

Figura 3.2.45 Comparación de los índices F

Tabla 3.2.11 Algunas de las propuestas para evaluar la capacidad de deformación.<sup>30)</sup>

Principios básicos del procedimiento de evaluación		Elemento			Investigación de la adherencia en vigas y columnas	Diferencia y límite inferior con base en la configuración del acero de refuerzo
		Columna	Viga	Muro estructural		
Considerando un factor de seguridad adecuado en cuanto a cortante	a. Método de la presente norma	O*2	O	O	*3	Diferencias en $\mu$ dependiendo de la separación del refuerzo lateral. Acero confinante en los extremos de elemento, acero lateral suplementario en muros (muro-columna)
	b. HFW(31)	O	O	O*1	*4	
Conforme al mecanismo de colapso	c. Mecanismo de armadura y arco (18)	O	O	O	*4	Acero lateral confinante en la zona de articulación plástica
	d. Articulación plástica(31)	O	-	-	*5	
	e. Modelo matemático(31)	O	-	-	-	

Nota) 1. El círculo representa el elemento objeto de cada propuesta

2 \*1 Uso de carga axial y doble corroboración

\*2  $N/(bDF_c) > 0.4$ , o bien  $h_c/D \leq 2$ ;  $\mu = 1$

3 \*3 Si  $p_t \geq 1\%$ ;  $\mu = 1$

\*4 Ecuación de Morita (ecuación 6.3 de la referencia 18)

\*5 Ecuación de Yoshioka-Takeda (ecuación 3.11 de la referencia 29)

*Sin embargo, los procedimientos y propuestas actuales presentan una dispersión relativamente moderada, y en la mayoría de los casos se ubican en el lado de la seguridad. Además, considerando los valores mínimos necesarios propuestos en los reglamentos actuales sobre cuantías y separación del acero de refuerzo lateral, cualquiera que sea el procedimiento usado para evaluar la capacidad a deformación de un elemento o del conjunto estructural, se puede asumir que no se presentarán diferencias notables en los resultados con los valores considerados para diseño.*

*Con base en los comentarios anteriores, en la presente revisión (1990), no se proponen modificaciones importantes en cuanto a los procedimientos de evaluación de la ductilidad de elementos estructurales.*

*Enseguida, se explican brevemente el contenido de los trabajos de investigación y los fundamentos de las ecuaciones para ductilidad mostradas en este inciso.*

*(ii) Capacidad a deformación de vigas y columnas (referencias 30 y 35)*

*Respecto a la capacidad a deformación de vigas y columnas, se ha estado realizando investigación básica y aplicada en diferentes centros de investigación aun después de la edición de la presente norma. Una descripción de las características cualitativas en cuanto a la capacidad a deformación de vigas y columnas se presenta en el siguiente ejemplo. Como parte del proyecto general de desarrollo tecnológico del Ministerio de la Construcción, se ha venido desarrollando investigación experimental a gran escala. Sobre la capacidad a deformación de columnas, se pueden resumir lo siguiente:*

*(a) Independientemente del refuerzo lateral, existe un límite en el cual se puede presentar falla por cortante o falla por adherencia. Con el propósito de evitar este tipo de falla, será necesario controlar la relación del claro de cortante, el nivel de esfuerzos axiales y la cuantía de acero de refuerzo longitudinal en tensión, entre otros aspectos.*

*(b) Con objeto de evitar la falla por cortante, un procedimiento efectivo es el aumento de la cuantía de acero de refuerzo lateral; sin embargo, con el uso de refuerzo en espiral o ganchos y estribos internos, se logra una solución más racional.*

*(c) Con objeto de evitar la falla por adherencia y anclaje, resulta de gran efectividad el usar concreto de mayor resistencia a la compresión, así como el uso de ganchos y estribos internos; sin embargo, como se ha comprobado en trabajos experimentales, el uso de acero liso constituye una condición suficiente para la presencia de fallas por adherencia.*

*(d) Para evitar el pandeo del acero de refuerzo longitudinal, los procedimientos convencionales son adecuados.*

*Estos resultados experimentales están considerados en las propuestas planteadas en la presente norma, así como también se encuentran plasmados en la norma de diseño antisísmico revisada y editada en 1980. Sin embargo, respecto a la evaluación cuantitativa de algunos de los conceptos del comportamiento de las estructuras, como se indica en el inciso (iv), siguen siendo temas de trabajos posteriores, y no son los menos.*

*(iii) Capacidad a deformación de muros (referencia 36)*

*En el caso de muros estructurales, a diferencia de columnas y vigas, el trabajo experimental y de investigación es comparativamente menor; sin embargo, en años recientes se han llegado a proponer procedimientos de evaluación de la capacidad a deformación de este tipo de elementos estructurales. Según los resultados y alcances de los trabajos experimentales sobre el tema, algunos aspectos sobre la capacidad a deformación de muros se pueden resumir como sigue.*

*(a) Cuando en un muro se presentan esfuerzos cortante promedio superiores a  $0.2 \cdot F_c$ , al alcanzar la resistencia por flexión, independientemente de la cantidad de acero de refuerzo colocada, existe la tendencia a presentarse falla frágil por cortante en el alma del muro, siendo difícil esperar capacidades de deformación grandes.*

*(b) Sin embargo, considerando un cociente grande de la relación de aspecto y claro de cortante, una cuantía de acero de refuerzo longitudinal en columnas pequeña y un espesor suficiente del muro; cuando se presenten esfuerzos cortante promedio inferiores a  $0.2 \cdot F_c$ , al alcanzarse la resistencia por flexión en el muro, se podrán esperar ductilidades de elemento en el muro del orden de 6 a 8. Obviamente, esto será en función del refuerzo del alma del mismo y de las columnas de borde.*

*Cuando se piensa en los conceptos vertidos anteriormente, para lograr una capacidad de deformación grande en elementos estructurales, la propuesta reglamentaria no es suficiente. También, en edificios con muros, no en pocos casos la resistencia del muro está determinada por la rotación de la cimentación: sin embargo se piensa que el comportamiento en esta condición es estable.*

#### *(iv) Ecuaciones de cálculo de la ductilidad en columnas*

*Como se mencionó, los resultados de la investigación experimental sobre la capacidad a deformación de elementos estructurales no es suficiente. Principalmente, si se considera que la historia de fuerzas, desplazamientos y deformaciones que se presentan en los elementos de un edificio durante un sismo, y los que se consideran o asumen como condición durante un trabajo experimental pueden estar muy alejados.*

*El procedimiento de evaluación de la capacidad de deformación plástica presentado en este inciso, constituye una propuesta sustentada en los resultados de trabajo experimental a gran escala cuyo objetivo era el mejorar la capacidad de deformación plástica de columnas de concreto reforzado. En este procedimiento de evaluación se consideran los valores calculados de la resistencia a cortante y a flexión del elemento estructural, y con base en la relación entre éstos (en adelante se denominará como porcentaje de holgura a la falla por cortante) se plantea la evaluación de la ductilidad del elemento  $\mu$ . La información experimental en la que se sustenta el procedimiento se presenta en la figura 3.2.46 y en las referencias 44 y 46. Sin embargo, en investigaciones recientes<sup>34</sup>, se ha tratado de estudiar la falla por adherencia que es un aspecto que no es tratado directamente en la presente norma, proponiendo relaciones entre el porcentaje de holgura a cortante y la falla por adherencia en especímenes de prueba. Se ha logrado establecer que la propuesta de ecuación para determinar la resistencia a cortante en un elemento estructural resulta un valor cercano e inferior a la resistencia por adherencia del mismo.*

*Contrariamente, un aspecto problemático de este método es que no parte de la base que la formación de las articulaciones plásticas se formen en los extremos de los elementos*

estructurales, además que, comparándolo con los resultados de otros procedimientos presenta una gran tendencia a situarse en el lado de la seguridad.

Enseguida se plasman los aspectos básicos de la filosofía en que se sustenta este método.

(a) Respecto a los mecanismos de falla por adherencia en aceros corrugados y aceros lisos, debido a que no se cuenta con información e investigación suficiente, se deberá investigar el tipo de acero objeto.

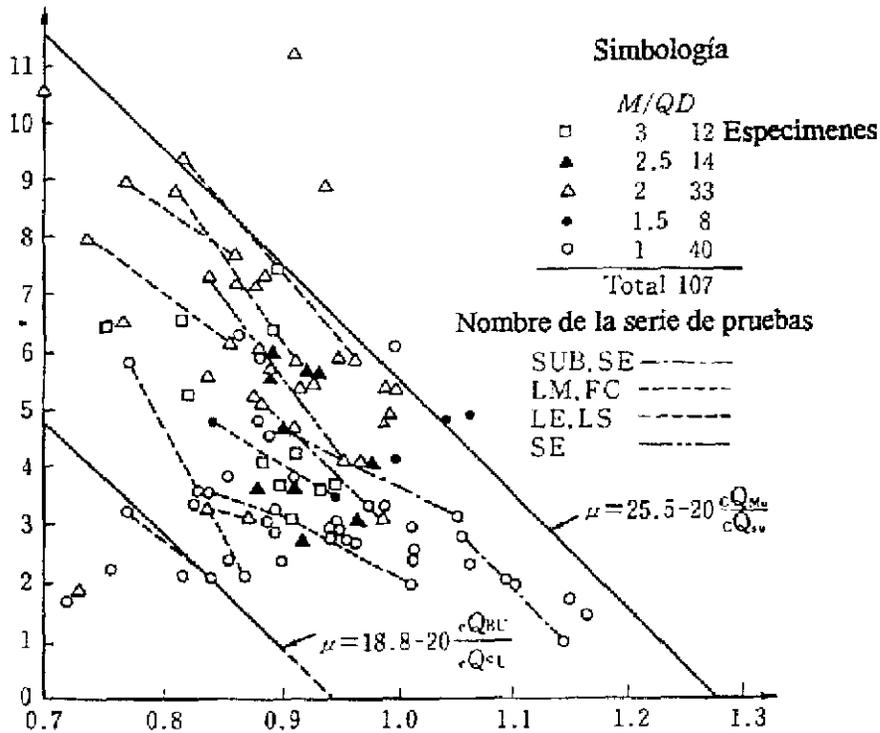


Figura 3.2.46 Relación entre la ductilidad y el nivel de holgura ante cortante

(b) En realidad, en elementos columna normales (no cortos) se encuentran cuantías diferentes de acero de refuerzo lateral entre las zonas extremo y la central. Eliminando los casos en que esa diferencia es grande, y considerando menor la cuantía de la parte central (con 1/2 a 2/3 de la parte extremo), conjuntamente con la información de que no existe un efecto de esta diferencia de cuantías en la capacidad a deformación del elemento (38), se consideró únicamente la cuantía de acero refuerzo lateral de los extremos como parámetro importante.

