

CAPÍTULO 4

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA SÍSMICA DE ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES (I_N)

4.1 INTRODUCCIÓN

El índice de resistencia sísmica de elementos no estructurales I_N , es un índice que define o evalúa, con base en el nivel de seguridad o riesgo que represente para la vida humana, la inestabilidad de elementos no estructurales. Dentro de estos elementos, principalmente los muros exteriores, se revisará su estabilidad ante el daño que les haya provocado la incidencia de un sismo, y se evaluará el daño que represente para lastimar una vida humana, o ser obstáculo para usar el inmueble como albergue.

Existen procedimientos de evaluación de primer, segundo y tercer orden, cada uno de los cuales se realizará para cada nivel y cada dirección de la estructura, con base en los cuales se calculará el índice I_N .

Comentarios

El índice de comportamiento ante sismo de elementos no-estructurales, en realidad, deberá estar definido para todos los tipos de esta clase de elementos; sin embargo, considerando la gran variedad de los mismos resulta una tarea extremadamente difícil de realizar. Por lo tanto esta norma considera como elementos no-estructurales únicamente a los muros exteriores de fachada. Esta clasificación se determinó debido a que la falla o colapso de un muro exterior de fachada, tiene posibilidad de generar alto riesgo de daño en personas que transiten por calles aledañas al edificio, o bien personas que estén evacuando el edificio.

El establecimiento de una clasificación de evaluación desde primer hasta tercer nivel, es con el fin de ser congruentes con el proceso evaluatorio de la estructura en sí. Sin embargo, en lo referente a sistemas o elementos no-estructurales, el procedimiento de evaluación se sustentará básicamente en el procedimiento de segundo nivel, con la posibilidad de usar el procedimiento simplificado de primer nivel, o bien cambiar al del tercer nivel con base en la inspección de campo pertinente y el gran número de variables que se involucre.

Respecto a las características de comportamiento ante sismo de elementos no-estructurales, después de la publicación de la primera edición de la presente norma, se han realizado comparativamente un gran número de investigaciones experimentales y analíticas, cuyos resultados se han tratado de incluir adecuadamente en el código de diseño de estructuras nuevas¹⁾²⁾, así como en los códigos de evaluación de estructuras existentes³⁾⁴⁾. Sin embargo, no existen ejemplos de inspección o investigación que verifique la adecuación de estos métodos recientes. Por ello en la revisión de esta norma (1990), no existe una modificación significativa en el contenido de la misma.

En una publicación paralela, la guía de aplicación de la norma, no se consideran los resultados de investigaciones recientes dentro del procedimiento de evaluación pero se plantea un método diferente que lo relaciona con los resultados de la evaluación del sistema

estructural Se constituye en un procedimiento aplicable a edificaciones con poca rigidez lateral y mucha edad o baja capacidad de deformación de los elementos no-estructurales

4.2 MÉTODO DE EVALUACIÓN DE PRIMER NIVEL

4.2.1 Introducción

Según el procedimiento de primer nivel, el índice de resistencia sísmica de elementos no estructurales I_N , se calculará con la ecuación 4.1, para cada nivel y dirección del edificio.

$$I_N = 1 - B \cdot H \quad (4.1)$$

donde, B : factor de estructuración
H : factor de nivel de efecto

Sin embargo, con respecto a la aplicación de la ecuación 4.1, los valores para los factores B y H para la dirección en estudio, se considerarán iguales a aquellos relacionados con los muros exteriores (representando el mayor valor de B), que constituyen los elementos con mayor posibilidad de falla dependiendo de la estructuración propuesta.

4.2.2 Procedimiento de cálculo del parámetro de tipo estructural B

El factor de estructuración B, se determinará con la ecuación 4.2, con base en los factores de deformación simulada f y el factor de condición actual t .

$$B = f + (1 - f)t \quad (4.2)$$

(1) Factor de deformación simulada f

El factor de deformación simulada f , se determina conforme se indica en la tabla 4.2.1, con base en el grado de capacidad de deformación de la estructura (g_s) y el grado de capacidad de deformación de los elementos no estructurales (g_N).

