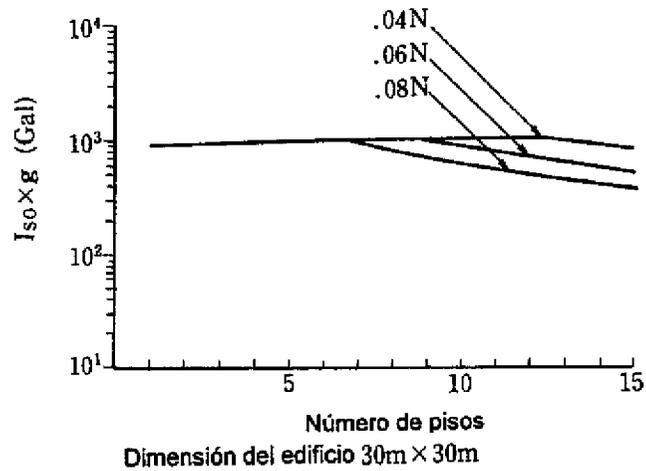
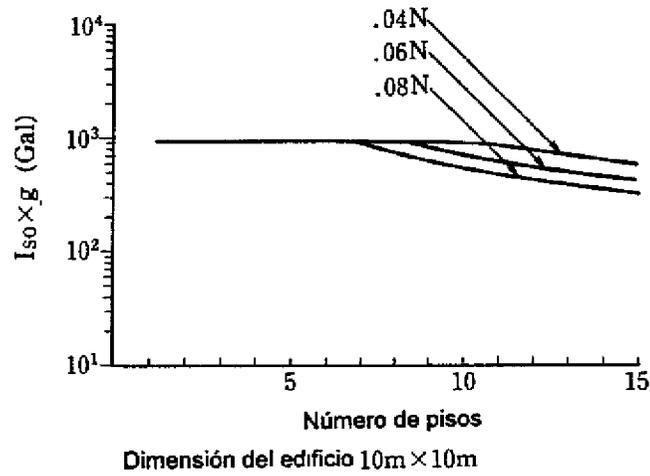
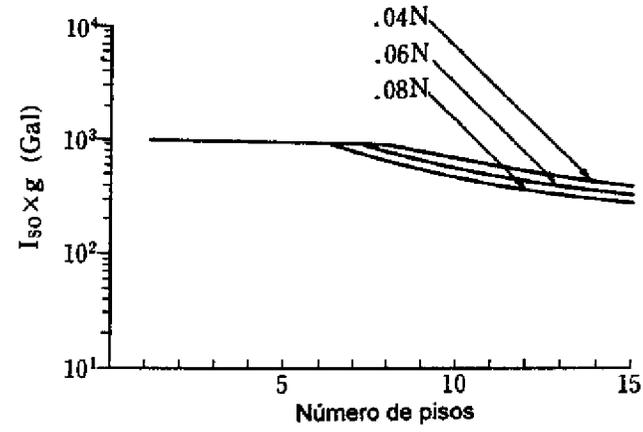


Referencias

1. Ozawa T., et al.; Investigación sobre la evaluación de la excitación incidente en edificios de unidades habitacionales (partes 6 y 7). Instituto de Arquitectos del Japón. 1987, octubre.
2. Kawamura B., et al.; Método simplificado para determinar el nivel y distribución de daño en edificios de concreto reforzado (parte 1). Instituto de Arquitectos del Japón, 1988, octubre.
3. Informe de investigación sobre los procedimientos de evaluación del comportamiento ante sismo de estructuras existentes de concreto reforzado. Asociación de Prevención de Desastres del Japón. 1989, marzo.
4. Kawamura B., et al.; Método de evaluación del comportamiento de estructuras de concreto reforzado considerando la interacción suelo-estructura (primera parte) Descripción del método de evaluación. Instituto de Arquitectos del Japón, 1989, octubre.
5. Nagashima I., et al.; Método de evaluación del comportamiento de estructuras de concreto reforzado considerando la interacción suelo-estructura (segunda parte) Espectro de respuesta de aceleraciones en la superficie del terreno. Instituto de Arquitectos del Japón, 1989, octubre.
6. Nagashima I., et al.; Método de evaluación del comportamiento de estructuras de concreto reforzado considerando la interacción suelo-estructura (tercera parte) factores de corrección de período y respuesta. Instituto de Arquitectos del Japón, 1989, octubre.
7. Kobayashi K., et al.; Características del espectro de respuesta considerando las características dinámicas del sismo y suelo. Instituto de Arquitectos del Japón, No. 273, 1978.
8. Kobayashi K., et al.; Características del espectro de respuesta considerando las características de estratificación del suelo. Instituto de Arquitectos del Japón, No. 282, 1979.
9. Ishihara K.; Fundamentos de Mecánica de Suelos. Editorial Kashima, p. 201. 1976.



g: aceleración de gravedad

Figura Apéndice I.2.6.10 Resultado de la evaluación ($I_{so} \times g$) (suelo tipo 2)

Tabla Apéndice I.2.6.2 Valor de Evaluación de estructuras de concreto reforzado I_{so} y coeficientes de amortiguamiento corregidas (Tipo 2)

Dimensión del edificio	Período del edificio	Número de pisos														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5m x 5m	0.08N	1.03	1.03	1.00	0.98	0.97	0.95	0.78	0.64	0.54	0.47	0.72	0.37	0.33	0.30	0.27
	0.60N	0.99	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94	0.94	0.76	0.65	0.57	0.50	0.45	0.39	0.36	0.33
	0.04N	0.94	0.97	0.97	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.78	0.68	0.60	0.53	0.46	0.42	0.39
	Ajuste de amortiguamiento(%)	0	±1	±2	±2	±2	±3	±3	±3	±3	±3	±3	±3	±3	±3	±3
10m x 10m	0.08N	0.95	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	0.91	0.77	0.67	0.59	0.52	0.46	0.42	0.38	0.35
	0.06N	0.90	0.96	0.99	1.00	1.00	0.99	0.98	0.98	0.87	0.77	0.68	0.61	0.55	0.50	0.46
	0.04N	0.86	0.91	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.92	0.83	0.75	0.68	0.63
	Ajuste de amortiguamiento(%)	0	±1	±1	±2	±2	±3	±3	±4	±4	±4	±4	±4	±5	±5	±5
30m x 30m	0.08N	0.91	0.97	1.02	1.04	1.04	1.04	0.96	0.83	0.73	0.64	0.57	0.51	0.46	0.42	0.39
	0.06N	0.88	0.94	0.98	1.01	1.03	1.04	1.04	1.04	0.98	0.88	0.79	0.71	0.65	0.60	0.55
	0.04N	0.86	0.90	0.94	0.97	0.99	1.01	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	0.98	0.91	0.85
	Ajuste de amortiguamiento(%)	0	0	±1	±1	±2	±2	±2	±3	±4	±4	±5	±5	±6	±6	±6