(c) Dentro de las variables que generan un efecto en la capacidad a deformación de los elementos columna principalmente se ubican la relación de claro de cortante, cuantía de acero de refuerzo por cortante, nivel de esfuerzos axiales en el elemento, cuantía de acero de refuerzo longitudinal en tensión, resistencia a la compresión del concreto. Sin embargo, en el presente tratamiento la influencia de estos parámetros se consideran de una manera general, centrándose a organizar y estudiar los resultados experimentales en función del nivel de esfuerzo cortante último promedio  $\tau_u$ , o bien en función de la relación de la fuerza cortante incidente al momento de alcanzar la capacidad máxima de flexión ( $cQ_{Mu}$ ) y la capacidad última a cortante ( $cQ_{Su}$ )

Con base en lo anterior, y eliminando los resultados de especímenes que hayan fallado por adherencia, en la figura 3.2.47 se presenta en un plano cartesiano la relación entre ductilidad del elemento y las relaciones  $\tau_u / F_c$  y  $cQ_{Su} / cQ_{Mu}$ . Donde,  $cQ_{Su}$  se determinará con la ecuación 3.13 y  $cQ_{Mu}$  con la ecuación 3.10. Según esta gráfica se reconocen las siguientes tendencias.

- (a) Generalmente para  $cQ_{Su} / cQ_{Mu}$  grande, el valor de  $\mu$  es grande.
- (b) Para valores de  $\tau_u / F_c$  menores o iguales a 0.1, el valor de  $\mu$  será mayor o igual a 4

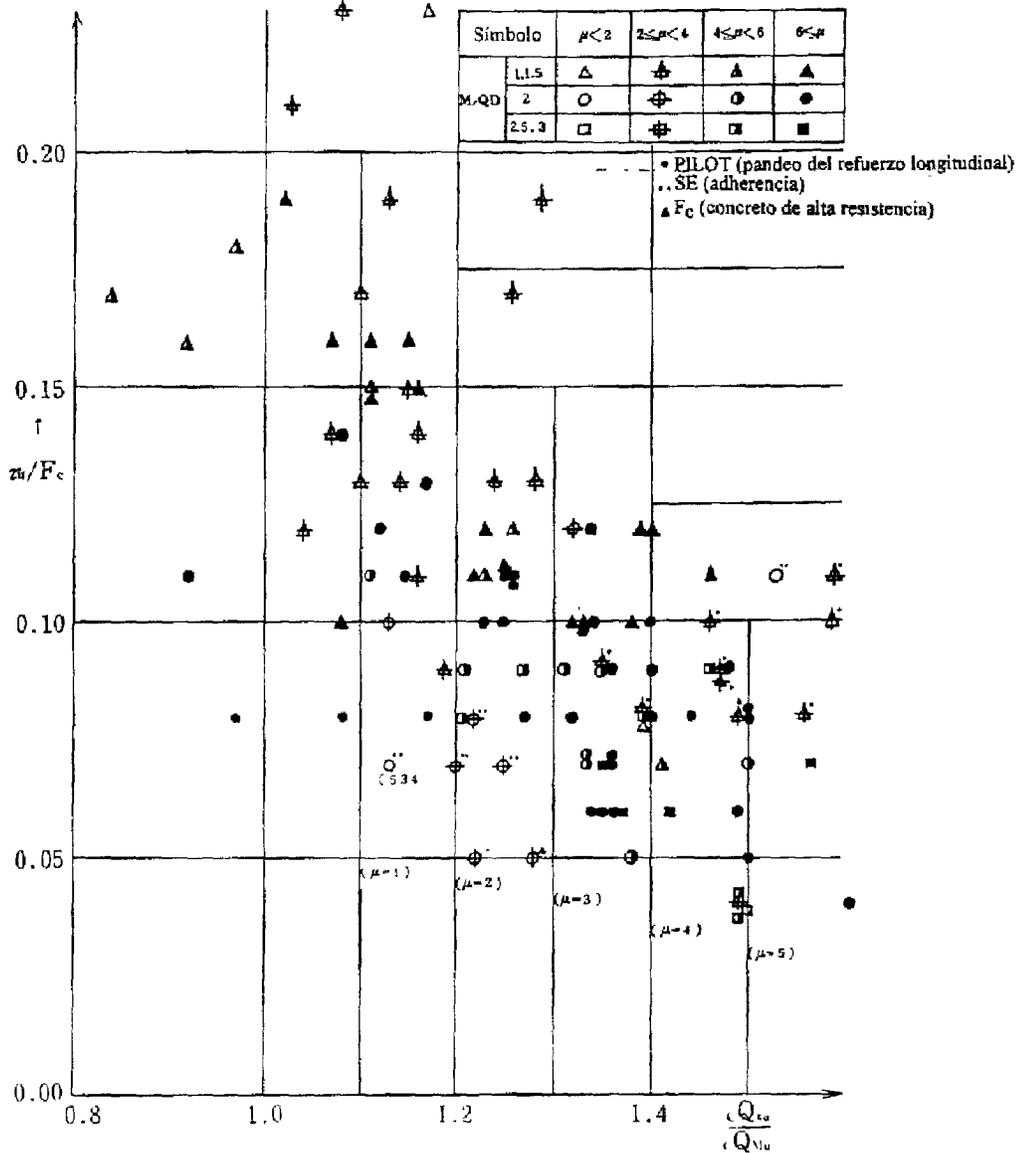


Figura 3.2.47 Efecto de las relaciones  $\tau_u / F_c$  y  $cQ_{Su} / cQ_{Mu}$  en la ductilidad.

(c) Independientemente de lo concluido en los incisos a) y b) anteriores se señala la siguiente: cuando la separación del acero de refuerzo lateral es grande, se presenta el pandeo del acero de refuerzo longitudinal después de alcanzar una ductilidad de aproximadamente 2

(serie experimental PILOT), para los especímenes de sección transversal cuadrada de 50 cm, debido a que se coló lateralmente, se puede pensar que tuvo un efecto de mejoramiento de las características de adherencia en el espécimen (serie experimental SE).

(d) Especímenes con relación de claro de cortante ( $M/Qd$ ) igual a 1.0, reportaron resultados alcanzando ductilidades superiores a 4.

De estos resultados se seleccionó como parámetro de mayor influencia e importancia en la ductilidad del elemento  $\mu$ , a la relación  $cQ_{Su}/cM_{Mu}$ . El valor básico de la ductilidad  $\mu_0$ , se representa como se indica.

$$\mu_0 = 10 \left( \frac{c Q_{Su}}{c M_{Mu}} - 1 \right)$$

Además, para determinar el valor de la ductilidad  $\mu$ , se considerarán elementos reductivos del valor básico de ductilidad, que consideran el efecto de grandes esfuerzos de cortante y/o separación importante del refuerzo lateral.

$$\mu = \mu_0 - k_1 - k_2 \quad (3.22)$$

$k_1$  coeficiente en función del pandeo del refuerzo longitudinal (en la norma se determina conforme la referencia 39). El coeficiente  $k_2$  se determina en función del esfuerzo cortante promedio al alcanzar la capacidad por flexión

$$k_2 = 30 (C\tau_{Mu}/F_c - 0.1) \geq 0$$

Sin embargo, usando la ecuación anterior se obtienen valores de ductilidad muy grandes que pueden considerarse inapropiados, por lo que se estableció un límite superior para el valor de  $\mu$ , siendo este, en principio, igual a 5.

En la tabla 3.2.12 se muestra la relación del valores de esfuerzo cortante promedio  $\tau$ , dividido por la resistencia a compresión del concreto  $\tau/F_c$ , cuando se tienen los valores siguientes  $F_c=180 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_y=3000 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_0=40 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo cortante promedio se calculará al alcanzarse la resistencia a flexión (calculada conforme la ecuación 3.10) y/o la resistencia a cortante (calculada conforme la ecuación 3.13).

Como se nota de la tabla, cuando la dimensión del claro es menor que dos veces la del peralte del elemento ( $h_0/D \leq 2$ ), aunque se tenga un porcentaje de acero de refuerzo lateral  $p_w=1.0\%$ , la resistencia a cortante será menor que la resistencia a flexión. También, cuando se tiene un porcentaje de refuerzo longitudinal en tensión ( $p_l$ ) de 1.0%, se nota la misma tendencia de comportamiento; en este tipo de casos, donde  $p_l$  es grande, existe la tendencia de comportamiento frágil por el fenómeno de adherencia (referencias 40 y 41).

Adicionalmente a los aspectos anteriores, cuando se presentan valores grandes de  $\sigma_0$  y/o  $C\tau_{Mu}$  es difícil esperar capacidad a deformación adecuada en los elementos estructurales. Considerando este tipo de aspectos, se plantean límites de control como los mostrados en la ecuación 3.23 de la norma.