Los valores de g_s y g_N , se obtendrán de las tablas 4.2.2 y 4.2.3, respectivamente.

Tabla 4.2.1 Coeficiente correspondiente a deformación, f

Elemento no estructural		Estructura	
		Rígido ← g_s → Flexible	
		I	II
Rígido ↑ g_N ↓ Flexible	I	0.5	1.0
	II	0	0.5

Tabla 4.2.2 Grado de capacidad de deformación de la estructura (g_s)

g_s		Características de la estructura
Rígido ↑ ↓ Flexible	I	Estructura con poca capacidad de deformación, por ejemplo edificio con un gran número de columnas cortas
	II	Estructura con gran capacidad de deformación, por ejemplo edificio con escasez de muros estructurales

Tabla 4.2.3 Grado de capacidad de deformación de elementos no-estructurales (g_N)

g_N		Estructuración de los elementos no estructurales
Rígido ↑	I	Elemento con poca capacidad de deformación, por ejemplo bloques de concreto, bloques de vidrio, ventanas con poca holgura, piedra pegada mosaico adherido, mortero de material orgánico, paneles prefabricados, etc.
↓ Flexible	II	Elemento con gran capacidad de deformación, por ejemplo metales, muros divisorios prefabricados, divisiones móviles, mosaicos móviles, etc.

(2) Factor de condición actual t

El factor de condición actual t , se determinará conforme a la tabla 4.2.4, con base en la historia de problemas que haya presentado el inmueble.

Tabla 4.2.4 Factor de condición actual t

Historia de problemas	t
Existe, o bien es incierto	1.0
No existe	0.5

4.2.3 Procedimiento de cálculo del parámetro de nivel de impacto H

El parámetro que determina el nivel de impacto, H , se determinará conforme a la tabla 4.2.5, con base en la existencia de restricciones como son las restricciones y condiciones del subsuelo, las condiciones y restricciones de altura del inmueble y manejo de luz solar, etc.

Tabla 4.2.5 Parámetro de nivel de impacto H

Ambiente	Objeto de control	
	No hay	Hay
Caminos y calles (incluye caminos privados y plazas)	1.0	0.3
Otros	0.5	0.1

Comentarios

El procedimiento de primer nivel, aunque es un método simple de evaluación, define con claridad y cierta precisión las características de comportamiento ante sismo de elementos no-estructurales que presenten un comportamiento altamente satisfactorio. Ante ellos no es necesario el empleo del procedimiento de segundo nivel. Si como resultado del procedimiento de primer nivel se obtiene un valor alto del índice I_N , se puede excluir el uso del procedimiento de segundo nivel y concluir que el sistema de elementos no-estructurales presentan características de comportamiento ante sismo suficientemente adecuadas. Sin embargo, cuando producto del procedimiento de primer nivel se reporte un valor del índice I_N bajo, no significa que necesariamente empleando el procedimiento de segundo nivel también el valor del índice I_N resultará bajo.

El procedimiento de primer nivel, debido a que es una simplificación del procedimiento de segundo nivel, es conservador (numéricamente se subvalúa el valor del índice I_N). Por lo tanto, en la mayoría de los casos, se puede pensar que el valor del índice I_N calculado por el

procedimiento de primer nivel será menor que el reportado por el procedimiento de segundo nivel

El procedimiento de primer nivel, debido a ser una adecuación simplificada del procedimiento de segundo nivel, se omite la explicación de su contenido.