AI-3 RESPECTO AL MODELADO DE LOS ELEMENTOS

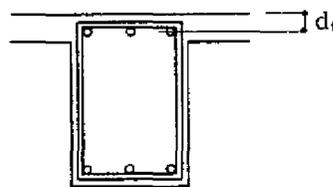
Respecto a los procedimientos de modelado de los elementos y sistemas estructurales cuando se emplea la Norma de Evaluación de Comportamiento ante Sismo, en el presente cuerpo se indican los comentarios y explicaciones básicas. Sin embargo, se indicarán algunos procedimientos de modelado de elementos estructurales considerando problemas específicos. Debe considerarse que los problemas presentados aquí no son generales, por lo que considerando como base lo explicado, se deberán considerar las condiciones de cada problema y determinar el modelado apropiado para cada caso.

Como una guía relacionada con el modelado de sistemas y elementos estructurales, se presentan las referencias 1, 2 y 3, las cuales se recomienda sean consultadas.

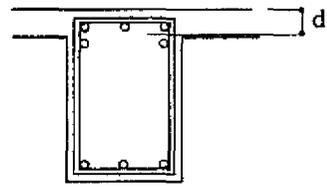
1. Modelación de traveses

1.1 Colocación del refuerzo longitudinal y recubrimiento

Cuando el refuerzo se coloque en un solo lecho $d_t = 5$ cm (cuando se trata de contratraveses, el recubrimiento se incrementará a 6 cm). También, cuando se tienen dos capas, el valor del recubrimiento medio será de 7 cm, y en la cimentación de 8 cm.



(a) 1 barras longitudinales en una capa



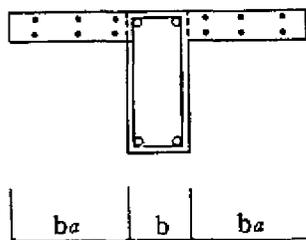
(b) 2 barras longitudinales en doble lecho

1.2 Efecto de la losa (refuerzo) en la resistencia última a flexión

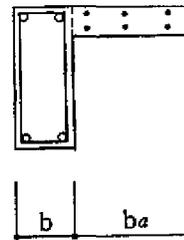
(1) Cuando se considera el refuerzo de la losa en flexión.

Se podrá considerar el acero de refuerzo que esté dentro del ancho de losa que contribuye a la resistencia última (b_a)¹⁾.

Nota 1) la anchura b_a se considerará de aproximadamente 1m.



(a) trabe en T

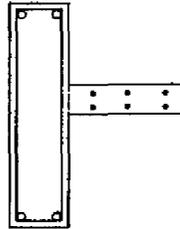


(b) trabe en L invertida

(2) Cuando se tienen casos excepcionales del acero de refuerzo en losas

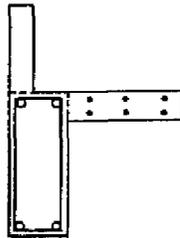
(a) Cuando se tienen volados al centro del peralte de la trabe

Existe un gran número de trabes con losas empotradas al centro de su peralte. Para ellas se recomienda ignorar el efecto de la losa.



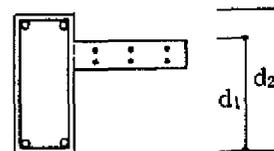
(b) Cuando se tiene barandal y muro patín.

Cuando se tiene esta configuración geométrica de los elementos estructurales, se recomienda considerar el efecto del refuerzo de la losa en la determinación de la resistencia a flexión de la trabe⁴⁾.



(c) Cuando existe un escalón en la losa y trabe.

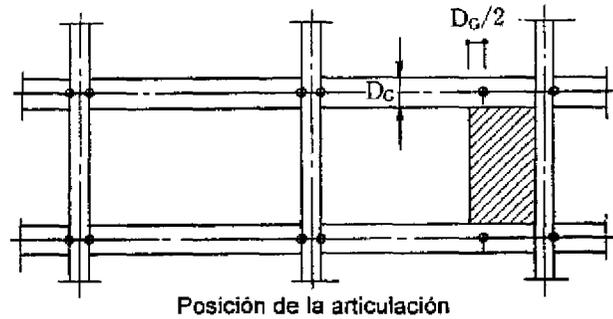
Cuando la dimensión del escalón no es muy grande, se considerará una contribución del refuerzo de losa en un porcentaje d_1/d_2 veces. Cuando el escalón es de grandes dimensiones, podrá despreciarse el efecto de este refuerzo de manera similar a lo indicado en el inciso (a).



1.3 Ubicación de las articulaciones plásticas en la trabe

(1) Para las traves de los pisos comunes

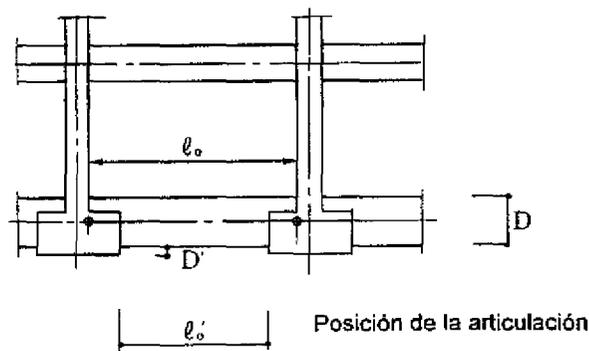
Cuando no existen muros patín, la ubicación de la articulación plástica será en el extremo de las traves. Cuando existe muro patín, la ubicación será a una distancia de $D_G/2$ a partir del costado exterior del muro patín (D_G : es el peralte de la trabe).