(V) Respecto al índice de deformación de los muros

Respecto a la capacidad a deformación de muros estructurales, se presenta una descripción en el inciso (iii). No existe información y datos de resultados experimentales suficientes respecto a la capacidad a deformación de este tipo de elementos como para el caso de columnas; pero de resultados recientes en especímenes sometidos a historias de carga cíclica y reversible, aun en el caso de muros con comportamiento predominantemente de flexión, la ductilidad que pueden alcanzar los mismos es de aproximadamente la mitad que la que alcanzaría una columna. También, se ha comprobado experimentalmente en algunos casos la falla y comportamiento frágil de elementos con resistencias menores al valor proporcionado por la ecuación 3.13 que constituye el límite inferior de capacidad a cortante. Igualmente, como se mencionó en el inciso (iv) no existe en la bibliografía y referencias una cantidad de información suficiente relacionada con elementos columna, por lo que se considera actualmente que es poco apropiado determinar el valor del índice  $F$  a partir de la ductilidad en este tipo de elementos, definiéndose de esa manera la propuesta mostrada en la presente norma. Además, considerando como objeto el diseño de un muro estructural, en la referencia 30 se muestra alguna información sobre el comportamiento de este tipo de elementos y el procedimiento de cálculo del acero necesario para lograr la deformación angular requerida por diseño. Este procedimiento es aplicable para casos en los que se desarrolla una investigación cuantitativa de la deformación del edificio.

En el método mencionado en la presente norma, debido a la simplificación de procedimiento de cálculo, el índice  $F$  para muros estructurales se representa como una función que relaciona a las resistencias por flexión y cortante; sin embargo, como se menciona en el inciso (iii), en el procedimiento de evaluación el efecto del nivel de esfuerzo cortante promedio  $w^*Mu$  es importante, por lo que se deberá considerar dentro del mismo proceso. Cuando el nivel de este esfuerzo supere el valor de  $0.2F_c$ , será deseable el considerar un factor de reducción adecuado para afectar el valor del índice  $F$  según la presente norma.

**Tabla 3.2.12 Esfuerzo cortante promedio al alcanzarse la resistencia a flexión y/o la resistencia a cortante ( $\pi F$ )**

$h_o/D$	$p_t=1.0\%$			$p_t=0.5\%$		
	Resistencia a cortante		Resistencia a flexión	Resistencia a cortante		Resistencia a flexión
	$p_w=0.2\%$	$p_w=1.0\%$		$p_w=0.2\%$	$p_w=1.0\%$	
2	0.116	0.152	0.220	0.105	0.141	0.153
4	0.084	0.120	0.110	0.078	0.114	0.077
6	0.072	0.108	0.073	0.068	0.104	0.051

### 3.3 ÍNDICE DE CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL $S_o$

#### 3.3.1 Introducción

Este índice representa un coeficiente de modificación del índice  $E_o$ , con base en la evaluación cuantitativa e ingenieril de aspectos que afectan las características de comportamiento ante sismo de estructuras, como son la complejidad de la configuración estructural, así como la distribución desbalanceada de la rigidez en la misma.

El cálculo del índice de configuración estructural se divide en dos rubros: el cálculo para su uso en el procedimiento de primer nivel, y el cálculo para su uso en el procedimiento de

segundo nivel. Esta clasificación considerará el efecto en la precisión de los valores calculados dependiendo de la simplicidad del procedimiento de cálculo.

### **Comentarios**

*El flujo y transmisión de las fuerzas que se presentan durante un sismo serán fuertemente influidas, por la configuración estructural de edificio; igualmente se presentarán variaciones importantes en las características de comportamiento al alcanzar la capacidad última. Si la configuración estructural resulta con alto grado de monoliticidad, la transmisión de fuerzas a través de la misma será uniforme. Sin embargo, cuando se tiene una configuración estructural poco uniforme e irregular, podrán presentarse concentraciones de esfuerzos en algunas partes específicas, tenderían a presentarse fenómenos de inclinación de la estructura. En fin, una serie de condiciones y fenómenos que generarían un efecto inadecuado a las características de comportamiento ante sismo de la estructura. Por otra parte, independientemente de las condiciones de la configuración estructural, si se proporciona una resistencia suficiente a los elementos estructurales, existe la posibilidad de complementar las condiciones inapropiadas de la estructuración.*

*Como se mencionó anteriormente, este índice trata de representar numéricamente un efecto sobre el sistema estructural, pero no se convierte en una medida absoluta del comportamiento de la estructura, por lo que se deberá usar conjuntamente con otros índice cuantitativos. También, debido a que la determinación de este índice principalmente se sustenta en la descripción cualitativa y general de la distribución de elementos resistentes de la estructura, cuando se haya procedido considerando con detalle la configuración de la estructura en el análisis de su comportamiento, no es aplicable el uso de este índice.*

*Después de la edición de la presente norma, en el año de 1980 se realizó una modificación importante al reglamento de las construcciones en lo relacionado al diseño ante sismo. Se introdujeron novedades en los aspectos relacionados con la normatividad del índice de configuración estructural  $S_D$ , como son la relación de excentricidad ( $R_e$ ), la relación de rigidez ( $R_r$ ) así como los denominados coeficientes de configuración ( $F_e$ ,  $F_r$  y  $F_e$ ). Es decir, se consideran aquellos conceptos que puedan generar algún efecto en las características de comportamiento ante sismo en función de la configuración del edificio. (tabla 3.3.2). Así, por ejemplo, lo referente a la uniformidad de la estructura (inciso a), a la uniformidad de las alturas de entrepiso (inciso l), a la existencia de piso suave (inciso j), así como una serie de aspectos que tienen una relación directa con las características de los parámetros  $R_e$  y  $R_r$ . También, la relación entre el centro de masas y el centro de rigideces ( $l_e$ ) se representa en el coeficiente  $R_e$ , igualmente la relación de peso y rigidez de entrepisos sucesivos se representará mediante el coeficiente  $R_r$ .*

*Resulta una tarea difícil tratar de establecer una relación entre estos nuevos aspectos propuestos en el reglamento de construcciones y el contenido de la primera edición de la norma. Además, el hecho de que es necesario mantener el método sencillo del procedimiento de primer nivel, acarrea que en la presente revisión de la norma se mantenga el contenido de la primera edición. Sin embargo, sobre todo al emplear el procedimiento de tercer nivel, se podrán considerar algunos de los nuevos conceptos en sustitución de los que se crea conveniente de la presente norma.*

### **3.3.2 Conceptos de la aplicación**

Los conceptos que se usan en los procedimientos de cálculo del índice de configuración estructural, son como se indica.

(1) Conceptos para el procedimiento de primer nivel.

(i) Aquellos relacionados con la configuración en planta ( y relacionados con la monolitividad en planta)

Regularidad, relación de aspecto, remetimientos, juntas de construcción, huecos en el sistema de piso (dimensiones y ubicación de los mismos) y cualquier otra característica especial en cuanto a configuración estructural.

(ii) Aquellos relacionados con la configuración en elevación (relacionados con monolitividad en elevación)

Existencia de sótano, uniformidad de altura de entrepiso, existencia de piso suave y cualquier otra característica especial de la configuración estructural en elevación.

(2) Conceptos para el procedimiento de segundo nivel.

Los conceptos siguientes se adicionarán a los ya mencionados para el procedimiento de primer nivel

(i) Conceptos relacionados con la rigidez en planta

No concordancia entre los centros de masa y rigidez.

(ii) Conceptos relacionados con la rigidez en elevación

Relación de rigideces entre entrepisos consecutivos.

**Comentarios**

*(1) Considerando los aspectos que tienen un efecto importante en las características de comportamiento ante sismo de las estructuras, partiendo de planos y croquis simplificados se trata de seleccionar conceptos comparativamente con facilidad en su definición. Así, para el procedimiento de primer nivel, con objeto de simplificar, la evaluación se determina considerando únicamente el concepto de la configuración estructural. Aun considerando conceptos que se encuentran fuera de la tabla presentada en la norma, si presentan características de configuración estructural que pudiera representar un efecto importante en el comportamiento ante sismo de la estructura, se podrán incluir dentro de los conceptos asignados con los incisos g y k dentro de la tabla. Dentro de lo que se puede considerar como configuración estructural especial se citan los siguientes ejemplos.*

*-Conceptos propios de incluirse en el inciso g) de la tabla.*

*-Cuando es notable la posibilidad de torsión (por ejemplo, cuando se presentan muros estructurales en uno eje extremo) (sin embargo, para el procedimiento de segundo nivel en este caso se hará  $R_{e1}=0$ ).*

*-Cuando se presentan una excentricidad notable entre ejes de columnas y vigas en una unión*

- Cuando se presenta torsión respecto a un eje extremo de marco con columnas cortas.
- Cuando la altura del sistema de piso presenta diferencias con la altura del sistema de trabes.
- Cuando los muros continuos presentan discontinuidad en los niveles inferiores.

Para el procedimiento de segundo nivel, además de los aspectos a considerar para el procedimiento del primer nivel se deberá tomar en cuenta la distribución de la rigidez en la estructura. Este aspecto será necesario para el cálculo en cada dirección y en cada nivel o entrepiso.

(2) Respecto al porcentaje de excentricidad

Con lo indicado en la cláusula uno se trata de representar los efectos de torsión, valor que se determina para cada nivel y corresponde numéricamente a la relación  $E / \sqrt{B^2 + L^2}$ . En la publicación del Instituto de Arquitectos de Japón "Fuerza Sísmica y Características de Comportamiento Estructural" (edición 1976), se realizó una investigación producto de la cual se establece la siguiente relación respecto al porcentaje de excentricidad.

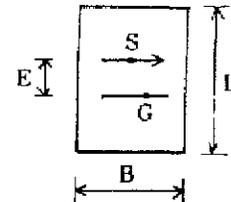
Porcentaje de excentricidad  $e' = (\text{excentricidad}/\text{radio de giro})$

Pensando en una configuración estructural homogénea

$$\text{Radio de giro } i = \sqrt{\frac{I_p}{A}}$$

$$I_p = \frac{B L}{12} (B^2 + L^2) \quad i = \sqrt{\frac{B^2 + L^2}{12}}$$

$$\therefore e' = \frac{E \sqrt{12}}{\sqrt{B^2 + L^2}}$$



El porcentaje de excentricidad que se define en la presente guía es  $\ell = \frac{E}{\sqrt{B^2 + L^2}}$ ,

por lo tanto se puede representar por la ecuación,  $\ell = \frac{e'}{\sqrt{12}}$

Para  $\ell \geq 0.15$ , será apropiado  $e' \geq 0.5$

Cuando  $\ell \geq 0.15$ , el valor de  $q_1$  en el inciso l de la tabla se hará igual a 0.8, además para el cálculo del índice  $E_o$  se aplicarán todos aquellos conceptos extraordinarios.

