

# Propuesta de adaptación del documento ASCE/SEI31-03, "Evaluación sísmica de edificaciones existentes"

## Proposal to adapt ASCE/SEI31-03 "Seismic evaluation of existing buildings"

PAULO MARCELO LÓPEZ PALOMINO<sup>1</sup> - PEDRO NEL QUIROGA<sup>2</sup> - NANCY TORRES CASTELLANOS<sup>3</sup>

1. Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería.
2. Doctor en Estructuras y director del Centro de Estudios de Estructuras y Materiales. Profesor asociado de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
3. Magíster en Estructuras y doctora en Ciencia y Tecnología de Materiales. Profesora asociada de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

paulo.lopez@mail.escuelaing.edu.co – pedro.quiroga@escuelaing.edu.co - nancy.torres@escuelaing.edu.co

Recibido: 18/04/2017 Aceptado: 31/07/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)  
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

### Resumen

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, es esencialmente un código de diseño y construcción de edificaciones nuevas, aunque contiene algunas secciones dedicadas a la evaluación y reforzamiento de edificaciones diseñadas y construidas antes de la vigencia del reglamento. Existen otras metodologías desarrolladas específicamente para la evaluación y el reforzamiento sísmico de edificaciones, como la "Evaluación sísmica de edificaciones existentes" ASCE/SEI 31-03, y cuyo uso es aceptado por la NSR-10. Esta metodología presenta ventajas respecto a códigos de diseño, entre las que se puede señalar que no adoptan un valor único global de capacidad de disipación de energía para toda la estructura, sino que consideran un valor para cada elemento, dependiendo de si su comportamiento es frágil o dúctil, así como su capacidad de deformación.

Con la premisa de que es importante que los ingenieros colombianos cuenten con una metodología alterna para la evaluación sísmica, como la ASCE/SEI 31-03, en este artículo se presentan las diferencias significativas entre esta metodología y la del NSR-10.

**Palabras claves:** evaluación sísmica, rehabilitación sísmica, vulnerabilidad sísmica, edificaciones existentes.

### Abstract

Colombian Seismic Design and Construction Code, NSR-10, is essentially a code intended for new buildings, although it contains some sections on evaluation and retrofitting of existing buildings. There are other methodologies specifically developed for the evaluation and seismic rehabilitation of existing buildings, such as "Seismic evaluation of existing buildings", ASCE / SEI 31, and "Seismic rehabilitation of existing buildings", ASCE / SEI-41, whose use is allowed by the NSR-10. These methodologies have advantages over design codes which may not adopt a global unique value of energy dissipation for the full structure but have considered a value for each element depending on whether their behavior is brittle or ductile, as well as the deformation capacity.

With the premise that it is important for Colombian engineers to have an alternative methodology for seismic evaluation, as is the ASCE/SEI 31-03, this article describes the significant differences between this methodology and the NSR-10.

**Keywords:** seismic evaluation, seismic rehabilitation, seismic vulnerability, existing buildings.

## INTRODUCCIÓN

La metodología de evaluación e intervención de construcciones existentes se estipula en el capítulo A.10 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente, NSR-10. El procedimiento consiste en evaluar la demanda y la capacidad de la estructura, comparando las sollicitaciones equivalentes del reglamento con la resistencia efectiva de la estructura y las deflexiones verticales y las derivas de piso obtenidas contra los desplazamientos permitidos.

El NSR-10 da la posibilidad de realizar los estudios de evaluación y rehabilitación sísmica empleando metodologías alternas, como “Seismic Evaluation of Existing Buildings” de la American Society of Civil Engineers (ASCE/SEI 31-03) y NEHRP “Handbook for Seismic Evaluation of Existing” FEMA 178.

En ese sentido, la metodología ASCE/SEI31-03 para la evaluación de edificaciones existentes, además de valorar los requisitos de resistencia y rigidez, tiene en cuenta la configuración estructural y los detalles básicos de ductilidad en un proceso de evaluación, que consta de tres fases: fase 1 (Inspección), fase 2 (Evaluación) y fase 3 (Evaluación detallada).

Con la aplicación de la metodología ASCE/SEI31-03, se determina si la edificación cumple con el objetivo de desempeño seleccionado; de esta manera, se escoge el procedimiento de intervención o rehabilitación sísmica más adecuado para los elementos que presenten deficiencias.

### COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA ASCE/SEI31-03, “EVALUACIÓN SÍSMICA DE EDIFICACIONES EXISTENTES” CON EL NSR-10

El propósito de esta norma es dar una guía a los diseñadores estructurales que efectúan la evaluación, para que determinen si un edificio está adecuadamente diseñado y construido para resistir las fuerzas sísmicas; en ese sentido, se establece la vulnerabilidad sísmica de una edificación existente a través de tres fases de evaluación de orden progresivo.

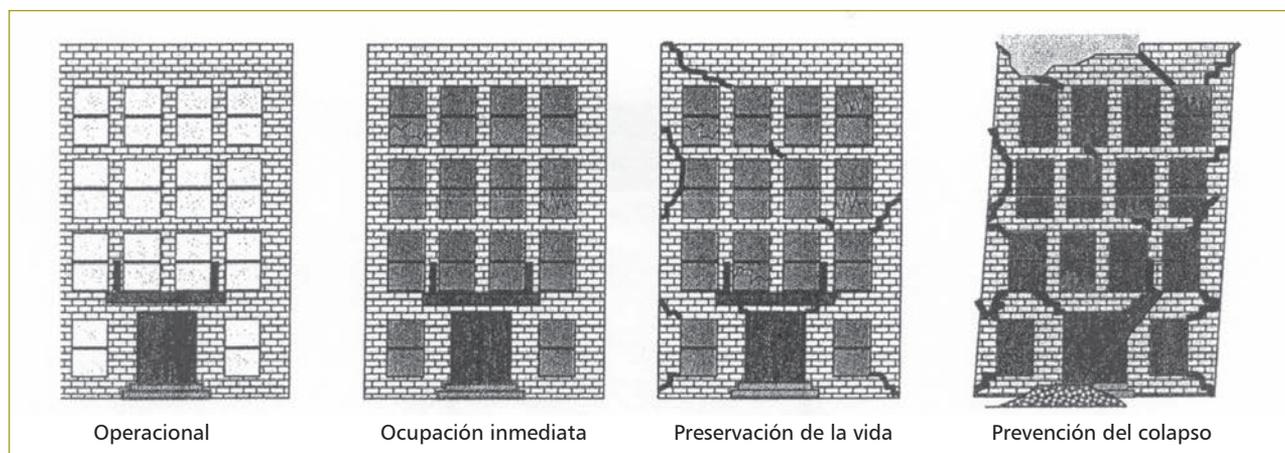
#### Generalidades

La metodología ASCE/SEI31-03, que se fundamenta en el diseño basado en el desempeño sísmico, consiste en la selección de esquemas de evaluación apropiados

que permitan el cálculo de dimensionado y detalle de los componentes estructurales, no estructurales y contenidos, de manera que, para unos niveles de movimiento del terreno determinados y con ciertos niveles de fiabilidad, los daños en la estructura no deberán superar ciertos estados límites (Bertero, 2000).

El nivel de desempeño se refiere a los daños esperados de una edificación conforme al sismo utilizado. En el informe del Comité Visión 2000 de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (Seacoc, por su sigla en inglés), se definieron los siguientes niveles de desempeño:

- **Operacional (O).** Se esperan daños mínimos, por lo que la edificación permanece apta para su uso normal, no hay deflexiones permanentes y la estructura mantiene su resistencia y rigidez iniciales.
- **Ocupación inmediata (IO).** Se pronostica poco daño tanto de los elementos estructurales como de los no estructurales, no hay deflexiones permanentes y se requerirán algunas reparaciones menores, pero las partes críticas de la edificación son habitables. La estructura mantiene la mayor parte de su resistencia y rigidez inicial.
- **Preservación de la Vida (LS).** Los daños de la estructura son importantes, pero se mantiene un margen contra el colapso estructural, ya sea parcial o total; pueden producirse lesiones, pero se espera que el riesgo total de amenaza para la vida como resultado de un daño estructural sea bajo. Aunque la estructura dañada no es un riesgo inminente de colapso, sería prudente instalar arriostramientos temporales antes de volver a ocupar el edificio, con el fin de implementar las reparaciones estructurales.
- **Prevención del colapso (CP).** Los daños son tan importantes que el edificio está al borde de un colapso parcial o total. Se ha producido un daño sustancial a la estructura, incluyendo la degradación significativa en la rigidez y la resistencia del sistema de resistencia de fuerza lateral, grandes deformaciones permanente laterales de la estructura, y (en un grado limitado) la degradación de la capacidad de transporte de carga vertical. Sin embargo, todos los componentes importantes del sistema de resistencia de carga vertical pueden seguir transportando las cargas. Existe riesgo significativo de lesiones debido a los peligros de la caída de escombros. Es posible



**Figura 1.** Niveles de desempeño de la edificación (Portland Public Schools -KPF Project No. 209193) (2009).

que no se pueda reparar la estructura y no es seguro volver a ocuparla (Portland Public Schools-KPFF Project N.º 209193) (2009).