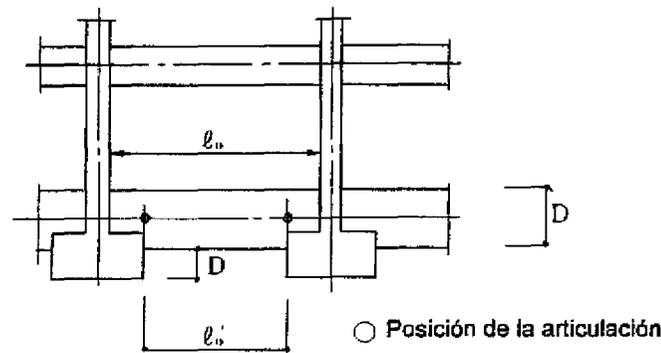
(a) sin muro patín (b) con muro patín

(2) Contrarabes de cimentación (Considerando el efecto de las zapatas de cimentación)

(a) Cuando $D' < \left(\frac{\ell_o}{\ell_o'} - 1\right) \times D$ la ubicación estará en el paño de la columna.



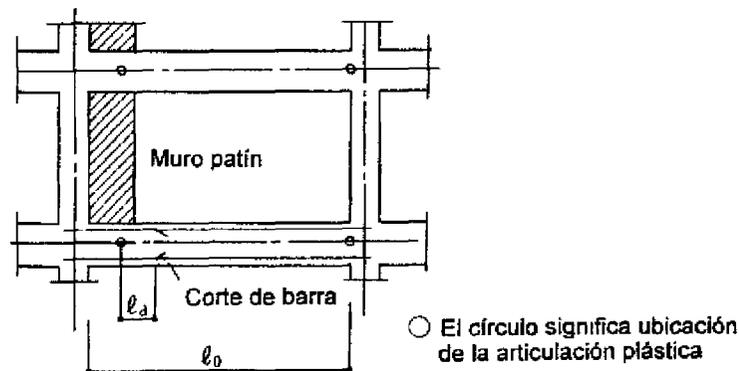
(b) Cuando $D' \geq \left(\frac{\ell_o}{\ell_o'} - 1\right) \times D$ la ubicación estará en el paño de la zapata.



1.4 Efecto del corte del refuerzo longitudinal

La ubicación del corte del refuerzo longitudinal, deberá estar a una distancia (ℓ_a) de la ubicación de la articulación plástica en las trabes. Además, deberá guardar relación con el diámetro de la barra tal como se indica enseguida.

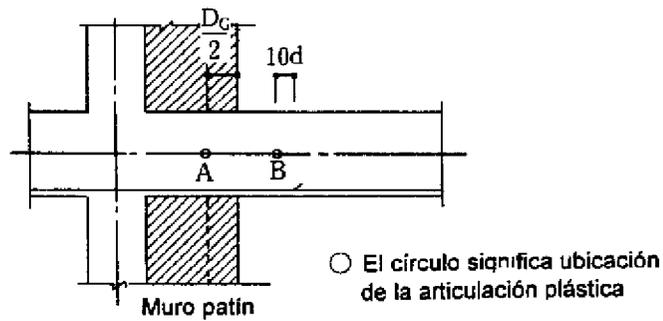
- $\ell_a \geq 30d$ cuando se corta el 100% del refuerzo
- $\ell_a \leq 10d$ cuando se corta únicamente el refuerzo no necesario
- $10d \leq \ell_a \leq 30d$ cuando se determina la ubicación de corte de barras considerando lineal la distribución de momentos



Nota 1. Se utilizan los mismos criterios independientemente de ser acero liso o corrugado.

Nota 2. Cuando la localización del corte de barras dentro de los planos de diseño es poco práctica, se recomienda una ubicación de $\left(\frac{\ell_0}{4} + 15d\right)$ respecto al paño de la columna.

Nota 3. Cuando $\ell_a > 10d$, la ubicación de la articulación plástica será la que presente una resistencia a la fluencia menor de los puntos A y B, y a partir de ella se determinará la ubicación $10d$. Sin embargo, la ubicación de la zona de corte de barras deberá respetar la distancia mínima a partir del paño de la columna.



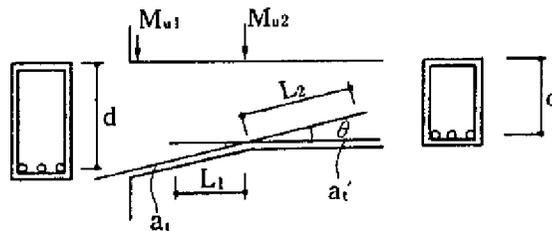
1.5 Uso de traves acarteladas

El menor de los momentos de resistencia a la flexión en el extremo de la trabe (M_{u1}), y en el inicio del acartelamiento (M_{u2}), se considerará como el momento resistente de la trabe acartelada y se considerará ubicado en el nudo de unión con el eje de la columna. Los momentos M_{u1} y M_{u2} se determinarán como se indica.

$$M_{u1} = 0.9 \times a_t \times \sigma_y \times d \times \cos \theta$$

$$M_{u2} = 0.9 \times (a_t \cdot \cos \theta + a_t') \times \sigma_y \times d'$$

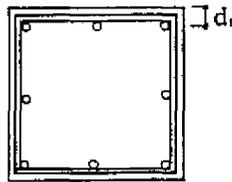
(sin embargo, $L_1, L_2 > 30$ veces el diámetro de la barra)



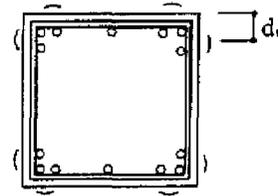
2. MODELACIÓN DE COLUMNAS

2.1 Colocación del refuerzo longitudinal

Cuando se tiene un solo lecho de refuerzo $d_t = 5\text{cm}$. Cuando se tienen dos lechos, $d_t = 7\text{cm}$.



(a) Acero en un lecho

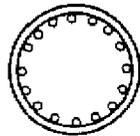


(b) Acero en dos lechos

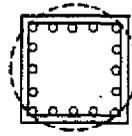
2.2 Consideración de columnas con secciones irregulares

(1) Columna de sección circular.

La columna de sección circular es la configuración estándar, sobre cuyo comportamiento se normaliza o se trata de obtener un comportamiento equivalente de columnas con secciones cuadradas ⁴⁾.