También, respecto a la evaluación del efecto de la excentricidad, en el procedimiento de primer nivel se reportan efectos bajos en el comportamiento estructural, por lo que en una estructura donde el problema de excentricidad sea notable será deseable que la evaluación se realice con el procedimiento de segundo nivel.

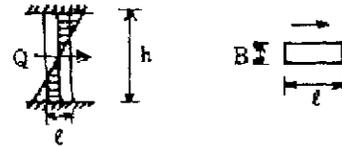
(3) Respecto al procedimiento de cálculo de la rigidez

Con objeto de simplificar el procedimiento, la rigidez de los elementos y sistemas estructurales se hace considerando las áreas transversales de los mismos. Por tanto este procedimiento determina las rigideces a flexión y cortante en función de la proporción de los elementos, por lo que se propone un coeficiente corrector de cálculo  $\alpha$ , como se indica

$$\delta_B \cong \frac{Q h^3}{12 EI}$$

$$\sum \delta = \delta_B + \delta_S$$

$$\delta_S \cong \frac{k Q h}{\beta G A_w}$$

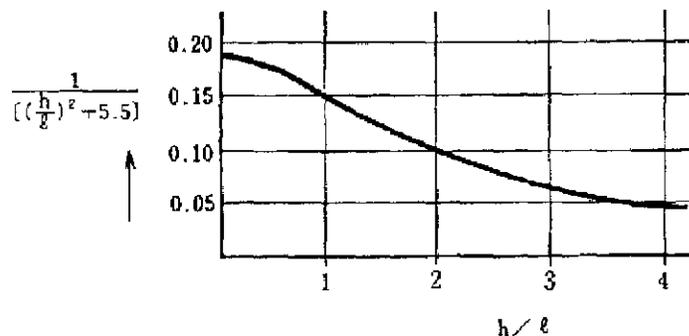


$$A = B \ell \quad I = \frac{B \ell^3}{12}$$

$k=12$ , se hace la hipótesis que  $\beta=0.5$

$$\frac{Q}{\delta_B + \delta_S} = E A \frac{\ell}{h \left[ \left( \frac{h}{\ell} \right)^2 + 5.5 \right]} \quad \frac{\ell}{\left[ \left( \frac{h}{\ell} \right)^2 + 5.5 \right]} \cong \alpha$$

Haciendo la hipótesis que cuando  $h/\ell=4$  se trata de columnas, con base en la figura siguiente, para relaciones de  $h/\ell=3 \sim 2$ ,  $2 \sim 1$ ,  $1 \sim 0$ , el valor de  $\alpha$  respecto al correspondiente para  $h/\ell=4$ , será 1.5, 2.5 y 3.5 veces, respectivamente.



Respecto a muros dentro de marcos exteriores, el valor de la rigidez a rotación se considerará igual a 1/3 del valor de la rigidez para los muros de marcos interiores.

Cuando se comparan las rigideces de entrepisos sucesivos, debido a que el procedimiento mencionado divide a la rigidez calculada por la altura de entrepiso, el procedimiento se justifica si  $h/\ell$  es constante. Sin embargo, cuando no sea este el caso o cuando la rigidez de columnas sea importante comparándola con la rigidez de muros, será deseable el uso de un procedimiento de cálculo más detallado de cálculo.

El valor del coeficiente  $\beta$  empleado en el inciso n de la tabla, será modificado de manera que cuando las masas y rigideces de todos los niveles sean iguales, el valor del coeficiente  $n=1$ , siendo un coeficiente correctivo.

### 3.3.3 Procedimiento de cálculo del índice de configuración estructural

Considerando el grado G, y el intervalo del factor de ajuste R<sub>n</sub>, el valor de q<sub>i</sub> se calculará usando las ecuaciones 3.24 y 3.25 (denominado valor de efecto), que representa el nivel de efecto de cada concepto. Posteriormente el valor de índice de configuración estructural se obtendrá de la multiplicación de los factores q<sub>i</sub> calculados para cada concepto.

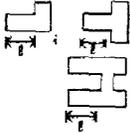
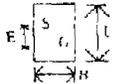
Tabla 3.3.2 Lista de la clasificación de conceptos y valores de G y R

Concepto			G <sub>i</sub> (Grado)			R (Rango de Inspección)		
			1.0	0.9	0.8	R <sub>1j</sub>	R <sub>2j</sub>	
Para uso de los procedimientos de primero y segundo nivel (1, 2)	Configuración en planta (P)	a	Regularidad	Uniforme a <sub>1</sub>	Medianamente regular a <sub>2</sub>	Irregular a <sub>3</sub>	1.0	0.5
		b	Relación de aspecto	b ≤ 5	5 < b ≤ 8	8 < b	0.5	0.25
		c	Remetimientos	0.8 ≤ c	0.5 ≤ c < 0.8	c < 0.5	0.5	0.25
		d	*1. Junta de construcción	$\frac{1}{100} \leq d$	$\frac{1}{200} \leq d < \frac{1}{100}$	$d < \frac{1}{200}$	0.5	0.25
		e	Huecos en sistema de piso	e ≤ 0.1	0.1 < e ≤ 0.3	0.3 < e	0.5	0.25
		f	Huecos en sistema de piso con posición excéntrica	Además f <sub>1</sub> ≤ 0.4 f <sub>2</sub> ≤ 0.1	Además f <sub>1</sub> ≤ 0.4 0.1 < f <sub>2</sub> ≤ 0.3	o bien 0.4 < f <sub>1</sub> 0.3 < f <sub>2</sub>	0.25	0
		g	Otros, *2 configuraciones especiales				0.5	0.25
	Configuración en elevación (S)	h	Existencia de sótanos	1.0 ≤ h	0.5 ≤ h < 1.0	h < 0.5	1.0	1.0
		i	Uniformidad de altura de entrepiso	0.8 ≤ i	0.7 ≤ i < 0.8	i < 0.7	0.5	0.25
		j	Existencia de piso suave	No hay piso suave	Piso suave	Existencia de piso suave con excentricidad	0.5	0.25
		k	Otros, *3 configuraciones especiales				0.5	0.25
Para uso del procedimiento del segundo nivel (2)	Rigidez en planta (PR)	l	Porcentaje de excentricidad del centro de masas y centro de rigidez	1 ≤ 0.1	0.1 < 1 ≤ 0.15	0.15 < 1		1.0
		m						
	Rigidez en elevación (SR)	n	Relación de rigideces y masas entre niveles consecutivos	n ≤ 1.2	1.2 < n ≤ 1.7	1.7 < n		1.0
		o						

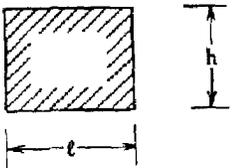
\*1 Cuando existe junta de construcción, se realizará el trabajo de inspección considerando independientemente a cada parte del edificio

\*2 Se usará cuando exista una configuración especial notoria (en planta); ver comentarios.

\*3 Se usará cuando exista una configuración especial notoria (en elevación); ver comentarios.

Objeto de aplicación	Observaciones
<p>Se realiza la inspección en el nivel más desfavorable, y se aplica para toda la estructura</p>	<p>a<sub>1</sub>: Aproximadamente simétrico respecto a dos ejes, el área de una saliente es menor al 10% del área total del piso. Se considerará como saliente cuando se mantenga una relación largo (l) / ancho (b) ≤ 1/2 </p> <p>a<sub>2</sub>: Estructuras con mayor irregularidad que a<sub>1</sub>. También, aquellas que tengan una forma en planta de L, T o U, donde la relación de saliente a área total de piso es menor al 30%</p> <p>a<sub>3</sub>: Estructuras con mayor irregularidad que a<sub>2</sub>. También, aquellas que tengan una forma en planta de L, T o U, donde la relación de saliente a área total de piso supera al 30% </p> <p>b: b=sentido largo/sentido corto, cuando se presentan configuraciones en planta con forma de L, T o U, la dimensión en sentido largo se considerará igual a 2 l.</p> <p>c: c=D<sub>1</sub>/D<sub>0</sub> </p> <p>d: Aplicable cuando existe junta de construcción. d=separación en la Junta de Expansión/altura de la J.E</p> <p>e: e=área de los huecos/área total de piso (incluyendo huecos). Sin embargo, cuando el hueco el cubo de escaleras se conforma con muros de concreto reforzado, no se considerará como hueco.</p> <p>f: f<sub>1</sub>=[distancia entre el centro geométrico del edificio (centro de figura) y el centro geométrico de los huecos]/dimensión en el sentido corto del edificio f<sub>2</sub>=[distancia entre el centro geométrico del edificio (centro de figura) y el centro geométrico de los huecos]/dimensión en el sentido largo del edificio</p> <p>h: h=área del sótano/área del edificio</p> <p>i: i=altura del último nivel/altura del nivel de inspección. En caso de que el nivel de inspección sea el último, se sustituirá en el procedimiento de cálculo, por el inmediato inferior.</p> <p>j: Cuando el sistema de piso es soportado por piso suave únicamente; además, si la existencia de la zona de piso suave es excéntrica, se considerara como estructura con excentricidad. Sin embargo, cuando la estructura en su totalidad es a base de marcos resistentes a momento, no se considerará como estructura con piso suave.</p>
<p>Se realiza la inspección independientemente en cada dirección, y en cada nivel de la estructura</p>	<p>ℓ: <math>\ell = E / \sqrt{B^2 + L^2}</math> S: centro de gravedad, G: centro de rigidez, sin embargo, la rigidez lateral de cada marco se obtendrá como <math>[\sum(\text{área de columnas}) + \sum(\text{área de muros}) (\alpha)] * 4</math> </p> <p>n: n=[Relación (rigidez/masa) del nivel inmediato superior/relación (rigidez/masa) del nivel en estudio] x β, cuando se analice el último nivel, se considerarán las características del nivel inmediato inferior dentro de las ecuaciones de cálculo. La relación (rigidez/masa)=(rigidez de entrepiso)/(peso total del edificio en los niveles superior al de estudio). La rigidez de entrepiso se considerará como <math>[\sum(\text{área de columnas}) + \sum(\text{área de muros}) (\alpha)] / \text{altura de entrepiso}</math> β=(N-1)/N, sin embargo, N es el número de losas a soportar, cuando se estudie el último nivel, se tomara β=2.0</p>

\*4 El valor de α se tomará de la tabla inferior, con base en la proporción altura a largo de los muros

Proporción h/ℓ del muro	α		
	Muros interiores en marcos	Muros exteriores en marcos	
3.0 ≤ h/ℓ	1.0	0.3	
2.0 ≤ h/ℓ < 3.0	1.5	0.5	
1.0 ≤ h/ℓ < 2.0	2.5	0.8	
h/ℓ < 1.0	3.5	1.2	

También, para cada uno de los procedimientos de primero y/o segundo nivel, el efecto de  $R_{1i}$  y  $R_{2i}$ , se podrá ajustar usando obtenidos de la clasificación mostrada en la tabla 3.3.2

(1) Ecuaciones para el cálculo del índice.