En la figura anterior (figura 1) se ilustra el daño esperado de la edificación para los niveles de desempeño.

En el documento ASCE/SEI 31-03 se aplica la metodología para los niveles de desempeño, ocupación inmediata (IO) y preservación de la vida (LS).

El NSR-10 no hace referencia directamente a niveles de desempeño, pero los utiliza implícitamente mediante el coeficiente de importancia (I), que tiene como objeto amplificar la aceleración espectral ( $S_a$ ) para contar con fuerzas sísmicas más grandes. El coeficiente I está en función del uso de la edificación, en cuanto que en el NSR-10 se definen cuatro grupos de uso: indispensables (IV), de atención a la comunidad (III), ocupación especial (II) y ocupación normal (I). La aplicación del coeficiente I pretende llevar a las edificaciones de uso indispensable al nivel de desempeño de ocupación inmediata, y las de ocupación normal al nivel de desempeño de preservación de la vida.

La ASCE 31-03 considera el máximo sismo para una probabilidad de excedencia de 2%/50 años (periodo de retorno de 2500 años). El NSR-10 considera un sismo máximo de 10%/50 años (periodo de retorno de 475 años). Sin embargo, la ASCE 31-03 hace una aclaración con respecto a este tema al indicar que el diseñador o el propietario de la edificación o la autoridad reguladora podrían considerar el uso del valor del 10%/50 años, porque la mayoría de los códigos de edificaciones nuevas utilizan dicho parámetro.

Adicionalmente, el NSR-10, en su cap. A.10.3, permite ajustar la probabilidad de excedencia del 20%/50 años para rehabilitación sísmica para el rango de desempeño de seguridad limitada y está en función de la aceleración pico efectiva reducida ( $A_e$ ), caracterizada para cada región del país. Y para los movimientos sísmicos de umbral de daño el sismo considerado es de 20%/50 años (grupos de IV-III), para la determinación de la operatividad de la edificación en el rango elástico después de ocurrir el sismo de diseño.

### Metodología de evaluación

La edificación se debe clasificar dentro de una de las quince tipologías que define la ASCE 31-03 para materiales de madera, acero estructural, concreto armado y mampostería, incluyendo elementos prefabricados:

El NSR-10 reconoce cuatro tipos de sistemas estructurales, y toda edificación o cualquier parte de ella debe quedar clasificada allí. La tipología de concreto prefabricado de la ASCE 31-03 es la única que no se incluye explícitamente en el NSR-10.

La evaluación se hace en tres fases de complejidad creciente:

- Fase 1. Evaluación simplificada
- Fase 2. Evaluación
- Fase 3. Evaluación detallada

### Fase 1 (Evaluación simplificada)

Esta fase consiste en tres grupos de listas de verificación que permiten una evaluación rápida de los elementos es-

**Tabla 1**  
Listas de verificación requeridas (ASCE 31-03)

Zona de amenaza sísmica	Nivel de Desempeño	Listas de verificación requeridas						
		Zona de amenaza baja	Estructural básica	Estructural complementaria	Cimentaciones y sitios de riesgo geológico	No estructural básica	No estructural intermedia	No estructural complementaria
Baja	LS	▶						
	IO		▶		▶	▶		
Moderada	LS		▶		▶	▶		
	IO		▶	▶	▶	▶	▶	
Alta	LS		▶	▶	▶	▶	▶	
	IO		▶	▶	▶	▶	▶	▶

tructurales y no estructurales de la edificación, así como de las condiciones del sitio. El propósito de esta fase es identificar rápidamente edificios que cumplen con los requisitos o, por el contrario, deficiencias potenciales de otros edificios. El nivel de análisis es mínimo, y muchos cálculos se pueden hacer en forma aproximada y rápida.