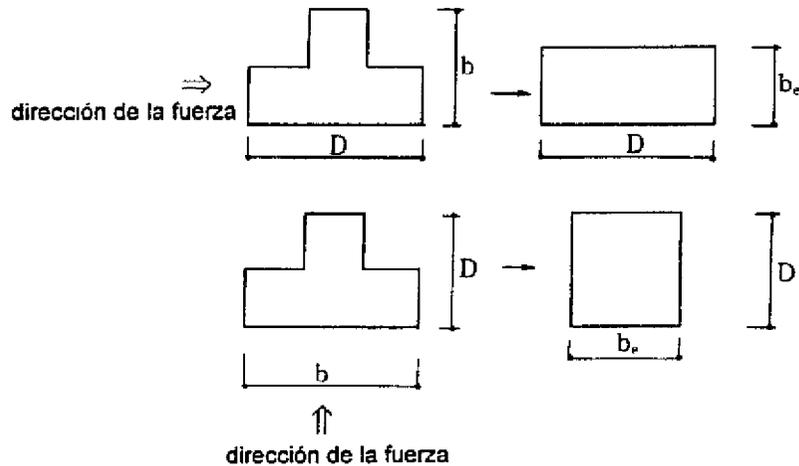
1 Columna circular



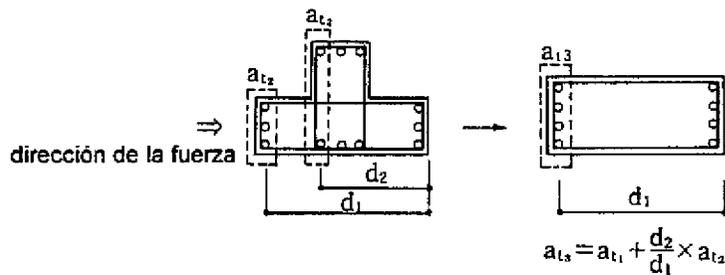
2 Sustitución por la columna cuadrada

(2) Columna con configuración en T, L o con muchas aristas

Las columnas con este tipo de sección transversal se modelan considerando únicamente la parte de la sección que permanece en forma de rectángulo en la dirección de la aplicación de carga. Para determinar la resistencia a flexión de este tipo de columnas, con respecto a la dirección de la aplicación de carga, la cantidad de acero de refuerzo en tensión (a_t) se considerará de manera similar a la cantidad a_t mostrada en la figura inferior. Respecto al cálculo de la resistencia a cortante, se considerará únicamente el acero de refuerzo transversal de la sección rectangular equivalente en dirección de la aplicación de carga.



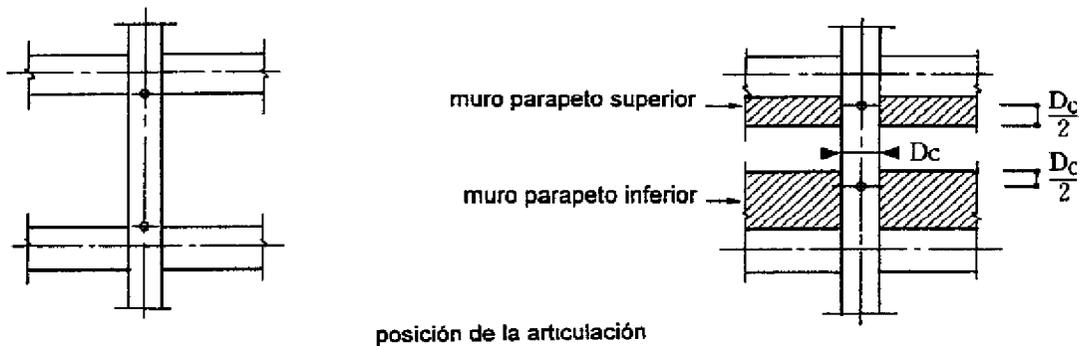
(a) sustitución de la forma



(b) sustitución de las barras

2.3 Ubicación de la articulación plástica en columnas

Cuando no se tengan muros parapeto la ubicación será en el paño de la trabe. Cuando exista este tipo de muros, las articulaciones se ubicarán a $D_c/2$ del paño hacia la zona de unión viga-columna (D_c : es el peralte de la columna).



(a) sin muros parapetos

(b) con muros parapetos

2.4 Consideraciones respecto al corte de barras

Las consideraciones serán similares a las indicadas en el inciso 1.4 para trabes, con la salvedad de cambiar el efecto del muro patín en la trabe, por el muro parapeto en la columna.

3. MODELACIÓN DE MUROS

3.1 Dimensiones de las aberturas

El tamaño de las aberturas, se determinará considerando las dimensiones de las puertas y ventanas. Se considerará un incremento de 50 a 100 mm por lado de las dimensiones marcadas en los planos de diseño (será necesaria una inspección de campo para verificar dimensiones).

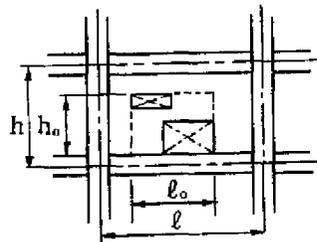
3.2 Procedimiento cuando existen varias aberturas en el muro

Cuando existen varias aberturas en los muros, las consideraciones se harán como se indica.

(1) Cuando las aberturas pueden conformar un conjunto

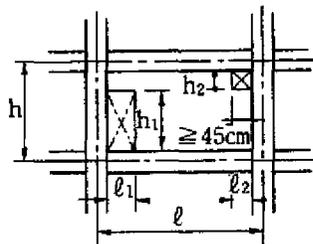
Con base en la relación $h_o \times l_o$, se puede obtener el coeficiente de relación de aberturas equivalente (β), por medio del cálculo del mismo como se indica en la expresión. Cuando $\beta \leq 0.4$ el elemento se considerará como muro sin aberturas, cuando $\beta > 0.4$ se considerará como se indica en el inciso 3.3(2) siguiente:

$$\beta = \sqrt{\frac{h_o \times l_o}{h \times \ell}}$$



(2) Cuando las aberturas se consideran de manera individual e independiente

Para el cálculo de la relación de abertura equivalente, se cambiará el producto ($h_o \times l_o$) por el producto ($h_1 \times l_1 + h_2 \times l_2$).