4.3 MÉTODO DE EVALUACIÓN DE SEGUNDO NIVEL

4.3.1 Introducción

Según el procedimiento de segundo nivel, el índice de resistencia sísmica de elementos no estructurales I_N , se calculará con la ecuación 4.3, para cada nivel y dirección del edificio.

$$I_N = 1 - \frac{\sum_j B_j W_j H_j L_j}{\sum_j L_j} \tag{4.3}$$

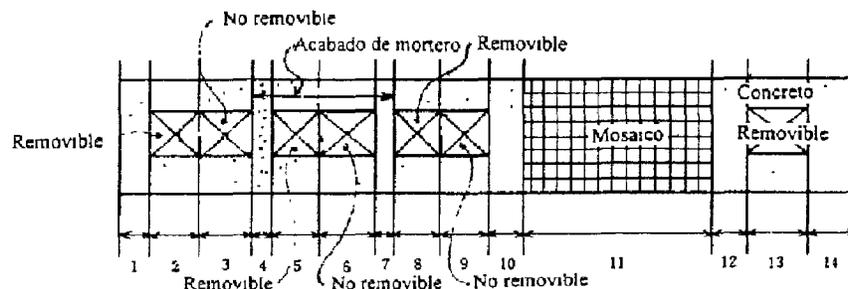
- donde, B_j : Factor de estructuración
- W_j : Factor de área
- H_j : Factor de nivel de impacto
- L_j : Longitud unitaria de la dirección de estudio

Comentarios

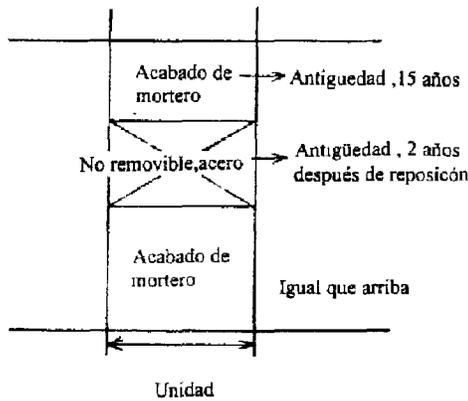
Tanto la ecuación 4.1 del procedimiento de primer nivel, como la ecuación 4.3 del procedimiento de segundo nivel presentan un término del tipo (1-). La razón de ello se explica enseguida.

El daño o colapso de elementos no-estructurales, no depende únicamente de las características del proceso de diseño dependerá entre otros aspectos de las características del procedimiento constructivo, del nivel de intemperismo al que se encuentre sometido, etc. En realidad es de gran dificultad determinar las características de comportamiento ante sismo de este tipo de elementos. Por ello primero se considera apropiado determinar un límite superior de falla potencial (donde se considera adecuado $\sum B W H L / \sum L$). Entonces, considerando como base este valor potencial de falla y, tratando de presentar las mismas características con que se definió el índice de comportamiento estructural ante sismo I_S , se plantea una configuración del tipo (1-).

En el procedimiento de segundo nivel, los muros se clasifican por unidades dependiendo de las características de los materiales conformantes, realizándose conforme se ejemplifica enseguida



Las clasificaciones de elementos se hicieron de manera que representaran los procedimientos constructivos con mayor facilidad de falla; e igualmente de tratar de identificar los tipos de daño predominantes en los recientes eventos sísmicos, suponiendo que se pudieran presentar en los futuros eventos. Por lo tanto, se deberá evaluar el procedimiento empleado para cada superficie de muro y calcular el índice de procedimiento constructivo *B* correspondiente. Se considerará el mayor de los valores de *B* como el representativo del edificio en cuestión. Sin embargo, comprendiendo el contenido de las tablas 4.3.3 y 4.3.4 de la sección 4.3.2, se considera que se reduce la dificultad de identificar intuitivamente el procedimiento constructivo empleado para cada muro en cuestión. En seguida se presenta un ejemplo ilustrativo.



(Cuerpo principal $g_s=3$, no hay problemas en su historia. $g_H=3$)

$g_N=2$ $f=0.8$ $g_Y=3$ $t=0.3$

$g_N=1$ $f=0.9$ $g_Y=1$ $t=0$

donde, g_Y es el grado de edad (conforme 4.3.2)

Respecto al mortero : $B=0.8+(1-0.8) \cdot 0.3=0.86$

Respecto al material inamovible : $B=0.9+(1-0.9) \cdot 0=0.90$

Por lo tanto en este caso, en cuanto a los elementos individuales,

el representativo del edificio será las ventanas inamovibles, siendo $B=0.9$.