(i) Índice a usarse dentro del procedimiento de primer nivel

$$S_{D1} = q_{1a} q_{1b} \dots q_{1k} \tag{3.24}$$

sin embargo,  $q_{1i} = [1 - (1 - G_i)R_{1i}] \dots i = a, b, c, d, e, f, g, i, j, k$   
 $q_{1i} = [1.2 - (1 - G_i)R_{1i}] \dots i = h$

(ii) Índice a usarse dentro del procedimiento de segundo nivel

$$S_{D2} = q_{2a} q_{2b} \dots q_{2k} q_{2l} \dots q_{2o} \tag{3.25}$$

sin embargo,  $q_{2i} = [1 - (1 - G_i)R_{2i}] \dots i = a, b, c, d, e, f, g, i, j, k, l, m, n, o$   
 $q_{2i} = [1.2 - (1 - G_i)R_{2i}] \dots i = h$

(iii) Para el procedimiento de tercer nivel, se emplea el mismo índice calculado para el procedimiento de segundo nivel.

$$S_{D3} = S_{D2}$$

(2) Clasificación de conceptos

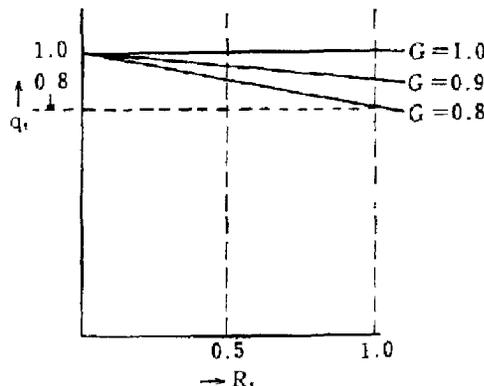
La clasificación de conceptos, o bien los valores para G y R, se muestran en la tabla 3.2.2.

**Comentarios**

$S_D$  es un índice con el que se hace una evaluación global multiplicando todos los valores de cada uno de los conceptos que ejercen un efecto sobre el comportamiento de la estructura.

El coeficiente regulador de precisión  $R_i$ , tiene la finalidad de regular la dispersión de los efectos en el proceso de cálculo, considerando la importancia de cada concepto, así como la precisión en su determinación.

$q_{1i} = [1 - (1 - G_i)R_{1i}]$ , función que se presenta gráficamente enseguida



El intervalo rango de valores del coeficiente  $R_i$ , dentro del proceso de evaluación, como se mencionó antes será entre 1.0 y 0.8, considerando  $R_i=1.0$ , el rango del valor de efecto  $q_i$  será entre 1.0 y 0.8, si  $R_i=0.5$  el rango del valor de efecto  $q_i$  será entre 1.0 y 0.9. Es decir, variando  $R_i$  de 1.0 a 0.5, el rango del valor de efecto variará de un 20% a un 10%. Considerando el rango de  $q_i$  como  $q_B$ , podrá representarse como  $q_B=(1.0-G_{\min})(100)R_i$  %. Esta propuesta se estandarizó considerando el caso cuando no existe sótano.

Con respecto al procedimiento de segundo nivel, existen algunos aspectos del procedimiento de primer nivel que se repiten con la finalidad de modificar el proceso tratando de elevar la precisión del mismo. Cuando en el procedimiento de segundo nivel se usan estos aspectos ya considerados en el procedimiento de primer nivel, se definirán como factores reductivos denominados  $R_{2i}$ .

Los resultados calculados considerando la tabla 3.3.2 del texto de la norma, se presentan en la tabla 3.3.1, indicando los rangos de valores para cada caso. El valor más pequeño para  $S_{D1}$  es 0.431, y para el índice  $S_{D2}$  estará en un intervalo de valores entre 0.658 y 0.42.

**Tabla 3.3.1 Intervalo de valores del índice  $S_D$**

Concepto		G <sub>i</sub>		S <sub>D1</sub> igual a multiplicar		S <sub>D2</sub> igual a multiplicar		Grado de efecto de cada concepto (%)		
		1.0-0.8	R <sub>1i</sub>	q <sub>1i</sub>	q <sub>1i</sub>	R <sub>2i</sub>	q <sub>2i</sub>	q <sub>2i</sub>	Respecto a Sp <sub>1</sub>	Respecto a Sp <sub>2</sub>
(1.2)	(P)	a	1.0	1.0-0.8	1.2	0.5	1.0-0.9	1.2	20	10
		b	0.5	1.0-0.9		0.25	1.0-0.95		10	5
		c	0.5	1.0-0.9		0.25	1.0-0.95		10	5
		d	0.5	1.0-0.9		0.25	1.0-0.95		10	5
		e	0.5	1.0-0.9		0.25	1.0-0.95		10	5
		f	0.25	1.0-0.95		0	1.0		5	0
	(S)	g	0.5	1.0-0.9	0.431	0.25	1.0-0.95	0.42	10	5
		h	1.0	1.2-1.0		1.0	1.2-1.0		16.7	16.7
		i	0.5	1.0-0.9		0.25	1.0-0.95		10	5
		j	0.5	1.0-0.9		0.25	1.0-0.95		10	5
		k	0.5	1.0-0.9		0.25	1.0-0.95		10	5
(2)	(PR)	l				1.0	1.0-0.8		20	
		m								
	(SR)	n				1.0	1.0-0.8		20	
		o								

(1) Respecto a la aplicación de las relaciones de rigidez y excentricidad

Como se mencionó anteriormente, en la revisión del reglamento de diseño ante sismo de 1980, y tomando en cuenta las características de una edificación nueva, se plantea el uso de factores de amplificación para el cálculo de las resistencias en el nuevo reglamento de las construcciones ( $F_e$  y  $F_v$ ). Estos factores se determinan con base en la determinación de las relaciones de rigidez y excentricidad, que son aspectos mencionados en los incisos l y n de la tabla 3.3.2 del texto de la presente norma. Con base en lo anterior, en sustitución de los valores calculados, según este inciso, para las variables  $G'_l$  y  $G'_n$ , se usarán los valores de las variables  $F_e$  y  $F_v$ . Así mismo, considerando estos valores de  $F_e$  y  $F_v$ , se calcularán los valores de las variables  $G''_l$  y  $G''_n$  que podrán ser usadas dentro del proceso de evaluación.

$$G'_l = 1 - 1/F_e \text{ (sin embargo, cuando } G_n = 1.0, \text{ se puede tomar } G'_l = G_n)$$

$$G'_n = 1 - 1/F_v \text{ (sin embargo, cuando } G_l = 1.0 \text{ y/o } G_j = 1.0, \text{ se puede tomar } G'_n = G_l \text{ y/o } G_j)$$

### 3.4 ÍNDICE DE EDAD T

#### 3.4.1 Introducción

El índice de edad T, trata de evaluar el efecto del tiempo sobre las características de comportamiento ante sismo de una estructura, en particular el asociado a algunas deficiencias estructurales producto de envejecimiento, deformación y aparición de agrietamientos en la misma. Por lo tanto, para el cálculo del índice de edad sería necesaria la realización minuciosa de una inspección de campo. Considerando los alcances de aplicación y las simplificaciones de los procedimientos de evaluación presentados en el presente cuerpo, así como la consideración conjunta de este índice con otros índices que representan al comportamiento estructural (índice básico de resistencia  $E_o$ , índice de configuración estructura  $S_D$ , etc.) para la determinación final del índice de comportamiento ante sismo, tomando en cuenta también la simplicidad de los métodos de cálculo para los diversos niveles de evaluación, es que se propone la realización de inspecciones con diferentes niveles de minuciosidad. Dividiendo los niveles de inspección de campo, de menor a mayor minuciosidad, para procedimientos de primer a tercer nivel, respectivamente. Calculando, finalmente, el índice de edad T, que formará parte de procedimiento de cálculo del índice de comportamiento estructural ante sismo  $I_s$ .