Una vez clasificada la edificación, la ASCE 31-03 indica que se deben completar unas listas de verificación de los componentes de la edificación (tabla 1). Además, hay una categoría llamada “zona de amenaza sísmica baja” que se emplea para las edificaciones que se encuentran en esas zonas.

Las listas de verificación familiarizan a los diseñadores con la edificación y sus posibles deficiencias y su comportamiento sísmico. Por ejemplo, la lista de verificación estructural contiene los siguientes puntos por evaluar:

- Sistema de construcción: verificación de la geometría, discontinuidades, irregularidades (torsión - piso débil - flexible).
- Sistema de resistencia de fuerza lateral: comprobaciones de esfuerzo cortante y axial.
- Conexiones: verificación de los detalles de las uniones o conexiones.

La lista de verificación de los elementos no estructurales incluye particiones, cielos rasos, accesorios de iluminación, acristalamientos, enchapes, parapetos, cornisas, chimeneas, escaleras, equipos eléctricos y mecánicos, tuberías, almacenamiento de materiales peligrosos, ascensores, equipamiento de la edificación (archivadores).

Para el análisis del sistema de resistencia lateral, utiliza el pseudocortante lateral que representa la fuerza que se requiere en un análisis estático lineal para imponer la deformación real esperada de la estructura en su estado de fluencia para el sismo de diseño. En función de este parámetro se comprueba la resistencia y rigidez de la edificación utilizando ecuaciones aproximadas, entre las que se destacan:

- Deriva de piso de pórticos a momento:

$$D_r = \left( \frac{k_b + k_c}{k_b k_c} \right) \left( \frac{b}{12E} \right) V_c \quad (1)$$

$D_r$  = relación de deriva: desplazamiento entre pisos dividido por la altura del piso.

$k_b$  = I/L para la viga representativa.

$k_c$  = I/h para la columna representativa.

$b$  = altura del piso (mm).

$I$  = momento de inercia (mm<sup>4</sup>).

$L$  = longitud de viga centro a centro a las columnas adyacentes (mm).

$E$  = módulo de elasticidad (MPa).

$V_c$  = cortante en la columna (N).

- Esfuerzo cortante en columnas de pórtico de concreto:

$$v_j^{avg} = \frac{1}{m} \left( \frac{n_c}{n_c - n_f} \right) \left( \frac{V_j}{A_c} \right) \quad (2)$$

$n_c$  = número total de columnas.

$n_f$  = número total de pórticos en dirección de la carga.

$A_c$  = suma del área de la sección transversal de todas las columnas en el piso en consideración.

$V_j$  = cortante de piso en el nivel  $j$  (N).

$m$  = factor de modificación de elemento; se tomará igual a 2,0 para las edificaciones evaluadas para el nivel de desempeño de preservación de la vida e igual a 1,3 para ocupación inmediata.

- Esfuerzo cortante en muros:

$$v_j^{avg} = \frac{1}{m} \left( \frac{V_j}{A_w} \right) \quad (3)$$

$V_j$  = cortante de piso en el nivel  $j$  (N).

$A_w$  = suma del área de sección transversal horizontal de todos los muros a cortante en dirección de la carga. Se tendrán en cuenta las aberturas al computar  $A_w$ . Para muros de mampostería, se usará el área neta. Para los muros de pórticos de madera, se utilizará la longitud en lugar del área.

$m$  = se obtendrá de la tabla 2.

**Tabla 2**  
Factores  $m$  para muros a cortante

Tipo de muro	Nivel de desempeño	
	LS	IO
Concreto reforzado, concreto prefabricado, madera y mampostería reforzada	4,0	2,0
Mampostería no reforzada	1,5	N/A

- Arriostramiento diagonal:

$$v_j^{avg} = \frac{1}{m} \left( \frac{V_j}{sN_b r} \right) \left( \frac{L_{br}}{A_{br}} \right) \quad (4)$$

$L_{br}$  = longitud promedio entre arriostramientos (mm).  
 $N_{br}$  = número de arriostramientos en tensión y compresión si los arriostramientos están diseñados para compresión; número de diagonales en tensión si los arriostramientos están diseñados sólo para tensión.

$s$  = longitud promedio de vano arriostrado (mm)

$A_{br}$  = área promedio del arriostramiento diagonal (mm<sup>2</sup>).

$V_j$  = máximo cortante de piso en cada nivel (N).

$m$  = se tomará de la tabla 3.