4.3.2 Procedimiento de cálculo del parámetro de tipo estructural *B*

El factor de estructuración *B*, se determina con la ecuación 4.4 con base en el factor de deformación simulada *f*, y el factor de condición actual de la estructura, *t*.

$$B = f + (1 - f) t \tag{4.4}$$

(1) Factor de deformación simulada *f*.

El factor de deformación simulada *f*, se determina conforme se indica en la tabla 4.3.1, con base en el grado de capacidad de deformación de la estructura (g_s) y el grado de capacidad de deformación de los elementos no estructurales (g_N).

Tabla 4.3.1 Factor de deformación simulada *f*

Elemento no estructural		Estructura			
		Rígida ← g_s → Flexible			
		1	2	3	4
Rígido ↑ g_N ↓ Flexible	1	0.3	0.8	0.9	1.0
	2	0	0.3	0.8	0.9
	3	0	0	0.3	0.8
	4	0	0	0	0.3

Los valores de g_s y g_N , se obtendrán de las tablas 4.3.2 y 4.3.3, respectivamente.

(2) Factor de condición actual t

El factor de condición actual t, se determina conforme la tabla 4.3.4, con base en el grado de la historia de los problemas g_H conjuntamente con el grado de edad del inmueble g_V .

Tabla 4.3.2 Grado de capacidad de deformación de la estructura (g_S)

g_S		Características de la estructura	Valor del índice F
Rígido ↑	1	Estructuras con escasa capacidad de deformación, por ejemplo edificaciones controladas por comportamiento sumamente frágil	0.8
	2	Estructuras con capacidad de deformación pobre, por ejemplo edificaciones controladas por comportamiento de cortante en columnas y muros estructurales	1.0
	3	Estructuras con capacidad de deformación, por ejemplo edificaciones controladas por comportamiento de flexión en columnas y muros estructurales	1.3
Flexible ↓	4	Estructuras con suficiente capacidad de deformación, por ejemplo edificaciones controladas por comportamiento de flexión en columnas y muros, en las que se tomaron las medidas adecuadas para incrementar la capacidad de deformación de elementos y estructura	3.0

Tabla 4.3.3 Grado de capacidad de deformación de elementos no-estructurales (g_N)

g_N		Estructuración de los elementos no estructurales (ejemplos de muros, puertas, aberturas y acabados exteriores)		
Rígido ↑	1	Elemento con escasa capacidad de deformación, relacionados con estructuraciones convencionales		
		Bloques de concreto, bloques de vidrio	Ventanas con poca holgura, marcos de ventana de acero	Piedra adherida
	2	Estructuras con menor capacidad de deformación, relacionadas con estructuraciones actuales, con sistemas de aire acondicionado		
Paneles prefabricados		Ventanas con poca holgura	Mosaico adherido, mortero de material orgánico	
Flexible ↓	4	Estructuras con gran capacidad de deformación, relacionadas con estructuras prefabricadas, estructuras a base de muros colados en sitio y estructuras monolíticas		
		Morteros, muros divisorios prefabricados	Divisiones móviles	Mosaicos móviles
Flexible ↓	4	Estructura donde no se presenta desprendimiento y caída de objetos, relacionado con estructuras donde se tomaron las consideraciones especiales y adecuadas para lograr un buen comportamiento ante sismo		
		Estructura monolítica de muros estructurales colados en sitio	Estructura sin aberturas	Perforaciones

Tabla 4.3.4 Factor de condición actual t

Historia de problemas y su grado g _H		Edad de la estructura y su grado g _y		
		1	2	3
		~ 3 años	3 ~ 10 años	10 años ~
1	Estructura con problemas en su historia y que no fue reparada	1.0	1.0	1.0
2	Estructura con historia de problemas incierta	0.2	0.3	0.5
3	Estructura sin problemas en su historia, estructura reparada totalmente	0	0.2	0.3