#### Comentarios

*El índice de edad T, trata de reflejar la condición actual del edificio ante fenómenos de intemperismo, calidad de materiales, agrietamiento, deformación, etc.; índice que se determinará con base en la inspección de campo realizada durante los trabajos de evaluación. Sin embargo, para la determinación del índice de comportamiento estructural ante sismo  $I_s$ , se recomienda considerar únicamente las características de materiales y elementos estructurales que se presenten en los planos de diseño, haciendo, en principio, caso omiso de las condiciones de desgaste por intemperismo por las restricciones económicas y de tiempo que se tiene al realizar una inspección de campo.*

*Considerando esta forma de plantear la solución del problema, habrá tres formas de considerar los resultados de la inspección de campo para determinar el valor del índice de edad, se basará en inspecciones de primero, segundo y minuciosa de tercer nivel. El índice de edad se determinara con base en estos niveles de inspeccion; sin embargo, tanto la inspeccion misma, como los procedimientos de calculo y evaluatorios relacionados, se muestran en el diagrama de flujo de la clausula primera del capitulo 3 de los comentarios (consultar la figura-3.1 3).*

*Tambien, lo que se muestra en la presenta norma sobre la determinacion del indice de edad T, asi como lo relacionado con los objetos de evaluacion y la relacion entre las características de durabilidad y degradacion de estructuras de concreto reforzado, es un resumen de lo que se presenta en las publicaciones del Ministerio de la Construccion como resultado del proyecto general de desarrollo tecnologico Resultados que se han venido publicando en el lapso entre las ediciones de 1980 a 1987 de la presente norma. Dentro de las publicaciones del Ministerios de la Construccion sobresalen "Desarrollo de tecnologia para incrementar la durabilidad de edificios", "Desarrollo de tecnologia para incrementar la durabilidad del concreto", y con base en los resultados de estas publicaciones "Guía Técnica para Evaluación del Deterioro de Estructuras de Concreto Reforzado, con comentarios".42)*

*El contenido de estas publicaciones, sustancialmente no difiere mucho de el contenido de la presente norma, sin embargo, en la repsente norma se esta considerando la relacion*

entre diferentes índices que definen las características de comportamiento de la estructura, por lo que el uso del índice de edad  $T$ , además de determinar cuantitativamente en base a información experimental y estadística, el deterioro de la estructura conforme a los cambios que se presenten con el tiempo, se presenta como un método evaluatorio que define un índice de reducción de resistencia estructural, por lo que se establece que existen diferencias entre las diferentes normas y guías

También, existen muy pocos ejemplos de aplicación de la "Guía Técnica para Evaluación del Deterioro de Estructuras de Concreto Reforzado, con comentarios", incluyendo su uso en la determinación del índice de edad  $T$ , por lo que no ha sido determinado con claridad la bondad y propiedades de su aplicación. Por lo que en la actual revisión de la presente norma (1990), no se planteó un proceso de uniformidad entre la Guía Técnica antes mencionada y la presente norma.

Sin embargo, después de la primera edición de la presente norma, la "Guía Técnica para Evaluación del Deterioro de Estructuras de Concreto Reforzado" incluye un gran número de resultados experimentales y de investigaciones analíticas, por lo que sería deseable, en el caso de edificaciones con problemas comparativamente severos de deterioro, se consulte la Guía para la realización de una inspección más detallada.

### 3.4.2 Índice de edad a usarse en el procedimiento de evaluación de primer nivel

El índice de edad a usarse dentro del procedimiento de primer nivel, se determinará con base en los resultados de la inspección de primer nivel y lo indicado en la tabla 3.4.1. Es decir, dentro de los valores de  $T$  que se presentan en la columna C de dicha tabla, se determinará al menor de ellos como el índice de edad para ser usado en el procedimiento de primer nivel.

#### Comentarios

El cálculo del índice de edad para el procedimiento de primer nivel, con base en la inspección de primer nivel, se deberá realizar considerando la información que sobre la condición del edificio pueda presentar el encargado del mismo. Para edificios en los que se señalan cambios en el uso del inmueble, ampliaciones arquitectónicas y cambios a gran escala en general, generalmente se verificará la concordancia entre los planos de diseño y la condición real de la estructura, por lo que será estrictamente necesaria la inspección o verificación de campo con los planos de diseño. También, para edificaciones con daño notable por intemperismo o por fuego, el responsable de la inspección verificará visualmente las condiciones en las que se encuentra el edificio.

### 3.4.3 Índice de edad a usarse en el procedimiento de evaluación de segundo nivel

El índice de edad a usarse dentro del procedimiento de segundo nivel, se determinará con base en los resultados de la inspección de segundo nivel, lo indicado en la tabla 3.4.2 y la ecuación 3.26.

$$T = (T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_N) / N \quad (3.26)$$

$$T_i = (1 - p_i) (1 - p_2)$$

donde,  $T_N$  : índice de edad del nivel de inspección

$N$  : número del nivel de inspección

$p_1$  : factor de reducción por deformación y agrietamiento estructural del nivel de inspección (consultar tabla 3.4.2). Sin embargo, cuando se considere que no es necesario realizar una inspección, este valor se podrá tomar igual a cero.

$p_2$  : factor de reducción por deterioro y envejecimiento del nivel de inspección (consultar tabla 3.4.2). Sin embargo, cuando se considere que necesario el realizar una inspección, este valor se podrá tomar igual a cero

**Tabla 3.4.1 Valores para cálculo del índice de edad,  $T$ , para uso dentro del procedimiento de primer nivel**

Concepto de inspección	Nivel	Valor de T (colocar dentro de un círculo en el lugar correspondiente)	Conceptos relacionados con la inspección de segundo nivel
Deformación	El edificio está inclinado; o bien, existencia clara de asentamiento diferencial	0.7	Arietamiento y deformación estructural
	Suelo artificial, o bien antiguo suelo de cultivo	0.9	
	Se puede comprobar a simple vista la deformación en vigas y columnas	0.9	
	Aquellos no contemplados en los conceptos anteriores	1.0	
Arietamiento en muros, columnas	Filtraciones de agua de lluvia, aparición de oxidación en acero de refuerzo	0.8	Arietamiento y deformación estructural
	Se puede notar a simple vista agrietamiento diagonal en columnas	0.9	
	Aparición de agrietamiento generalizado en muros exteriores	0.9	
	Filtraciones de agua de lluvia, sin embargo no se observa oxidación	0.9	
	Aquellos no contemplados en los conceptos anteriores	1.0	
Experiencia de daño	Existen evidencias	0.7	Arietamiento y deformación estructural, deterioro y envejecimiento
	Existe, sin embargo, las evidencias no son apreciables	0.8	
	No existe	1.0	
Uso	Se usaba para productos químicos, o bien está en uso	0.8	Deterioro y envejecimiento
	Aquellos no contemplados en los conceptos anteriores	1.0	
Edad del edificio	Superior a 30 años	0.8	Deterioro y envejecimiento
	Superior a 20 años	0.9	
	Menor de 20 años	1.0	
Condiciones del acabado	Notable desprendimiento y caída de la parte exterior por problema de envejecimiento	0.9	Deterioro y envejecimiento
	Notable desprendimiento y caída de la parte interior por deterioro	0.9	
	No hay problema en particular	1.0	

Tabla 3.4.2 Valores de los factores de reducción para la inspección de segundo nivel (\_\_\_ nivel): evaluación de segundo nivel

Elemento	Rango	Concepto					
		Agrietamiento y deformación estructural			Deterioro y envejecimiento		
		Nivel a		Nivel b		Nivel c	
		1. Agrietamiento relacionado con asentamiento diferencial	1. Problemas en elementos secundarios por deformación en losas y trabes	1. Agrietamiento estructural menor, no contemplado en los incisos a y b	1. Agrietamiento y expansión del concreto producto de oxidación en el acero de refuerzo	1. Aparición de oxidación en acero de refuerzo por agua de lluvia y drenaje	1. Deterioro del concreto por fenómenos de intemperismo debidos al agua de lluvia, drenaje, así como a la influencia de productos químicos
		2. Agrietamientos diagonales o por cortante en trabes, muros y columnas, fácilmente identificables a simple vista	2. Agrietamientos diagonales y columnas, no fácilmente identificables a simple vista	2. Deformación de losa y trabes, no contemplada en los incisos a y b	2. Intemperismo de concreto por fuego	2. Descomposición o imperfecciones del concreto	2. Intemperismo, desprendimiento y caída menor en materiales de acabados
		3. Agrietamientos verticales y por flexión en trabes y columnas, fácilmente identificables a simple vista	3. Agrietamientos verticales y columnas, fácilmente identificables a simple vista		4. Deterioro del concreto por productos químicos	3. Desprendimiento y caída notable del material de acabado	
I	i) más de 1/3 de todo el número de sistemas de piso ii) más de 1/9 de todo el número de sistemas de piso iii) menos de 1/9 de todo el número de sistemas de piso	0.017	0.005	0.001	0.017	0.005	0.001
		0.006	0.002	0	0.006	0.002	0
		0.002	0.001	0	0.002	0.001	0
II	i) más de 1/3 de todos los elementos referidos a una dirección del edificio ii) más de 1/9 de todos los elementos referidos a una dirección del edificio iii) menos de 1/9 de todos los elementos referidos a una dirección del edificio	0.050	0.001	0.004	0.050	0.015	0.004
		0.017	0.005	0.001	0.017	0.005	0.001
		0.006	0.002	0	0.006	0.002	0
III	i) más de 1/3 de todos los elementos ii) más de 1/9 de todos los elementos iii) menos de 1/9 de todos los elementos	0.15	0.045	0.011	0.150	0.046	0.011
		0.050	0.015	0.004	0.050	0.015	0.004
		0.017	0.005	0.001	0.017	0.005	0.001
Valor de los factores de reducción	Subtotales						
	Totales		P1			P2	

Nota: Después de seleccionar el valor para cada elemento marcando con un círculo, obtener los subtotales y totales.