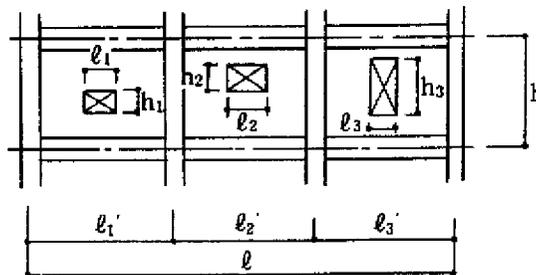


3.3 Consideración de aberturas de diferentes características en muros continuos

(1) La relación de aberturas equivalente de muros continuos (β) se calculará con la expresión siguiente. Cuando $\beta \leq 0.4$ el elemento se considerará como muro aislado, cuando $\beta > 0.4$ se considerará como se indica en el inciso (2)

$$\beta = \sqrt{\frac{\sum (h_o \times l_o)}{h \times l}}$$

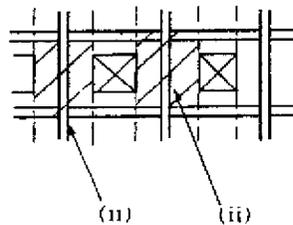
donde, $\sum (h_o \times l_o) = h_1 \times l_1 + h_2 \times l_2 + h_3 \times l_3$



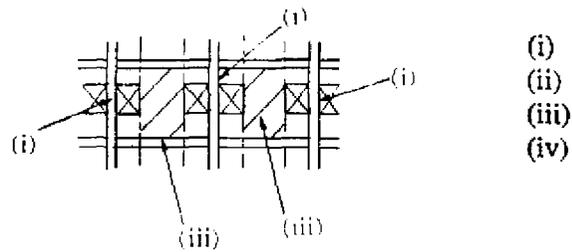
(2) Se calculará la resistencia a flexión y cortante de los diferentes tipos de elementos estructurales, como los mostrados y clasificados en la Figura Apéndice siguiente (columnas, columnas con muros patín, muros con columna en un extremo, muro sin columnas de borde y muros con columnas en ambos extremos ⁵⁾.

La evaluación de las columnas con muro patín y muros con columna en un solo extremo, se hará conforme se indica en el inciso 3.4.

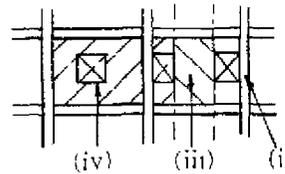
(a) Columna con muros patín



(b) Columna y muros separados



(c) Columna, muros con columnas y muros separados

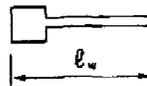


3.4 Evaluación de columnas con muro patín y muros con columna en un solo extremo

La evaluación de los elementos estructurales antes citados se hará en función de la relación de longitud del muro (l_w) y la altura de entrepiso (h_w), relación indicada con la letra α . La evaluación se hará como se indica enseguida⁵).

cuando $\alpha \geq 1.5$: se considerará como columna con muro patín

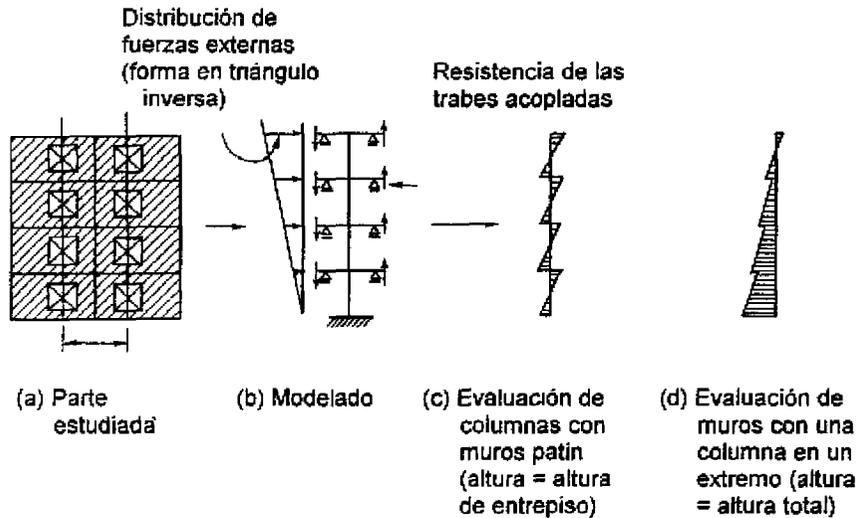
cuando $\alpha < 1.5$: se considerará como muro con columna en un solo extremo



donde, $\alpha = \frac{h_w}{l_w}$

También, si se desea realizar una clasificación y/o evaluación con base en las características de comportamiento de los elementos estructurales, se podrá emplear el procedimiento indicado enseguida³⁾.

Al aplicar una carga lateral triangular invertida a un modelo del sistema estructural, y producto del análisis elástico, se presentan puntos de inflexión dentro de la altura del entrepiso, se clasificarán los dos tipos de elementos como se indica en la figura.



Referencias

1. Guía de cálculo estructural con comentarios. 1986, (en japonés) Centro de Edificación del Japón.
2. Preguntas y respuestas sobre el nuevo Reglamento de Diseño Estructural (edición revisada y aumentada), (en japonés) 1985. Asociación de Arquitectos e Ingenieros Civiles del Japón.
3. Compendio de problemas estructurales en edificios: 1979 a la fecha (en japonés). Tecnología de la Construcción.
4. Resistencia y capacidad de deformación en el diseño antisísmico de edificios (en japonés), 1981, Instituto de Arquitectos del Japón.
5. Métodos de evaluación de edificios habitacionales existentes, con comentarios (evaluación de las características de comportamiento ante sismo) (en japonés). 1982, Compañía de Teléfonos y Telégrafos del Japón.

AI-4 SIMPLIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE TERCER NIVEL

1. INTRODUCCIÓN

Con respecto al uso del procedimiento de tercer nivel, el método se puede simplificar por medio de una modelación adecuada del sistema estructural a revisar, presentándose así un procedimiento de tercer nivel simplificado¹⁾. En esta parte se presenta una descripción de dicho procedimiento y se pretende sea una referencia del mismo.

Como se sabe, el procedimiento de evaluación del comportamiento ante sismo de sistemas estructurales consta de un método simple de primer nivel, hasta un procedimiento de relativa alta complejidad como es el método de tercer nivel, los tres procedimientos se presentan en el presente cuerpo. Estos procedimientos se basan en las características de los sistemas estructurales a evaluar, por lo que con el advenimiento de los avances en computación y herramientas de análisis estructural, los casos en los que se aplica en procedimiento de tercer nivel se ha incrementado notablemente. El procedimiento de evaluación de tercer nivel, se constituye en un procedimiento de gran precisión y sofisticación para evaluar la capacidad de comportamiento de las estructuras ante sismo, y aunque se puede llegar a conocer de una manera adecuada el mecanismo de falla de los sistemas estructurales, esto requiere de un gran consumo de tiempo y dinero. Sin embargo, para estructuras regulares se pueden realizar análisis de subestructuras planas obtenidas a partir del sistema global, determinar las características de comportamiento ante sismo y extrapolar los resultados al sistema global, con lo que se logra economizar tanto en tiempo como en dinero.

