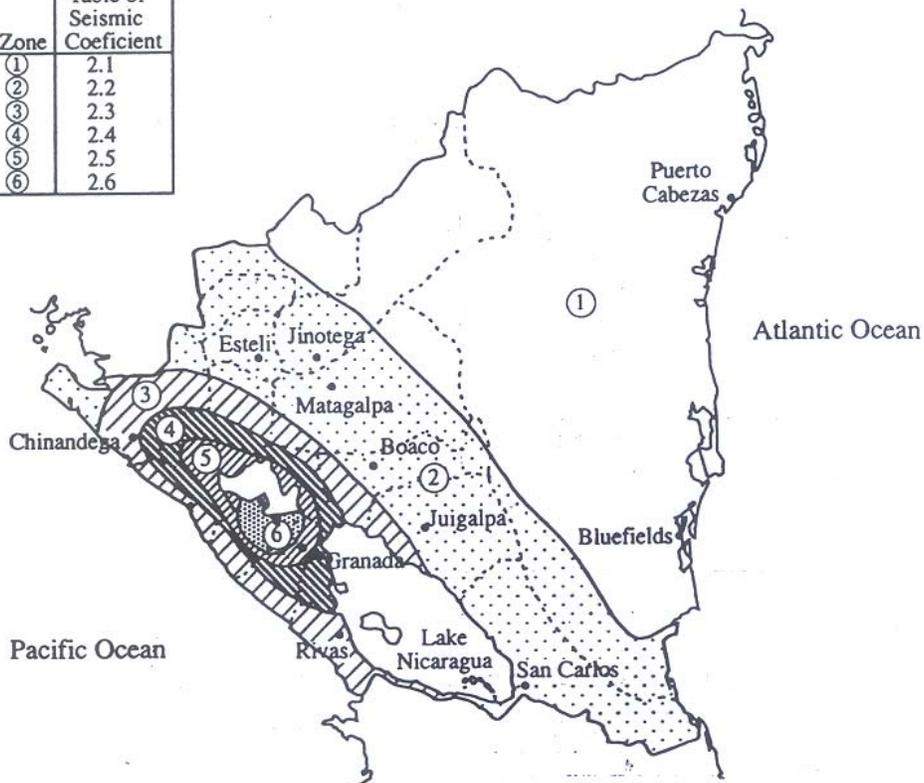
Los objetivos del desempeño se describen como: a) evitar la pérdida de vidas y reducir la posibilidad de daño físico a personas; b) resistir los temblores de tierra más pequeños sin daños; c) resistir los terremotos moderados con daños estructurales leves y daños no estructurales moderados; d) evitar el hundimiento de edificaciones causado por grandes terremotos, reduciendo los daños a niveles económicamente admisibles y e) resistir efectos del viento y otras acciones accidentales sin daño.

2. ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y CARACTERIZACIÓN DE SITIO

2.1 Zonificación Sísmica (Calidad de Datos). [Art. 22]

El país está dividido en seis zonas sísmicas. Se asigna el nivel más bajo a la mitad nororiental del país. Esta área, que se muestra en el mapa de abajo, cubre 80 por ciento del litoral caribeño y todas las tierras bajas de esa región. La otra la mitad del país está dividida en las cinco zonas adicionales, que aumentan en intensidad a medida que rodean el Lago de Managua y la ciudad capital del mismo nombre. El mapa es una derivación del propuesto en un Estudio de Riesgo Sísmico para Nicaragua dirigido en 1975 por el Centro de Terremotos John Blume en la Universidad de Stanford, California, EE.UU. Este estudio fue contratado después del devastador terremoto del 23 de Diciembre, de 1972 con epicentro bajo Managua que mató a más de 8,000 personas. Se presta atención considerable a ese evento. Es de interés particular notar que la zona de subducción no se juzga como una fuente más severa de terremoto en esta zonificación propuesta. Otro hecho importante es que la mayoría de la población estaba localizada en las zonas 5 y 6 en el momento de publicación de este documento. Otros eventos importantes han tenido lugar después de la publicación de este documento como es el caso del terremoto y tsunami de 1992 que afectó a Rivas, cerca de la frontera con Costa Rica, mostrada en el mapa.