### Comentarios

*La determinación del índice de edad con base en el procedimiento de primer nivel, del lado de la seguridad, ya que considera únicamente una descripción muy general de la estructura. Cuando las condiciones del edificio presentan cierta dificultad para su entendimiento, será insuficiente el uso de la inspección de primer nivel y será necesario realizar una inspección de segundo nivel.*

*El índice de edad a usarse dentro del procedimiento de segundo nivel se determina con base en la inspección de segundo nivel y considerando la suma total de los factores reductivos que se muestran en la tabla 3 4 2 Respecto a la definición de los factores reductivos existen las siguientes consideraciones.*

*-Dependiendo de la importancia de su efecto en las características de comportamiento ante sismo, el peso de los factores de reducción será para losa, trabes y muro-columna, de 1/9, 1/3 y 1, respectivamente.*

*-El peso de los factores de reducción para la zona donde se presentó un problema, si el área o la cantidad de elementos dañados es menor que 1/9, mayor que 1/9 y mayor que 1/3, serán de 1/9, 1/3 y 1, respectivamente*

*-El peso de los factores de reducción para el nivel del problema a, b y c, serán,  $(1/9+1/3+1)$ ,  $(1/9+1/3)$  y  $(1/9)$ , respectivamente.*

*-El peso de los factores de reducción para cuando se presentan dos conceptos a la vez será igual a 1, tanto para agrietamiento estructural y deformación, como para deterioro e intemperismo.*

*Cuando se presente la peor condición ante cualquiera de las combinaciones [agrietamiento estructural y deformación] y [deterioro e intemperismo] (es decir, cuando el nivel del fenómeno, a, b y c corresponda a una zona de 1/3), el total de los factores de reducción en cada caso será 0.3. Por lo tanto, el valor del índice de edad será  $T=(1-0.3)/(1-0.3)=0.49$ .*

#### 3.4.4 Índice de edad a usarse en el procedimiento de evaluación de tercer nivel

El índice de edad a usarse dentro del procedimiento de tercer nivel, por regla general se considera igual al calculado para el procedimiento de segundo nivel. Sin embargo, cuando se calculen los índices de resistencia y ductilidad con base en los resultados de una inspección minuciosa, la adecuación del índice de edad, podrá modificarse.

### Comentarios

*En el procedimiento de tercer nivel, pensando en el nivel de precisión que se requiere, se deberá contar al momento del cálculo del índice de resistencia, la resistencia a la compresión del concreto, el esfuerzo de fluencia en tensión del acero, para lo que se contará con los datos producto de una investigación detallada. Sin embargo, para llevar a cabo una investigación a detalle se requiere de tiempo y presupuesto adecuados. Por tanto, la presente propuesta de procedimiento de evaluación, primero se deberá determinar el valor del índice de*

*edad conforme al procedimiento de segundo nivel, y con base en este valor del índice de edad determinar el índice de comportamiento estructural usando el procedimiento de tercer nivel. Analizando los resultados se determinará la necesidad de realizar una inspección a mayor detalle.*

*Con base en la información obtenida de una investigación a detalle de la resistencia de los materiales, cuando se determinan los valores de los índices de resistencia y deformación, para considerar el efecto de deterioro de la estructura por la edad, se podrá modificar de una manera adecuada el índice de edad.*

### **3.4.5 Inspección del edificio**

#### **3.4.5.1 Inspección de primer nivel**

La inspección de primer nivel, contemplará una explicación de las condiciones del inmueble por la persona responsable del mismo; entonces, con base en la inspección de sitio, se analizarán y revisarán todos los conceptos presentados en la tabla 3.4.1.

#### **3.4.5.2 Inspección de segundo nivel**

En la inspección de segundo nivel, por regla general, se deberá revisar el edificio en su totalidad, visualmente desde los acabados, hasta la elaboración simplificada de un diagrama de distribución del edificio, considerando en el estudio e inspección todos los aspectos mencionados abajo. Sin embargo, dependiendo del estado y condiciones del agrietamiento y envejecimiento de la estructura, será necesario la eliminación de parte de los acabados, y realizar una inspección como se indica.

(i) Los sitios donde se presentan deformaciones y agrietamiento estructural, incluyendo la vecindad de los mismos.

(ii) Los sitios donde se presentan problemas de deterioro y envejecimiento estructural, incluyendo la vecindad de los mismos.

Conforme a la tabla 3.4.2 del procedimiento de inspección de segundo nivel, por regla general esta inspección se realizará en cada nivel y para los sitios donde se presentó el daño, así como la vecindad de los mismos; calculando finalmente los factores de reducción  $p$ . Se deberán excluir los niveles donde no sea posible realizar una inspección.

#### **3.4.5.3 Inspección detallada**

La inspección detallada considerará, además de la inspección estructural, las deficiencias que pudieran observarse de los planos y procedimientos de diseño. Dentro del proceso de inspección estructural, se deberá considerar la adición de datos e información de utilidad o necesaria para el cálculo del índice básico de comportamiento estructural ( $E_o$ ) de elementos columna, viga y muro, como son los conceptos siguientes: extracción de porciones de la estructura, eliminación parcial de los acabados, muestras y núcleos de concreto, etc.

(i) Resistencia y módulo de elasticidad del concreto.

(ii) Condiciones del refuerzo, y verificación de su distribución en la sección transversal.

(iii) Condiciones de construcción, re-evaluación de las condiciones de la sección transversal del elemento, considerando el agrietamiento y huecos producto del proceso de colado.

(iv) Re-evaluación de la resistencia de los materiales, considerando los fenómenos de intemperismo químico y envejecimiento del concreto, así como oxidación del acero de refuerzo.

### **Comentarios**

#### **3.4.5.1 Inspección de primer nivel**

*En el proceso de inspección de primer nivel, cuando no existen los planos de diseño necesarios para la determinación del índice de resistencia, será necesario elaborar un croquis apegado a las características de la estructura para lo que se requiere la inspección de los aspectos señalados en la tabla 3.4.1 de la norma. Con objeto de lograr un trabajo eficiente durante la inspección, se deberá consultar debidamente al responsable del procedimiento de cálculo del índice de resistencia, de manera de seleccionar adecuadamente los sitios a medir.*

#### **3.4.5.2 Inspección de segundo nivel**

*En el proceso de inspección de segundo nivel, se parte de la consideración que la inspección visual la realizará, por regla general, un técnico con conocimientos y experiencia en diseño, construcción y supervisión de estructuras de concreto reforzado. Los conceptos de inspección e investigación abarcan dentro de los fenómenos inusuales que deterioran la salud del elemento: el agrietamiento estructural, deformación, deterioro e intemperismo principalmente. Para cada concepto existen resultados experimentales y referencia de experiencias anteriores ante sismo que se conforma como puntos de referencia para clasificar a los daños en tres niveles (clasificación que se muestra en la tabla 3.4.2, como a, b y c). Se deberá hacer una revisión en sitio de los elementos y zonas de la edificación en los que se presenten este tipo de fenómenos similares. La clasificación del nivel de daño es subjetivo, es decir no se presenta una metodología cuantitativa, así el nivel "a" se refiere a un estado de la estructura notablemente malo, "b": malo, y "c": tolerablemente malo, constituyéndose en un proceso de evaluación cualitativo. Sin embargo, considerando la información y datos sobre daños en sismos anteriores se piensa que sería difícil establecer otro tipo de rangos o niveles de daño.*

*En el proceso de evaluación se puede pensar que se presentarán fenómenos o habrá conceptos no contemplados en el esquema de evaluación presentado en la norma. Cuando se presenten esos casos, deberán ajustarse a los casos a, b y c presentados en el apéndice. También, con el propósito de determinar el valor del índice de resistencia ante sismo del elemento donde se presenta el daño o problema, se considerará la importancia del elemento dentro del sistema estructural, presentando a los elementos divididos en tres grandes rubros, losas, trabes y muro-columna. Las uniones viga-columna y la estructura de cimentación, se excluyen por el momento debido a la dificultad de su inspección visual. En cuanto a la*

inspección visual, se podrá realizar haciendo una revisión de los diferentes conceptos sin haber eliminado los materiales de acabados, sin embargo, será deseable que para verificar el estado de agrietamiento de los elementos de concreto reforzado, la inspección visual se realice después de haber eliminado el material de acabado.

**Tabla 3.4.3 Aspectos necesarios para la verificación en campo de los planos de diseño, así como para la elaboración del croquis en caso de la inexistencia de dichos planos**

Concepto	Procedimiento de cálculo aplicable	Verificación en campo de los planos de diseño	Requerimiento de elaboración de croquis con medidas	Método aplicable	
				Procedimientos de primer y segundo nivel	Procedimiento de tercer nivel
Área de losas	Procedimiento de primer nivel	Δ	Δ	Calculo con base en los planos de diseño, o bien con base en croquis con dimensiones	—
Número de pisos, altura de entrepiso		Δ	Δ	Igual que arriba	—
Geometría de la sección transversal de columnas		Cambios, o bien deficiencias	Se requiere	Planos de diseño, o bien croquis dimensionados	Correcciones considerando deficiencias en el proceso constructivo, como deficiencias en las secciones transversales
Altura libre de columnas		Igual que arriba	Se requiere	Igual que arriba	Igual que arriba
Geometría de la sección transversal de muros		Igual que arriba	Se requiere	Igual que arriba	Igual que arriba
Muros parapeto, muros pretil		Igual que arriba	Se requiere	Igual que arriba	Igual que arriba
Geometría de muros con aberturas	Procedimiento de segundo nivel	Igual que arriba	Se requiere	Conforma el procedimiento general de 3.1	Igual que arriba
Refuerzo de columnas		—	No se requiere	Igual que arriba	Verificación de la localización del acero
Refuerzo de muros		—	No se requiere	Igual que arriba	Igual que arriba
Resistencia del concreto		—	No se requiere	—	—
Tipo de concreto (ligero, normal)		—	No se requiere	Planos de diseño, o bien inspección visual	Análisis de resultados de pruebas en núcleos de concreto, pruebas con esclerómetro, etc.
Resistencia al punto de fluencia del acero de refuerzo en muros y columnas		—	No se requiere	Conforma el procedimiento general de 3.1	En función de los requerimientos, pruebas en probetas de elementos estructurales.
Geometría de la sección transversal de trabes (incluyendo muros parapeto y pretil)	Procedimiento de tercer nivel	—	Se requiere	Planos de diseño, o bien croquis dimensionados	Correcciones considerando deficiencias en el proceso constructivo, como deficiencias en las secciones transversales
Claro libre de trabes		—	Se requiere	Igual que arriba	—
Resistencia al punto de fluencia del acero de refuerzo en trabes (incluyendo muros parapeto y pretil)		—	No se requiere	Conforma el procedimiento general de 3.1	En función de los requerimientos, pruebas en probetas de elementos estructurales