En esta parte del texto se presenta una simplificación del procedimiento de tercer nivel, en el que se considera un modelo simplificado del sistema estructural a evaluar. Este procedimiento se considera de gran aplicabilidad cuando en las grandes ciudades se requiere de la evaluación del comportamiento ante sismo de un número considerable de estructuras (tipo escuela o dormitorios de estudiantes, por ejemplo) en un tiempo reducido; además se considera como un procedimiento de gran efectividad cuando se requiere establecer las pautas a seguir en proyectos de rehabilitación de zonas urbanas de importancia. También, se considera de utilidad cuando se requiere evaluar de una manera simplificada y rápida la efectividad de los trabajos de refuerzo. En el inciso 10 del presente capítulo, se presenta una forma de ver los resultados de este procedimiento de evaluación, además se establece una evaluación comparativa entre los resultados obtenidos empleando este procedimiento simplificado y el procedimiento de tercer nivel a detalle, observándose una relación adecuada entre los mismos, por lo que se considera como un procedimiento de amplias perspectivas de uso.

Este procedimiento simplificado de tercer nivel, parte de seleccionar el conjunto de elementos estructurales representativos del comportamiento ante sismo de la estructura global, por lo que se extraen las columnas, traveses, muros, columna-muro representativa, se establece el modelo de los mismos, y se evaluará cada uno de ellos básicamente con los mismos lineamientos planteados por el procedimiento de tercer nivel. Sin embargo, como el objetivo de este procedimiento es la simplificación, a continuación se presentará la metodología simplificada para la determinación de los índices de configuración estructural S_0 y de edad de la estructura T . También, en la referencia 1), donde se plantea este procedimiento simplificado, se presenta también un planteamiento para determinar el índice por sismo G , el

cual a su vez fue modificado para presentarlo dentro del presente cuerpo como parte del procedimiento de evaluación del comportamiento ante sismo.

2. FILOSOFÍA BÁSICA

El procedimiento simplificado de tercer nivel, se sustenta en los puntos indicados en los incisos (1) al (5) siguientes.

(1) Con respecto a columnas individuales, se considerará una columna representativa de cada marco, y en cada dirección de análisis, se determinará el mecanismo de falla y la resistencia última de las mismas, y la resistencia de cada uno de los marcos se evaluará por medio de un factor representativo del número de columnas existentes en dicho marco.

(2) Respecto a columnas con muro patín y muros estructurales, se considerará uno solo de los que se piensen presentan comportamiento similar, y con base en los resultados obtenidos en ese elemento representativo afectados por un factor representativo del número de elementos, se evaluará el sistema estructural en su conjunto. Sin embargo, cuando se identifique plenamente un problema de irregularidad o no uniformidad en la distribución de los muros, se deberá seleccionar un modelo de mayor complejidad para su evaluación.

(3) Con respecto a columnas, columnas con muros patín y muros estructurales, cuando existan trabes de liga, estas trabes deberán considerarse dentro del modelado. Cuando existe un muro estructura perpendicular a cualquiera de los elementos estructurales verticales, el efecto del mismo se deberá considerar de una manera adecuada.

(4) Cuando se tienen columnas o columnas con muro patín, la presencia de parapetos deberá ser considerada en los cálculos.

(5) En las columnas y columnas con muro patín, en las que se presenten articulaciones plásticas en las trabes que inciden en la unión, estos momentos transmitidos a las columnas deberán distribuirse en las columnas inferior y superior de la unión, de manera que los elementos mecánicos obtenidos sean similares a los obtenidos de un análisis elástico. Cuando el sistema estructural es a base de muros, se calculará la resistencia lateral de cada entrepiso con base en los teoremas de trabajo virtual y considerando una distribución adecuada de fuerzas laterales externas.

3. MÉTODO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO ANTE SISMO DE LA ESTRUCTURA (I_{SD})

El procedimiento de cálculo simplificado del índice de comportamiento estructural para el procedimiento de tercer nivel I_{SD} , será como se indica.

$$I_s = E_o \times S_D \times T \quad (\text{Apéndice I.4.1})$$

donde, E_o (índice básico de comportamiento ante sismo), se calculará para cada nivel del edificio conforme se indica en el capítulo 3. El índice S_D (índice de configuración estructural), y el índice T (de edad) se calcularán de manera aproximada como se indica en los capítulos 8 y 9, respectivamente. En algunos niveles no habrá diferencias entre ambos.

4. MÉTODO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE BÁSICO DE CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA (E_0)

(1) El índice básico de comportamiento estructural E_0 se calculará de manera similar a lo indicado en la Norma de Evaluación de Comportamiento ante Sismo, por medio de las expresiones (Apéndice I.4.2) ó (Apéndice I.4.3). Como se indica en el inciso (2), por regla general, el valor del índice E_0 se determinará para cada nivel.

$$E_0 = (n + 1)/(n + i) \times \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2} \quad (\text{Apéndice I.4.2})$$

donde, n es el número de niveles, i representa el número de nivel en consideración.

Donde, n es el numero de niveles del edificio, i es el numero de nivele del entrepiso en estudio, 1 para el primer nivel y n para el ultimo nivel. También, E_1 , E_2 y E_3 , son los valores máximos del índice E_0 considerando los valores de C y F de cada uno de los tres grupos de elementos en el modelo simplificado, como se explica en el inciso 5. Representan las características de comportamiento inherentes de cada grupo, se determinan como se indica.

$$E_1 = C_1 \times F_1$$

$$E_2 = C_2 \times F_2$$

$$E_3 = C_3 \times F_3$$

F_1 : valor del índice F , para el grupo de elementos con valor de índice F menor (primer grupo).

F_2 : valor del índice F , para el grupo de elementos con valor de índice F medio (segundo grupo).

F_3 : valor del índice F , para el grupo de elementos con valor de índice F mayor (tercer grupo).

C_1 : índice C para el primer grupo

C_2 : índice C para el segundo grupo

C_3 : índice C para el tercer grupo

$$E_0 = (n + 1)/(n + i) \{ (C_1 + \alpha \cdot C_2 + \alpha \cdot C_3) \times F_1 \} \quad (\text{Apéndice I.4.3})$$

donde, α y α , son iguales a los valores mostrados en la Norma de Evaluación de Comportamiento ante Sismo.

(2) El valor del índice E_0 para cada entrepiso se determinará con base en el proceso siguiente.

(i) Cuando no existen columnas de comportamiento frágil, el valor del índice E_0 para un entrepiso dado se obtendrá del mayor de los valores calculados con las expresiones Apéndice I.4.2 o apéndice I.4.3.