Zone	Table of Seismic Coefficient
①	2.1
②	2.2
③	2.3
④	2.4
⑤	2.5
⑥	2.6



2.2 Niveles de Intensidad Sísmica. [Art. 11]

Se consideran tres niveles de intensidad sísmica. Aunque no se declara explícitamente, a una ocupación normal se le asigna un nivel de grupo II (intensidad sísmica), la ocupación especial se nombra grupo I y se le asigna un incremento variable en la intensidad dependiendo de la zonificación (21% a 45%, donde, cuanto mayor es el riesgo menor es el incremento). El grupo II incluye facilidades esenciales y de alto riesgo. Finalmente, el grupo III incluye estructuras aisladas, bodegas, graneros, silos y facilidades similares. Para ellos se asigna un factor de reducción que está entre el rango de 85% y 91% del valor dado para el grupo II. Estos factores se presentan implícitamente en los [Cuadros 9 a 14].

2.3 Consideraciones de Falla Cercana.

Ninguna consideración de falla cercana se proporciona en este documento.

2.4 Requisitos de Sitio. [Art. 23]

Se establecen tres tipos de suelo. Se dan definiciones de suelo suave, mediano y duro en términos de profundidad de estratos y número de soplos o arrastres N . En situaciones donde las propiedades del suelo no son conocidas en detalle suficiente para determinar el tipo de perfil de suelo, se utilizará el perfil de suelo mediano. Para los sitios propensos a licuación, no se permite el uso de tipos de suelo definidos en el [Art. 23]. Los tres tipos de suelo ayudan a definir el contenido de frecuencia del paquete del espectro de respuesta de aceleración.

2.5 Clasificación de Sitio. [Art. 23]

Se dan definiciones de sitio y los coeficientes asociados en el cuadro siguiente

Cuadro 1. Coeficientes de Sitio	
Tipo	Descripción
Duro	Un perfil de suelo ya sea con : (a) Roca de cualquier tipo, dura y consistente o suave o meteorizada, o (b) Condición de suelo rígido o denso donde la profundidad de suelo es menor de 60 m, $N > 50$, para suelos no cohesivos y $N > 30$ para suelos cohesivos.
Mediano	Un perfil de suelo donde la profundidad del suelo excede 60 m ya sea con: (a) Arena o grava de compactación mediana a alta ($50 > N > 21$), o (b) Limos y/o arcilla medianamente rígidos a rígidos ($30 > N > 9$).
Suave	Un perfil de suelo que contiene 10 m de espesor de ya sea: (a) arcillas suaves a medianamente rígidas con o sin capas intermedias de suelos no cohesivos o cohesivos ($2 < N < 8$) (b) suelos no cohesivos flojos a firmes ($0 < N < 20$)

2.6 Aceleraciones Pico en Tierra (Horizontales y Verticales). [Art. 22]

Se definen aceleraciones pico en tierra horizontales en términos del coeficiente C que se presenta en [Cuadros 9 a 14], como una función del tipo de la estructura, ocupación y calidad de construcción [Cuadros 1 y 2]. Las aceleraciones pico están en el rango de 0.026g en Zona 1 a 0.452g en

Zona 6 para ocupación normal. El componente vertical de movimiento de tierra no es considerado en estas regulaciones.

3. PARÁMETROS PARA LA CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL

3.1 Ocupación e Importancia. [Art. 11]

Se definen tres categorías. I facilidades Esenciales/Alto Riesgo y Ocupación Especial ($1.21 < I < 1.45$); II Estructuras de Ocupación Normal ($I = 1.0$); III Estructuras de Ocupación Miscelánea ($0.84 < I < 0.91$) que incluye lo siguiente:

Cuadro 3. Grupos de Ocupación	
Grupos de Ocupación	Tipo de Ocupación o Función de la Estructura
I	<p>Facilidades Esenciales / Alto Riesgo y Ocupación Especial</p> <p>Hospitales y otras facilidades que tienen áreas de cirugía y tratamiento de emergencia o grandes facilidades de almacenaje para suministros médicos; estaciones de bomberos y policía; tanques u otras estructuras que contienen, alojan, o sostienen agua u otros materiales o equipo para combatir incendios requeridos para la protección de facilidades esenciales o de alto riesgo, o estructuras de ocupación especial; mercados públicos; plantas de tratamiento de aguas negras; plantas generadoras de energía, incluyendo líneas de transmisión y subestaciones; edificios de los gobiernos local y nacional; cárceles; estadios; estructuras y equipo en los centros de comunicación y otras facilidades requeridas para respuesta a emergencias; emisoras de radio; estructuras que alojan, sostienen o contienen cantidades suficientes de sustancias tóxicas, explosivas o radiactivas; edificios de alta ocupación destinados a asamblea pública; edificios para escuelas o centros de cuidado durante el día; museos; terminales de transporte aéreo y terrestre; bibliotecas; estructuras que alojan artículos especialmente costosos.</p>
II	<p>Estructuras de Ocupación Normal</p> <p>Los edificios de alta ocupación destinados a asamblea pública (Iglesias, Cines, Auditorium, Mercados); edificios de baja frecuencia de alta ocupación tales como: Hoteles, Edificios de Oficinas, Fábricas, Bancos, Edificios Comerciales, Restaurantes, Residencias, Facilidades Clínicas, Estaciones de Servicio para Vehículos. Todas las otras estructuras cuyo derrumbe puede poner en peligro estructuras listadas en grupos I o II.</p>
III	<p>Estructuras de Ocupación Miscelánea</p> <p>Todas las estructuras aisladas no clasificadas en ninguno de los grupos anteriores tales como bodegas, estructuras comerciales de menos de 100 m², talleres de reparación, graneros, silos, postes, cercos,. Todas las otras estructuras cuyo derrumbe no pondrá en riesgo estructuras listadas en grupos I o II.</p>

3.2 Sistemas Estructurales. [Art 12]

Se definen cinco sistemas estructurales y un valor K se asigna a cada uno. Este valor K es un *factor de calidad de sistema* que identifica el nivel aceptable de la demanda de deformación inelástica. Así mismo, las limitaciones de altura especificadas como límites sobre el número de pisos se asignan a cada sistema.

Cuadro 4. Tipos Estructurales		
Tipo Estructural	Sistema de Resistencia de Fuerza Lateral —Descripción	K
1	Únicamente marcos dúctiles de resistencia de momento.	0.67
2	Combinación de marcos dúctiles de resistencia de momento y muros sismorresistentes.	0.80
3	Combinaciones de marcos no dúctiles de resistencia de momento y muros sismorresistentes.	1.00
4	Estructuras de uno o dos pisos hechas de muros sismorresistentes.	1.17
5	Únicamente muros sismorresistentes o marcos reforzados.	1.33
6	Todas las estructuras no clasificadas como tipos 1 a 5.	1.67
7	Tanques elevados.	2.00

3.3 Regularidad Estructural: [Art 10, 14, 30 y 39]

El artículo 10 establece que, como una condición para mejorar el desempeño sísmico de edificaciones, debería tomarse en consideración la simetría en masa y las distribuciones de rigidez y la elusión de cambios abruptos en la resistencia lateral. Más adelante, en el [Art. 14], se utilizan requisitos de simetría para asignar un grado a cada sistema estructural según se define en el [Cuadro 1]. Regularidad Estructural se define en la parte inferior del [Cuadro 1] como sigue: *Simétrica (sic)* cuando la excentricidad es igual o menor que 10%, *Simetría Regular (sic)* cuando la excentricidad está entre 10% y 20%. El [Art. 30] define límites de excentricidad para la consideración de efectos Torsionales cuando se usa el método estático equivalente. El [Art. 39] establece un procedimiento para la consideración de cambios bruscos en la resistencia lateral sólo como una reducción en las tensiones permitidas en el diseño.

3.4 Redundancia Estructural.

No se ha considerado explícitamente.

3.5 Ductilidad de elementos y componentes. [Art. 10, 12, 35] [Art. 10]

Se establece como un lineamiento conceptual que el diseño debería basarse en consideraciones de ductilidad para garantizar mejor desempeño estructural. Más adelante, en el [Art. 12] se establece que los requisitos de ductilidad especial se aplican a marcos de concreto reforzado resistentes a momento para la **Zona 6**. Así mismo, en el [Art. 35] se proveen lineamientos para la determinación de fuerzas de diseño para elementos y juntas de los tipos estructurales 2 y 3 conforme al diseño de resistencia final. El documento no hace referencia alguna a los requisitos de ductilidad para materiales de construcción específicos.