Comentarios

Para determinar el índice de procedimiento constructivo (ecuación 4.2) en el procedimiento de primer nivel), en la ecuación 4.4 se trata de dar una configuración equivalente a las variables f y t, de manera que cualquiera de ellas que indique una condición desfavorable, esté asociada a que la falla estará dominada por el comportamiento de esta variable. Los valores de f y t serán mayores a mayor nivel de peligro; por lo tanto puede pensarse que el índice B también representara el nivel de peligro que se tenga en el edificio. Por otro lado, pensando en las características de comportamiento ante sismo, y con el propósito de ser más comprensible el planteamiento, la ecuación 4.4 se puede expresar de la siguiente manera.

$$I-B = \frac{(1-f)}{\text{Comportamiento ante sismo considerando un estado de deformación del edificio}} \times \frac{(1-t)}{\text{Comportamiento ante sismo considerando la condición actual}}$$

Con respecto a los valores de deformación asumida, f, presentados en la tabla 4.3.1 si la capacidad de deformación de los elementos no-estructurales es aproximadamente igual a los desplazamientos y deformación de respuesta del sistema estructural, se tomará el valor de 0.3; si la respuesta del sistema estructural es menor, se tomara el valor de 0. Cuando la respuesta del sistema estructural es mayor que la capacidad de deformación de los elementos no-estructurales, la posibilidad de daño o falla es grande, por lo que los valores de consideraran entre 0.8 y 1.0

Los grados de capacidad dúctil del sistema estructural, presentado en la tabla 4.3.2, y de la capacidad de deformación de los elementos no-estructurales, presentado en la tabla 4.3.3, se dividen en cuatro rubros.

El valor del índice g_s para la estructura, en realidad es un valor correspondiente a la respuesta de deformación de entrepiso en la estructura. Tratar de inferir el valor de la respuesta estructural es una tarea difícil, por lo que en la presente norma se substituye éste por el valor de la capacidad de ductilidad que presente la estructura. Por lo tanto, el valor calculado del índice F, empleado para determinar el índice de comportamiento ante sismo de la estructura I_s, se considerara como estándar, y establece la posibilidad de determinar el valor del índice g_s.

El grado de capacidad de deformación de los elementos no-estructurales g_N , se clasifica en cuatro rubros con base en la experiencia reportada en daños por sismos previos, así como en resultados experimentales. El grado número cuatro, es el caso excepcional cuando no se espera ningún tipo de daño.

Valores correspondientes a los grados g_5 y g_N , en cuanto a la dimensión del desplazamiento relativo de entrepiso tolerable, equivale a 1/500 para el grado 1, 1/250 para el grado 2, 1/125 para el grado 3 y 1/60 para el grado 4

La historia de problemas en el edificio repercute en el valor del índice de la condición del mismo principalmente si ha tenido problemas de desprendimiento y caída de mosaico, o si se han presentado problemas de daño aun sin la ocurrencia de un sismo. Esto puede considerarse como un decremento en la capacidad de deformación de este tipo de elementos, y de esa manera se trata de reflejar en el índice de procedimiento constructivo

4.3.3 Procedimiento de cálculo del parámetro de área W

El factor de área, W, se determina conforme la ecuación 4.5

$$W = a + b \frac{h_j}{h_i} \quad (4.5)$$

donde, $a=0.5$;

$b=0.5$;

h_j : longitud de la altura de la parte donde se tiene el procedimiento constructivo apropiado (m);

h_i : altura de entrepiso estándar=3.5 m

Comentarios

El índice de área W, trata de incorporar en el proceso de evaluación el parámetro de la dimensión de la zona dañada. Sin embargo, en la presente norma en lugar de representar la dimensión del área dañada, puede pensarse que trata de representar la importancia de la zona o elemento donde se presentó el daño o colapso. Por lo tanto, el valor de W no se plantea proporcional al área, sino se emplea en la forma de adicionar un factor de incremento ($b h_j/h_i$), según el área, en el valor básico "a".

Dentro de la ecuación, el valor de h_i trata de eliminar los errores por diferencias en alturas de entrepiso, y se determino el valor de 3.5 metros para la altura de todos los entrepisos.