(ii) Cuando existen columnas de comportamiento frágil, el valor del índice E_o para un entrepiso dado se obtendrá del mayor de los valores calculados usando las expresiones Apéndice I.4.2 y I.4.3 despreciando la existencia de las columnas de comportamiento frágil, y de usar la expresión Apéndice I.4.3 considerando las columnas de comportamiento frágil.

(iii) Cuando existen elementos secundarios columnas de comportamiento frágil, el valor del índice E_o para un entrepiso dado se obtendrá de considerar dichas columnas dentro de la expresión Apéndice I.4.3.

(iv) Cuando existen elementos secundarios columnas de comportamiento predominantemente de cortante el valor del índice E_o para un entrepiso dado se obtendrá con base en la expresión Apéndice I.4.3.

5. MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS SISMORESISTENTES Y MODELACIÓN ESTRUCTURAL

Para el cálculo aproximado de los índices de resistencia, C , y de ductilidad, F , de un edificio, se harán las siguientes consideraciones de modelación simplificada del sistema estructural.

“Modelo de marco con columnas independientes”.

“Modelo de marco con columnas y muro patín”.

“Modelo de marco con muros independientes”.

Cada uno de este tipo de modelos se planteará como se indica abajo.

5.1 Subestructuración del modelo estructural

Para la dirección corta de las estructuras, se podrá modelar el sistema considerando únicamente una columna representativa y las traveses a ambos lados de la misma, resultando un modelo de hueso de pescado como en la Figura Apéndice I.4.1.

5.2 Método de selección de la columna representativa

La selección de la columna representativa para el modelo de la estructura se hará considerando en los conceptos (1) al (4) que aparecen abajo, tomando en cuenta que estos están definidos por orden de importancia.

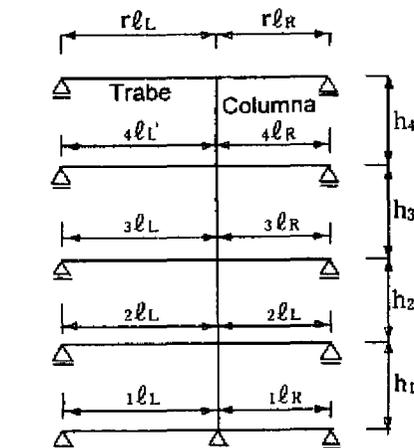
(1) Se seleccionará la columna del primer nivel cuya sección transversal $b \times D$, y altura de entrepiso h_0 sea los que tienen el mayor número de elementos.

(2) Con respecto a la clasificación anterior, cuando se tienen grupos de elementos con 2 o más columnas, se seleccionará la columna que representa al grupo cuya relación h_0/D es menor.

(3) Respecto a la columna representativa, si las traveses que inciden en ella pueden estar afectadas por el comportamiento de un muro estructural perpendicular, se seleccionará aquellas columnas que no tengan este tipo de influencia.

(4) Si dentro de las columnas seleccionadas existen traveses incidentes con dimensiones de sección transversal y longitudes de claro varias, se seleccionará aquella columna cuya trabe incidente sea la que se considere que tiene mayor representatividad.

(5) Cuando sea difícil la selección de una sola columna representativa, se aceptará el plantear un modelo con un número mayor de columnas en los entrepisos.



$$i\ell_L : i\ell_R = i\alpha_u : i\alpha_D$$

$$i\ell_L + i\ell_R = i\ell$$

En donde $i\alpha_u$, $i\alpha_D$: cuantía de acero superior e inferior en tensión de la trabe del nivel i (cm^2)

(se consideran las barras efectivas de la losa para $i\alpha_u$)

$i\ell$: longitud de claro de la trabe del nivel i (cm)

Figura Apéndice I.4.1 Modelo de una columna aislada

5.3 Procedimiento de selección de la longitud del claro y de la altura de entrepiso de la subestructura

(1) La altura de entrepiso considerado para el modelo de la Figura Apéndice I.4.1, h_i se considerará a partir del eje de las traveses de cada nivel.

(2) El claro de trabe de cada nivel del modelo de la Figura Apéndice I.4.1, ℓ_L y ℓ_R (considerados a partir del eje de la columna hasta los puntos de inflexión de las traveses de la izquierda y de la derecha, respectivamente), se determinarán a partir de considerar que la fuerza lateral se aplica de izquierda a derecha, determinando bajo esa condición los puntos de inflexión de las traveses del modelo.

5.4 Modelo de la subestructura cuando se tienen columnas con muro patín

Cuando se tienen columnas con muro patín, sobre todo en las direcciones cortas de los sistemas estructurales, se considerará una sola de estas columnas como la representativa de todas las columnas con muro patín que existan en la estructura. En realidad se obtendrá un modelo similar al planteado para el caso de columnas independientes (Figura Apéndice I.4.2). Para la selección de la columnas con muro patín representativa, se recomienda considerar los conceptos vertidos enseguida.

(1) Con base en la definición de la altura libre del muro patín h_0 , así como la longitud de la columnas con muro patín ℓ_w (como se muestra en la Figura Apéndice I.4.2), se deberá tomar en cuenta el tipo o características de columnas con muro patín que tengan un mayor número de elementos dentro de la estructura como el representativo de la misma.

(2) Se pueden considerar tantos parámetros como se desee para el caso de columnas con muro patín, en cuyo caso la selección del elemento representativo se tornara compleja; pero si el numero de parámetros a revisar se puede reducir a únicamente la dimensión l_w , la selección del elemento representativo estará definido por la dimensión l_w que represente el valor medio del conjunto de elementos en el sistema.

(3) Cuando sea difícil reducir a un solo elemento representativo en el caso de columnas con muro patín, se podrá considerar un modelo estructural con más de un elemento vertical representado por las columnas con muro patín.

La selección del claro de trabe y altura de entrepiso para el modelo a base de columnas con muro patín, se hará de manera igual a lo planteado para los elementos columnas independientes como se indica en el inciso 5.3 del presente cuerpo. Sin embargo, para la determinación de la resistencia de traveses y la ubicación de su punto de inflexión se deberá considerar el efecto restrictivo del muro patín.