4. ACCIONES SÍSMICAS

4.1 Espectros de Respuesta Elásticos (Horizontales y Verticales).

Se definen las acciones sísmicas en términos de la masa y rigidez de la estructura. Se dan tres métodos para los cálculos numéricos. Estos son el método simplificado [Art. 29], el método estático equivalente [Art. 30] y el método dinámico [Art. 31]. Los espectros de respuesta elásticos son definidos para ambos métodos de análisis, el equivalente estático y el

dinámico. En el primer caso un factor de reducción $D = (\lambda/T)^{0.5}$, donde λ es 0.5 para suelos medianos y duros, para $T > 0.5$ s. y 0.8 para suelos suaves, para $T > 0.8$ s, se prescribe como factor de modificación para el conjunto de coeficientes sísmicos C dados en los [Cuadros 9 a 14]. Para el segundo caso se aplica una reducción lineal adicional en el coeficiente sísmico C a estructuras con periodo T menor que 0.1 s. De manera que el coeficiente es finalmente reducido a la mitad para $T = 0$. Estos coeficientes representan el valor superior para las fuerzas sísmicas como función de zona sísmica, ocupación, tipo estructural y grado.

4.2 Espectros de Diseño. [Art. 33]

Los Espectros de Diseño se definen en términos del valor d_T el cual es una función de los coeficientes K y D definidos en el [Art. 12] y [Art. 23] respectivamente. Esta relación está dada como $K = D/d_T$ y sigue las recomendaciones dadas en el estudio de riesgo sísmico para Nicaragua mencionado en (2.1).

4.3 Representación de historias del tiempo de aceleración.

No se han considerado historias del tiempo de aceleración explícitamente.

4.4 Desplazamiento de Tierra del Diseño.

El desplazamiento de tierra del diseño no está explícitamente considerado.

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

5.1 Combinaciones de Carga incluyendo los Efectos de Carga Sísmica Ortogonal.

Combinaciones de Carga se dan en el [Art. 32] como:

- a) Diseño de Resistencia Final.

$$C_1^u = 1.7(CM + CV)$$

$$C_2^u = (CM + CV) + S \text{ o } P$$

$$C_3^u = 0.8CM + S$$

- b) Diseño de Tensión Permisible.

$$C_1^e = CM + CV$$

$$C_2^e = CM + CV + 0.71S \text{ o } P$$

$$C_3^e = 0.80CM + 0.71S$$

donde CM = Carga muerta
 CV = Carga viva
 S = Acción sísmica horizontal
 P = Presión o fuerza de viento

Los Efectos de Carga Sísmica Ortogonal son considerados en el [Art. 25] donde se establece que para los tipos estructurales 1, 2 y 3, los elementos verticales y sus cimientos deben ser diseñados para 100% del efecto en una dirección más 30% de la carga vertical debido a la acción sísmica en la dirección ortogonal. Para el tipo estructural 7 y todas las estructuras similares, éstas deben ser diseñadas para 100% del efecto en una dirección más 50% de la carga vertical debido a la acción sísmica en la dirección ortogonal.

5.2 Procedimientos de Análisis Simplificado y Diseño.

Se da un procedimiento de análisis simplificado en el [Art. 29] para edificaciones de menos de 12 m de altura. Así mismo, la edificación debe cumplir con lo siguiente: a) para cada nivel, al menos 75% de las cargas verticales serán llevadas por muros unidos por diafragmas rígidos, donde los muros podrán ser construidos con concreto reforzado, mampostería encerrada o reforzada, según las especificaciones del material de construcción correspondiente; b) para cada nivel y cada dirección de análisis, debería haber al menos dos muros paralelos o casi paralelos (formando un ángulo de menos de 20°), donde la junta entre cada muro y el diafragma rígido debería cubrir al menos 50% de la longitud de la edificación en la dirección de los muros, así mismo estos muros deberían no tener una diferencia de más de 70% en su longitud, estar hechos del mismo material y estar colocados en lados opuestos; c) la dimensión de altura a la base más pequeña no debería exceder 1.5; d) la proporción de longitud a anchura de la base no debería ser mayor que 2.0, excepto en los casos en que para propósitos sísmicos, la estructura podrá ser considerada como constituida por módulos separados que satisfacen esta condición así como los requisitos del [Art. 29]; e) estructuras de madera de hasta 6 m de altura, con diafragmas flexibles que cumplan con las Normas Técnicas emitidas por el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos del Gobierno de Reconstrucción de Nicaragua.