El símbolo Δ significa que se tienen los datos necesarios para realizar los cálculos

### **3.4.5.3 Inspección detallada**

*Será necesaria una inspección minuciosa para obtener la información a emplear dentro del procedimiento de evaluación de tercer nivel. Por ejemplo con objeto de verificar la resistencia a la compresión del concreto y el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo es necesaria la inspección de campo. Al mismo tiempo servirá para recopilar información sobre las futuras medidas a tomar para el refuerzo de la estructura (para este caso se definió el valor del índice igual a la unidad) El procedimiento de inspección deberá contemplar la extracción de núcleos de concreto, extracción de muestras de acero de refuerzo y eliminación total del material de acabado, procesos ante los que se deberá realizar una reparación posterior. Debido a que no será posible realizar este tipo de trabajos en cualquier parte de la estructura, será necesario el trabajo suficientemente coordinado del responsable del cálculo del índice de comportamiento estructural ante sismo con el responsable del trabajo de inspección para definir los sitios necesarios de inspección.*

### **3.4.5.4 Inspección cuando no existen los planos de diseño**

*Cuando no se cuenta con los planos de diseño, será necesario realizar una inspección sobre diversos conceptos para el cálculo de los índices de resistencia y configuración estructural. También, aún en el caso de existencia de planos de diseño, pero cuando se haya realizado alguna modificación estructural de gran escala, será indispensable verificar en campo los planos de diseño. El trabajo de inspección para definir parámetros de importancia para el cálculo de estos índices, se podrá llevar a cabo conjuntamente con la inspección necesaria para el cálculo del índice de edad. En la tabla 3.4.3 se muestra un conjunto de aspectos a considerar para la verificación en campo de los planos de diseño, o para la elaboración de croquis aproximados en el caso de la no existencia de dichos planos.*

*Referencias*

1. "Diseño sísmo-resistente de edificios de concreto reforzado de gran altura", Asociación Japonesa de Tecnología del Cemento. Autores originales: J.A. Blume, N.M. Newmark, L.H. Corning, PCA-EUA
2. Hirosawa Masaya, "Norma de evaluación de comportamiento ante sismo de estructuras existentes de concreto reforzado", Instituto de Investigación en Edificios del Ministerio de la Construcción, Tecnología de construcción, Nov. 1973.
3. Umemura Hajime, "Diseño dinámico sísmo-resistente de estructuras de concreto reforzado", editorial Shiseido, 1971.
4. Grupo de investigación en los métodos de diseño de concreto reforzado con acero corrugado, "Métodos de diseño de concreto reforzado con acero corrugado, Editorial Shiseido, 1971".
5. Okada, T. and Bresler, B., "Strength and ductility evaluation of existing low-rise reinforced concrete buildings-screening method", EERC Report, No.76-1. Univ. of California, Berkeley, Calif Jan.1976 (Traducción de aspecto importantes: Ingeniería de Concreto, 1975, Dic.)
6. "Propuesta de método de diseño ante sismo de estructuras de concreto reforzado", Columna temporal, No.61, 1976; o bien Reporte de Investigación de ERP "Métodos ERP de evaluación de comportamiento ante sismo de estructuras existentes de concreto reforzado y su refuerzo", 1976.
7. Instituto de Arquitectos de Japón, "Cargas sísmicas y comportamiento ante sismo de edificaciones", 1977.
8. Murakami, M. and Penzien, J., "Non-linear response spectra for probabilistic seismic design and damage assessment of reinforced concrete structures", EERC Report No.75-38, Univ. of California Berkeley, Calif. 1975, Nov.
9. Yamada M. Kawamura H., M. "Seguridad ante sismo de estructuras de concreto reforzado", Editorial Shiseido, 1976
10. Okada T. "Respuesta ante sismo de estructuras de concreto reforzado de pocos niveles y con muros estructurales (respuesta del modelo de un grado de libertad lateral)", Memorias del congreso anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1975.
11. "Relación entre la respuesta ante sismo y la degradación de rigidez considerando el efecto de carga cíclica", reporte de investigación No.3 de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Kinki, 1974.
12. "Análisis de la respuesta ante sismo de edificios de concreto reforzado de pocos niveles con muros estructurales y marcos", Memorias del congreso anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1976.
13. Cemento-concreto No.342, 1975.
14. Hirosawa Masaya, "Norma de evaluación de comportamiento ante sismo de estructuras existentes de concreto reforzado" (propuesta por el Instituto de Investigación en Edificios del Ministerio de la Construcción)(Parte 2, Ejemplo de aplicación de la norma y ejemplo de ejecución de la inspección; Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1973.
15. Instituto de Arquitectos de Japón, "Métodos de evaluación de comportamiento ante sismo y refuerzo de edificios habitacionales de concreto reforzado", 1975.
16. "Investigación general sobre la eliminación de falla por columna corta en estructuras de concreto reforzado (parte 3. resultados experimentales y resultados de campo)", Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1973.

17. Hirosawa Masaya, "Información experimental y análisis de la misma de muros estructurales en estructuras de concreto reforzado", Información de investigación en edificios No.6, Marzo de 1975, Instituto de Investigación en Edificios, Ministerio de la Construcción.
18. Instituto de Arquitectos de Japón, "Guía para diseño sismo-resistente de edificios de concreto reforzado bajo el concepto de capacidad última (propuesta) con comentarios", 1988.
19. Hirosawa Masaya, "Análisis de los resultados experimentales en muros estructuras de estructuras de concreto reforzado, (investigación sobre la ecuación de resistencia por cortante)": Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1981.
20. Hirosawa Masaya, "Seguridad de estructuras de concreto reforzado", Revista del Concreto, 1974, Enero.
21. "Seguridad de edificios existentes: seguridad ante sismo de edificios gubernamentales existentes en nuestro país", Ingeniería del Concreto, 1975, Dic.
22. Centro de Edificación de Japón, "Guía de diseño estructural y comentarios", edición 1988
23. Instituto de Arquitectos de Japón, "Norma de diseño de estructuras de concreto reforzado y comentarios", 1971.
24. "Pruebas ante carga cíclica y reversible de columnas de concreto reforzado con muros aleros (parte 1)", Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1973.
25. Hirosawa Masaya, "Investigación general sobre las características de comportamiento ante sismo de muros estructurales de concreto reforzado (parte 12)", Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1976.
26. "Respecto a la resistencia y capacidad de deformación de elementos de concreto reforzado", Reporte interno No.36 del comité No.3 de investigación sobre concreto reforzado, 1975.
27. Hirosawa, "Resistencia y ductilidad de elementos de concreto reforzado", Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1971.
28. Hirosawa Masaya, "Investigación general sobre las características de comportamiento ante sismo de muros estructurales de concreto reforzado (parte 13)", Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1976.
29. Hirosawa Masaya, Texto introductorio No.14 sobre diseño y cálculo de concreto reforzado y presforzado, "Refuerzo de zonas de elementos estructurales con abertura", Ingeniería del Concreto, 1975, Enero
30. Instituto de Arquitectos de Japón, "Resistencia requerida y capacidad de deformación en el diseño ante sismo de edificaciones", 1981 (pag. 162).
31. Instituto de Arquitectos de Japón, "Resistencia requerida y capacidad de deformación en el diseño ante sismo de edificaciones", 1990 (edición programada, edición revisada de la referencia 30).
32. Instituto de Arquitectos de Japón, "Datos e información relacionada con el diseño por capacidad última de estructuras de concreto reforzado", Folletos 14 y 18 de 1987.
33. Hirosawa Masaya, "Resistencia y ductilidad de elementos de concreto reforzado", Reporte de investigación en edificación No.76, 1977.
34. Nakano Y. Tesis doctoral Universidad de Tokio, "Investigación sobre la seguridad ante sismo de edificios de concreto reforzado considerando la teoría de la confiabilidad estructural", 1983.

35. Aoyama H. Sonobe Y., "Resultados de la investigación respecto a la capacidad ante sismo de estructuras de marcos-muros de concreto reforzado de mediana altura", Columna temporal No.112, 1989.
36. Instituto de Arquitectos de Japón, "Datos e información relacionada con el diseño por capacidad última de estructuras de concreto reforzado", septiembre de 1987, folleto No.17 - Resistencia y ductilidad de columnas de concreto reforzado (1- Introducción).
37. Hirosawa Masaya, "Información experimental, y análisis de la misma, sobre comportamiento ante sismo de muros estructurales de concreto reforzado", Reporte de investigación en edificios No.6, Instituto de Investigación en Edificios, Ministerio de la Construcción, 1975, Marzo
38. Arakawa, Suenaga "Investigación general encaminada a evitar la falla de columnas cortas de concreto reforzado (parte 51, respecto a la relación entre la ductilidad del elemento estructural y la cantidad de acero de refuerzo lateral)", Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1977.
39. Arakawa, "Investigación general encaminada a evitar la falla de columnas cortas de concreto reforzado (parte 36, Series experimentales DWC- efecto de la reducción de acero de refuerzo lateral en la parte media del elemento)", Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1976.
40. Hirosawa Masaya, "Investigación general encaminada a evitar la falla de columnas cortas de concreto reforzado (parte 21, Pandeo del refuerzo longitudinal)", Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1974.
41. Nakata S., "Investigación general encaminada a evitar la falla de columnas de concreto reforzado (parte 34, Serie experimental NS, cuando se emplea acero liso como refuerzo longitudinal)", Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1976.
42. Yoshioka, Takeda T. "Investigación general encaminada a evitar la falla de columnas de concreto reforzado (parte 40, Modo de falla por adherencia límites de la cuantía de acero en tensión de columnas de concreto reforzado con acero corrugado)", Memorias del Congreso Anual del Instituto de Arquitectos de Japón, 1976.
43. Centro de investigación y desarrollo tecnológico de Japón, Comité de desarrollo tecnológico en durabilidad de edificaciones, "Mejoramiento de la tecnología para incrementar la durabilidad de edificaciones de concreto reforzado", Editorial Shiseido, 1986.