**Tabla 3**  
Factores  $m$  para arriostramientos diagonales

Tipo de arriostramiento	$d/t^1$	Nivel de desempeño	
		LS	IO
2 Tubo	$< 621/(F_{ye})^{1/2}$	6,0	2,5
	$> 1310/(F_{ye})^{1/2}$	3,0	1,5
2 Tubería	$< 10342/F_{ye}$	6,0	2,5
	$> 41370/F_{ye}$	3,0	1,5
Sólo tensión		3,0	1,5
Todos los demás		6,0	2,5

Relación profundidad - espesor.

La interpolación se usará para tubos y tuberías.

$F_{ye}$  = 1,25  $F_y$ ; esfuerzo de fluencia esperado.

- Conexiones de prefabricados:

$$M_{gj} = \frac{V_j}{m} \left( \frac{1}{n_c - n_f} \right) \left( \frac{b}{2} \right) \quad (5)$$

$n_c$  = número total de columnas.

$n_f$  = número total de pórticos en dirección de la carga.

$V_j$  = cortante de piso en el nivel inmediatamente debajo de la conexión en consideración.

$b$  = altura típica de columnas del piso.

$m$  = se tomará igual a 2,0 para el nivel de desempeño de preservación de la vida e igual a 1,3 para ocupación inmediata.

- Esfuerzo axial debido al volcamiento:

$$P_{at} = \frac{1}{m} \left( \frac{2}{3} \right) \left( \frac{V_{b_n}}{L n_f} \right) \left( \frac{1}{A_{col}} \right) \quad (6)$$

$n_f$  = número total de pórticos en dirección de la carga.

$V$  = seudofuerza lateral.

$b_n$  = altura (mm) por encima de la base hasta el nivel del techo.

$L$  = longitud total del pórtico (mm).

$m$  = se tomará igual a 2,0 para preservación de la vida e igual a 1,3 para ocupación inmediata.

$A_{col}$  = área del extremo de la columna del pórtico.

El NSR-10 no contiene listas de verificación para los componentes de las edificación ni ecuaciones aproximadas que permitan evaluar preliminarmente la resistencia y rigidez de la edificación, pero menciona en el cap. A.10.2 que se deben hacer investigaciones o exploraciones a la estructura de los siguientes aspectos:

documentos descriptivos del diseño de la estructura y cimentación; calidad de la construcción; estado de conservación; evidencia de deflexiones, corrosión de armaduras y fallas locales; asentamientos de la cimentación y su efectos en la estructura, y las modificaciones que pudieron haber afectado la integridad de la estructura, como explosiones, incendios, sismos, remodelaciones, aumentos de cargas y otras modificaciones.

### Fase 2 (Evaluación)

Se presentan dos opciones para realizar la evaluación en esta fase: sólo para los elementos que presentaron deficiencias en la fase 1 o para toda la edificación. Los métodos de análisis sísmico que se pueden emplear son el estático lineal, dinámico lineal, método especial para muros portantes de mampostería no reforzada con diafragmas flexibles y método para elementos no estructurales (para este último, indica pruebas de resistencia para los materiales).

Los métodos lineales representan una idea aproximada del comportamiento no lineal de la estructura, pero ignoran la redistribución de esfuerzos en el campo plástico y otros efectos no lineales. Los métodos dinámicos se basan en el uso de valores reales de aceleración espectral, resultante de los propios espectros de respuesta, y no se reduce por el coeficiente de disipación de energía.

Los criterios de aceptación se fundamentan en confrontar las acciones de cada elemento, que pueden ser de dos tipos: controladas por deformación (elementos dúctiles) o por fuerza (elementos frágiles).

- Para las acciones controladas por deformación (ejemplo, flexión en vigas):

$$Q_{CE} \geq Q_{UD}/m \quad (7)$$

$Q_{CE}$  = resistencia esperada.

$Q_{UD}$  = acciones de cargas gravitacionales y cargas sísmicas.

$$Q_{CE} = 1,25 R_n$$

- Para las acciones controladas por fuerza (ejemplo, cortante en vigas):

$$Q_{CN} \geq Q_{UF} \quad (8)$$

$Q_{CN}$  = resistencia nominal.

$Q_{UF}$  = acciones de cargas gravitacionales y cargas sísmicas.