4.3.4 Procedimiento de cálculo del parámetro de nivel de impacto H

El factor de nivel de impacto, H, se determina conforme a la ecuación 4.6, con base en el factor ambiental e y el factor de restricción c.

$$H = \sum_i e_i c_i \quad (4.6)$$

En cuanto a la aplicabilidad de la ecuación 4.6, los valores de $e_k c_k$ tratan de representar el área de influencia de la proyección horizontal del edificio considerando el ángulo de influencia del mismo (se considerará la proyección, desde la parte superior de la estructura, como una diagonal con un ángulo de inclinación 2:1). Se deberán sumar todos aquellos conceptos que se encuentren dentro de dicha área de influencia. Sin embargo, cuando dentro del área de influencia considerada, se tengan valores diversos y diferentes de e_k y c_k , se considerará el mayor valor resultado del producto de ambos $e_k c_k$.

(1) Factor ambiental e .

El factor ambiental, e , se determinará conforme se indica en la tabla 4.3.5, con base en la consideración de la superficie de proyección de la estructura, apropiada en cuanto a impacto ambiental (analizando si existe o no posibilidad de presencia de personas).

(2) Factor de control c

El factor de control, c , se determina a partir de la tabla 4.3.6, con base en las condiciones de luz solar hacia la calle y la existencia de objetos de control o supresión.

Tabla 4.35 Factor ambiental e

Ambiente	e
Camino público	1.0
Camino privado, pasajes dentro de estructuras, pasillos, plazas, barandales	0.7
Espacios abiertos donde se permita el acceso a personas	0.2
Espacios abiertos o edificios vecinos donde no se permita el acceso a personas	0

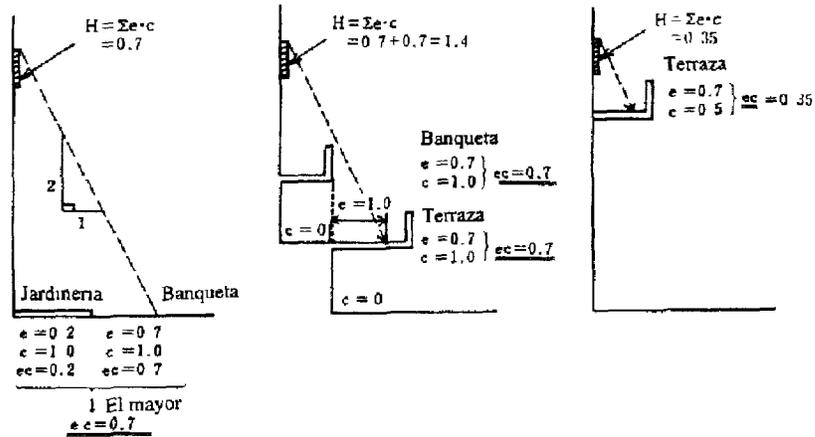
Tabla 4.36 Factor de control c

Condiciones de control	c
Cuando el ángulo de incidencia de luz solar en la calle es prácticamente que permite asolear toda la avenida	0
Cuando el ángulo de incidencia de luz solar en la calle cubre parte de la superficie, permitiendo manejar áreas de influencia (área de influencia en la proyección horizontal)	0
Cuando la proyección de la superficie de influencia cubre prácticamente todos los inmuebles	0.5
Otros	1.0

Comentarios

El índice del nivel de influencia H definirá el riesgo de daño a la vida humana en el caso de presentarse el colapso de elementos no-estructurales (muros exteriores). El valor de H se compone de índice de impacto ambiental e , que representa la posibilidad de existencia de un humano en el sitio de falla; y del índice c , que representa la existencia de objetos o elementos de la estructura que pudieran controlar o reducir el riesgo sobre la vida humana. Considerando los puntos de vista anteriores, en las tablas 4.3.5 y 4.3.6 se determinan los valores de los índices e y c . Respecto al procedimiento de determinación de e , c y H , se

presenta un estudio específico en la presente norma, por lo que se presentan una serie de ejemplos, los que se explican en forma gráfica como se muestra enseguida.