5.3 Procedimientos del Método Estático.

Se prescribe un Método Estático Equivalente en el [Art. 30]. La fuerza total es distribuida a través de la altura de la estructura conforme a las siguientes relaciones, para el nivel i

$$F_i = \alpha \frac{W_i h_i}{\sum_{i=1}^n W_i h_i} S$$

para el nivel superior

$$F_n = \frac{W_n h_n}{\sum_{i=1}^n W_i h_i} \alpha S + (1 - \alpha) S$$

$\alpha = 1$ cuando $T \leq 0.5$ s.
 $\alpha = 0.95$ cuando $0.5 \leq T \leq 1.0$ s.
 $\alpha = 0.90$ cuando $T \geq 1.0$ s.

$$S_i = \sum_{j=i}^n F_j$$

donde:

- α = Coeficiente para distribución de fuerza de sismorresistencia a través de la altura de la edificación.
- F_i = Fuerza horizontal aplicada en el nivel i .
- h_i = Altura del nivel i medida desde la base.
- W_i = Peso del piso i calculado conforme al [Art. 32].

5.4 Métodos de Superposición Modal. [Art. 31]

Es requerido cuando no se permite el Método Estático Equivalente. El número de modos debería ser al menos tres o todos los modos cuyo periodo modal excede 0.4 s. La combinación modal se hará utilizando el procedimiento de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) para estimar los valores máximos resultantes.

5.5 Métodos No Lineales.

No se prescriben Métodos No Lineales en este documento.

5.6 Consideraciones Torsionales. [Art. 30]

Se requiere como parte del Método Estático Equivalente y no podrá ser menor que una torsión accidental causada por incertidumbres en la ubicación de cargas (5 por ciento de la dimensión de la edificación).

5.7 Limitaciones de Desvío. [Art. 34]

El desvío de piso es calculado como $\delta' = d_T \delta$ donde δ es el desplazamiento horizontal del centro de masa obtenido por análisis elástico sin consideración de torsión y usando el coeficiente d_T asignado para cada tipo estructural listado en [Art. 34] y reproducido abajo

Tipo	K	d_t
1	0.67	3.00
2	0.80	2.50
3	1.00	2.00
4	1.17	1.70
5	1.33	1.50
6	1.67	1.20
7	2.00	1.00

El desvío de piso calculado no excederá los valores dados en el cuadro siguiente, bajo la previsión de que ventanas, fachadas y otros adornos frágiles sean ubicados de manera que se evite daño debido a distorsión.

Desvío de Piso Permissible	
Tipo de Edificación	Limitación de Desvío
Estructura de mampostería	0.003h
Estructura de concreto	0.006h
Estructura de acero	0.009h
h la altura de piso a piso	

5.8 Consideraciones de Interacción Suelo-Estructura.

No se ha hecho consideración de la interacción suelo-estructura.

6. VERIFICACIONES DE SEGURIDAD.

6.1 Separación de Edificaciones. [Art. 38]

Todas las estructuras estarán separadas de estructuras adyacentes por una distancia igual a 5 cm en cada nivel i , pero por no menos que $4\delta'$ calculado con respecto a la base y donde δ' se toma de acuerdo al [Art. 34].

6.2 Requerimientos para Diafragmas Horizontales. [Art. 6 & 12]

Se requiere que los diafragmas de piso y techo cumplan con la siguiente condición:

$$F = \frac{\Delta_w \times 10^6}{2.2qL} \leq 1.0$$

donde F es el factor de rigidez del centro del diafragma, Δ_w es la desviación debido a sismorresistencia aplicada en el centro del diafragma en cm, q es la sismorresistencia promedio en el diafragma en kg/m a través de una longitud L . Para losas de concreto reforzado es posible aplicar la siguiente formula:

$$F = \frac{7.5 \times 10^6}{t \sqrt{W^3 f'_c}} \leq 1.0$$

donde t es el espesor de la losa en cm, W es el peso del concreto en kg/m³ pero mayor que 1450 kg/m³, f'_c es la resistencia de compresión del concreto a los 28 días en kg/cm², y F es el factor de rigidez en micro-cm/m de longitud libre para y para sismorresistencia por unidad en kg/m. Como se afirmó en (3.2), el [Art. 12] define los diferentes tipos estructurales permisibles. Ahí se hacen las recomendaciones específicas para la utilización de diafragmas flexibles versus rígidos. Los diafragmas flexibles son permisibles para el tipo estructural 1 únicamente para edificaciones de hasta 3 pisos con la condición de que los marcos dúctiles sean diseñados para fuerzas laterales calculadas utilizando la anchura tributaria por marco. Para el tipo estructural 2, diafragmas flexibles para edificaciones de hasta 3 pisos también son permisibles con la condición de que haya al menos un muro conectado a los marcos en cada eje de cada piso de la edificación y que también sean diseñados para fuerzas laterales calculadas considerando la anchura tributaria. El tipo 3 requiere diafragmas rígidos, a pesar de que la definición no deja

en claro si para edificaciones de hasta 3 pisos es permisible usar diafragmas flexibles con la condición mencionada anteriormente. El tipo 4 claramente permite el uso de diafragmas flexibles y finalmente, el tipo 5 claramente afirma que este tipo de estructuras tendrá diafragmas rígidos.

6.3 Requerimientos para Cimientos. [Art. 37]

Este artículo da una recomendación para el diseño de cimientos que no está sustentada en ningún tipo de análisis numérico. Simplemente dice que el diseño debería prevenir asentamientos diferenciales, especialmente en suelos de capacidad de tolerancia baja. Se hace referencia a un documento acompañante titulado Normas Técnicas para Fundaciones al cual este revisor no tuvo acceso durante la evaluación.

6.4 Consideraciones de P-Δ.

Efectos de $P-\Delta$ no son considerados explícitamente en este documento.

6.5 Componentes No Estructurales. [Art. 36]

Se dan requisitos en forma de una fuerza sísmica de diseño simplificado para partes y porciones de estructuras y sus accesorios, componentes permanentes no estructurales y sus accesorios, y los accesorios para equipo permanente sostenido por una estructura. La fuerza sísmica de diseño lateral total es $F_p = C_p W_p$ donde C_p se define en el [Art. 36] y un cuadro de valores mínimos también se provee en el mismo artículo.

6.6 Previsiones para el Aislamiento de la Base.

No se hacen provisiones para el Aislamiento de la Base.

7. EDIFICIOS RESIDENCIALES PEQUEÑOS

Edificios residenciales pequeños son aquellos considerados en este documento como los que consisten de sistemas de resistencia lateral de Tipo Estructural 4 [Art. 12]. Conforme al [Art. 28] este tipo de edificios puede ser analizado usando el *método simplificado* [Art. 29]. No se da consideración a torsión, momento de volcamiento ni desvío para este método de análisis.

8. PREVISIONES PARA EDIFICACIONES EXISTENTES

Se dan provisiones para las edificaciones existentes únicamente en cuanto a que requiere que cualquier readaptación hecha debería cumplir con el mismo nivel de fuerzas prescrito para nuevas edificaciones el cual obviamente es muy alto para la mayoría de las facilidades existentes. Así mismo, se hacen provisiones para la asignación de ductilidad limitada para edificaciones existentes que están siendo readaptadas.

RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL CÓDIGO

El comité redactor en Nicaragua merece un gran elogio por la producción de este documento bajo condiciones de mucha dificultad durante 1983. Sin embargo la presente evaluación ha revelado que las previsiones nicaragüenses actuales necesitan ser actualizadas urgentemente. No se incluye ninguna sección de comentario ni se intenta proporcionar información de antecedentes en forma de Observaciones al final del Capítulo IV donde un ejemplo de cálculo de fuerzas laterales se presenta. Esto claramente debería ir en una sección de Comentarios que lamentablemente hace falta. Por el lado positivo, se debe tomar en cuenta el hecho de que esta Norma incluye previsiones para facilidades residenciales pequeñas y también considera cargas ocasionadas por sedimentaciones de ceniza provenientes de actividad volcánica. Esta característica hace falta en todos los documentos centroamericanos consultados.