Para limitar la capacidad de ductilidad de los elementos controlados por deformación se emplean unos factores de modificación  $m$ , porque con el cálculo del pseudocortante basal, la estructura experimenta esfuerzos mayores de los que realmente desarrollaría; por lo tanto, los factores  $m$  reducen la capacidad para la respuesta no lineal. Se establecen para cada tipo de elemento a lo largo de la estructura y material, al contrario que el factor de disipación de energía  $R$  de los códigos de construcciones nuevas, lo cual es conveniente en evaluación y reforzamiento porque la ductilidad no es uniforme, sino que varía entre los diversos elementos o incluso en distintos puntos de un elemento o para diferentes acciones en una sección dada de un elemento.

El NSR-10 utiliza el factor  $R'$  (coeficiente de disipación de energía) de acuerdo con el sistema estructural y la información disponible. Este factor  $R'$  se basa en una filosofía de diseño ampliamente aceptada, que considera la respuesta no lineal de la estructura cuando ésta se somete a un sismo de diseño; los desplazamientos de la edificación calculados mediante las fuerzas sísmicas reducidas por el factor  $R'$  son inferiores a las que el edificio experimentaría durante el sismo de diseño (ASCE 31-03) (2003).

El factor  $R'$  se aplica a todo el sistema estructural sin distinguir el comportamiento frágil de algunos elementos, pretendiendo establecer que la edificación tendrá una ductilidad uniforme. El  $R'$  parte de la premisa de que las deformaciones en el rango elástico son las mismas en el rango inelástico bajo el mismo nivel de carga (principio de deformaciones iguales) para periodos largos; para periodos cortos, utiliza el principio de igualdad de energía. A mayor  $R'$ , la estructura alcanza prematuramente la fluencia y genera mayor ductilidad, lo que indica que sí hay disipación de energía pero con daños residuales (Ruiz, 2012). Es decir, que la estructura debe degradarse más rápido si quiere disipar energía.

Los criterios de aceptación de la NSR-10 están basados en hacer una comparación entre la demanda y la capacidad de los elementos estructurales, por medio de la definición de los índices de sobreesfuerzo y de flexibilidad.

El análisis de la vulnerabilidad consiste en expresar la vulnerabilidad como fracción de la rigidez (1/índice de flexibilidad) y de la resistencia (1/índice de sobreesfuerzo). Estos parámetros indican el porcentaje de rigidez y de resistencia respectivas que tendría la edificación

que se está evaluando en relación con una construcción nueva y para el sismo de diseño. Los criterios de aceptación son favorables cuando estos cocientes son mayores que 1.

### **Fase 3 (Evaluación detallada)**

Es posible evaluar únicamente los elementos que presentaron deficiencias en las evaluaciones de fase 1 o 2, o en su defecto toda la edificación. El diseñador tendrá el juicio de realizar una evaluación más detallada cuando encuentre que las evaluaciones de la fase 1 o 2 son conservadoras (debido a los factores simplificadores que usan) y habría una ventaja económica de uno o de otro tipo con respecto a una evaluación más detallada.

Se debe tener un cuidado especial en la aplicación de los procedimientos disponibles para efectuar una evaluación detallada porque se utilizan disposiciones que no están hechas para la evaluación sísmica, como las del ASCE 41-06 o del ATC-40, que son normas para el diseño de la rehabilitación sísmica. Además, se pueden emplear métodos de análisis sísmico no lineal.

La ASCE 31-03 indica que los niveles de fuerza se reducen por un factor de 0,75 por las siguientes razones: a) la resistencia real de los elementos será mayor que la utilizada en la evaluación; b) en un edificio existente no es necesario tener el mismo nivel de factor de seguridad como en un edificio nuevo porque la vida útil puede ser inferior.

El NSR-10 señala, en su apéndice A.3, que se puede utilizar el método estático no lineal (*push-over*) y establece su procedimiento. Dicho apéndice no es de carácter obligatorio y se ha incluido con el fin de que se estudie preliminarmente, para adoptarlo en ediciones futuras del reglamento si se considera conveniente.

Por último, debido a que en Colombia la disponibilidad de información existente para realizar evaluación sísmica y su posterior procedimiento de rehabilitación no proporciona una orientación prescriptiva para la evaluación de las construcciones existentes, se hace necesario promover una propuesta basada en el documento ASCE/SEI 31-03, con miras a enriquecer los elementos que contiene el reglamento NSR-10, que le permitan al ingeniero estructural contar con una mayor variedad de herramientas (criterios - procedimientos) de orientación acerca de los detalles, deficiencias y comportamientos usuales de los tipos de edificaciones comunes observa-

dos ante sismos pasados para los niveles de desempeño de preservación de la vida y ocupación inmediata.