4.4 MÉTODO DE EVALUACIÓN DE TERCER NIVEL

Con respecto al cálculo del factor o coeficiente por estructuración, se debe realizar una inspección en campo para determinar las condiciones actuales de la estructuración del inmueble (revisando, entre otros aspectos, las condiciones del proceso constructivo, los posibles efectos de los detalles de construcción en la capacidad de deformación de elementos y del sistema estructural, etc.), para que con base en esos resultados se aplique el mismo procedimiento que se planteó para el procedimiento de segundo nivel.

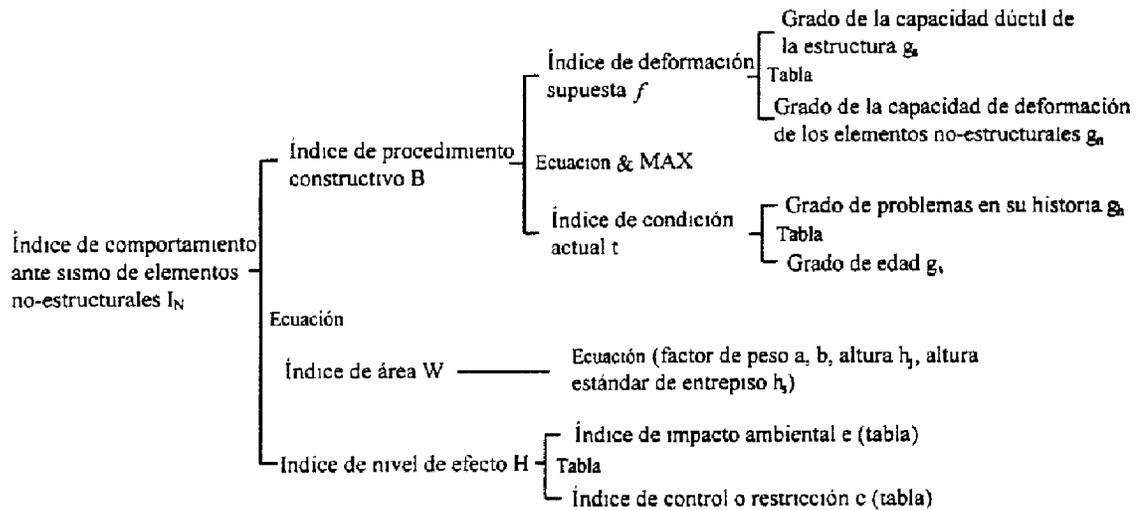
Comentarios

Respecto al procedimiento de evaluación de tercer nivel, se aplicará de manera similar al procedimiento de segundo nivel; pero en este caso el valor de las diferentes índices y variables que intervienen se determinarán con base en una inspección de campo. Sin embargo, respecto al procedimiento de inspección no se especifica nada en concreto.

4.5 REFERENCIAS

4.5.1 Estructura del índice de comportamiento ante sismo I_N de elementos no-estructurales

Respecto a la estructura del procedimiento de determinación del índice I_N , se muestra lo siguiente.



$$I_N = 1 - \frac{\sum B W H L}{\sum L} = 1 - \frac{\sum \{f + (1-f)t\} \left(a + b \frac{h_e}{h_s} \right) (\sum e_c) L}{\sum L}$$

4.5.2 Indicación de las características de comportamiento ante sismo de elementos no-estructurales

En la presente norma, el valor del índice I_N se considera como el indicador de las características de comportamiento ante sismo; sin embargo, pensando en la conveniencia de un proceso de reparación, será deseable se reporten igualmente los tres principales aspectos que tuvieron un efecto en el valor del índice I_N (por ejemplo, el procedimiento constructivo).

Referencias

1. Ministerio de la Construcción "Guía de diseño resistente a sismo de elementos no estructurales en edificios," 1986.
2. Instituto de Arquitectos de Japón, "Guía de diseño resistente a sismo de elementos no estructurales en edificios, con comentarios y presentación de aspectos esenciales en el diseño ante sismo y construcción," 1985.
3. Asociación de Prevención de Desastres en Edificios de Japón, "Guía de evaluación del comportamiento ante sismo de mosaicos en muros exteriores y planteamiento de medidas de seguridad, con comentarios," 1985.