Adoptar la metodología de la evaluación sísmica de construcciones existentes contribuye al avance del país en la promoción de soluciones para la rehabilitación estructural en todos los niveles de amenaza sísmica. No debemos olvidar que el primer reglamento sismorresistente se puso en vigencia en Colombia en 1984, por lo que muchas de las construcciones anteriores a ese año, no cumplen con requisitos de sismorresistencia.

### **CONCLUSIONES**

Según la norma ASCE/SEI 31-03, la metodología de evaluación sísmica es adecuada para su uso en los edificios de Colombia porque proporcionan un procedimiento ordenado, pedagógico y exhaustivo. La evaluación sísmica contiene varios niveles de evaluación con diferentes grados de complejidad, aplicados para una variedad de tipos de estructuras y de materiales. El análisis sísmico tiene en cuenta la ductilidad diferenciada en toda la edificación para cada elemento y en función del material del tipo de acción.

De igual manera, la metodología ASCE/SEI 31-03 tiene en cuenta procedimientos para elementos no estructurales, cimentaciones y riesgos geológicos. Sin embargo, requiere un mayor grado de comprensión por parte de los profesionales del diseño y a veces puede ser confusa por la falta de datos específicos.

Cabe destacar la importancia que le da a la evaluación de elementos no estructurales (ecuaciones para criterios de aceptación), que son los más vulnerables bajo un sismo, y en el país no se les presta la atención necesaria.

Los criterios de aceptación de la metodología ASCE/SEI 31-03 permiten estudiar de una manera más precisa el comportamiento de la edificación en el rango inelástico. Da herramientas para la toma de decisiones de un óptimo sistema de rehabilitación sísmica, traducidas en ahorro (costos en la reconstrucción). Además, es compatible con el ASCE/SEI 41-06, "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings".

El procedimiento de la NSR-10 para la evaluación y rehabilitación sísmica utiliza principios elementales en metodología aplicable al diseño de nuevos edificios, como el uso del factor de disipación de energía asumido uniforme para toda la edificación. La aplicación de la metodología NSR-10 carece de medidas específicas de

evaluación y rehabilitación, por lo que el procedimiento queda a juicio del diseñador. En este procedimiento sólo se considera un nivel de excitación (BSE-1 (10 %/50 años), por lo que se deben definir espectros de diseño que tengan la siguiente probabilidad de excedencia: 50 %/50 años, 20 %/50 años y el 2 %/50 años.

La futura actualización de la NSR deberá incluir un apéndice que contenga una adaptación de las metodologías ASCE/SEI 31-03 y 41-06, para que los diseñadores del país las estudien preliminarmente, con el fin de adoptarlas en ediciones futuras del reglamento si se considera conveniente.

Esta metodología contribuye a la ingeniería del país para que se mejoren las prácticas constructivas y los estudios de evaluación sísmica (vulnerabilidad).

## REFERENCIAS

- American Society of Civil Engineers (ASCE) (2004). Seismic Evaluation of Existing Buildings. Reston, Va: ASCE/SEI 31-03.
- American Society of Civil Engineers (ASCE) (2007). Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. Reston, Va: ASCE/SEI 41-06.
- Bertero, V.V. (2000). Seismic engineering: conventional vs. innovative approach. 12WCEE. Berkeley: Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- López, P. (2014). Traducción del documento ASCE/SEI31-03, "Evaluación sísmica de edificaciones existentes" y comparación metodológica con el NSR-10. Trabajo de grado de maestría. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Olejua, F. (2012). Propuesta de traducción y adaptación a Colombia de la norma ASCE/SEI 41-06, "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings". Trabajo de grado de maestría. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Portland Public Schools (PPS) (2009). Seismic Study of Existing School Facilities. KPFF Project N.º 209193.
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente, NSR-10 (2010). Ley 400 de 1997 (modificada Ley 1229 de 2008). Decreto 926 del 19 de marzo de 2010. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Ruiz, D.M. (2012). Edificios de concreto reforzado siguiendo la NSR-10 vs. sismo de Quetame registrado en Bogotá, D.C. *Ingeniería y Ciencia - ing.cienc.*, [S.l.], vol. 8, N.º 16, pp. 129-189, nov. 2012.