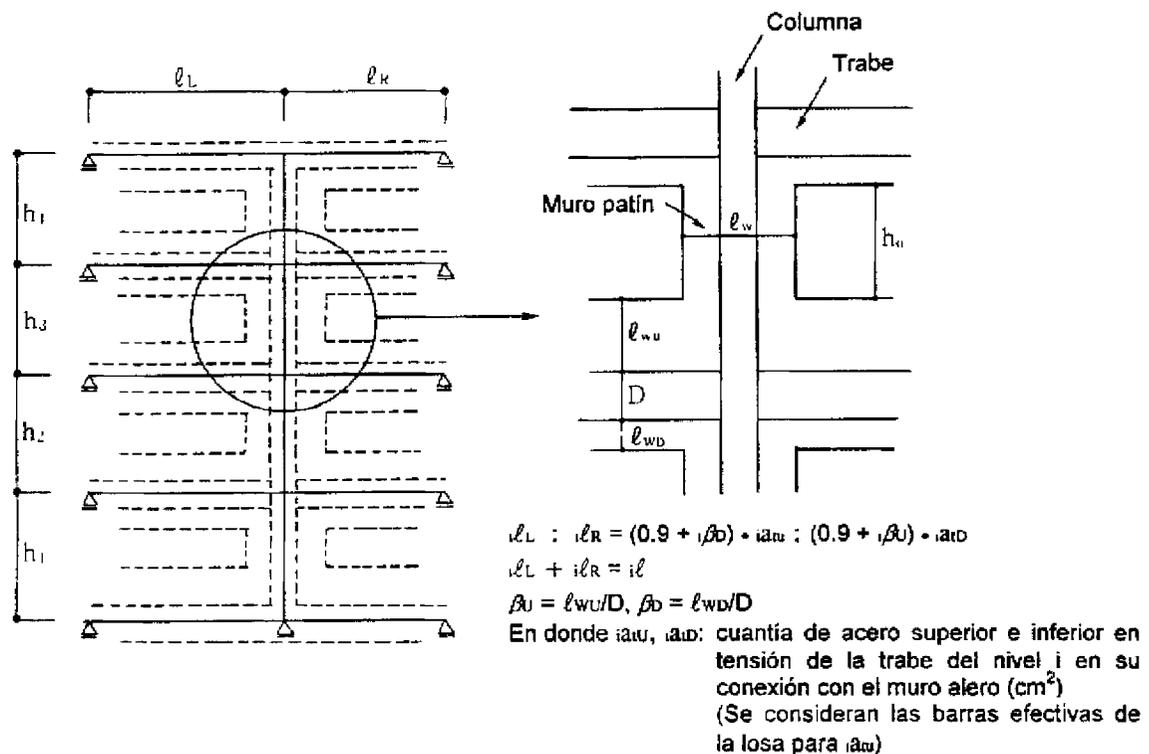


Figura Apéndice I.4.2 Modelo de una columna aislada con muros patín

5.5 Modelación de la subestructura considerando muros estructurales

Se considerará un muro representativo de todos los que componen al sistema estructural, realizando un modelo similar al planteado para columnas y columnas con muro patín, como se muestra en la Figura Apéndice I.4.3.

Para la selección del muro representativo, se deberán considerar los conceptos vertidos a continuación. Igualmente, la definición de las longitudes de claro de traveses y altura de entrepiso se harán conforme se indica en el inciso 5.3 del presente cuerpo.

(1) Por regla general, el muro representativo será aquel que sea continuo desde el primer nivel hasta el último nivel.

(2) Se seleccionará como muro representativo a aquel conjunto de elementos que representen la muestra con mayor número de elementos de igual longitud del muro (definido como l , y medido a partir de los ejes de las columnas de borde), siendo este un parámetro común para los muros continuos en toda la altura de la estructura.

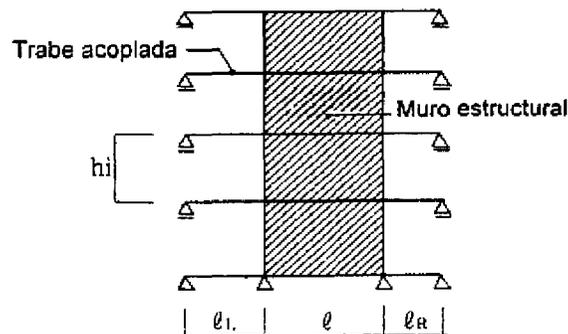
(3) Cuando los parámetros antes mencionados no sean definitivos para seleccionar un solo tipo de elementos, se seleccionará el muro que tenga el área tributaria de sistema de piso menor.

(4) Cuando existen diferentes tipos y condiciones de traveses de borde, se seleccionará al muro que tenga el menor número de traveses de borde.

(5) Cuando se tienen huecos en los muros del sistema estructural, se seleccionará al muro que presente la relación de huecos mayor.

(6) Cuando exista un muro continuo que abarque dos claros del sistema estructural, éste se seleccionará como elemento representativo. La resistencia del muro continuo en dos claros se determinará del producto de la resistencia calculada para el muro simple por el número de claros que abarque el muro continuo.

(7) Cuando se tienen únicamente entre 2 y 3 tipos diferentes de muros estructurales, se deberá considerar el modelo de cada uno de ellos. Cuando existan algunas diferencias en cuanto a número de niveles y longitudes de los mismos, se recomienda considerar estos en el modelo del sistema.



Se determinan las longitudes de claro l_L y l_R de las traveses acopladas de acuerdo con (1) y (2) de la sección anterior

Figura Apéndice I.4.3 Modelo del muro aislado

6. MÉTODO DE CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE RESISTENCIA (C) Y DUCTILIDAD (F)

El cálculo de los índices de resistencia C y ductilidad F para elementos estructurales como columnas aisladas, columnas con muro patín y/o muros estructurales se hará como se indica.

6.1 Índices de resistencia C y ductilidad F para las columnas individuales de los modelos estructurales

El valor del índice de resistencia C para las columnas individuales de los modelos estructurales, se determina conforme se indica:

$$C_{ci} = Q_{emi} / \Sigma W_i \quad (\text{Apéndice I.4.4})$$

donde, C_{ci} : Separación interior mayor o igual a $5.0d_a$ entre las anclas en sentido transversal

Q_{emi} : Separación de trabe existente y separación en sentido longitudinal

ΣW_i : Peso de la parte del edificio superior al entrepiso en estudio

El modo de falla se determinará con base en la Figura Apéndice I.4.4.

Cuando el modo es de flexión en columnas (CB), el valor del índice F se calculará conforme la indicación de la norma de evaluación del comportamiento ante sismo. El cálculo del índice F para otro tipo de modos de falla, se determina como se indica abajo.

Modo de cortante en columnas (CS) : F = 1.0

Modo de cortante en trabes (BS) : F = 1.5

Modo de flexión en trabes (BB) : F = 3.0

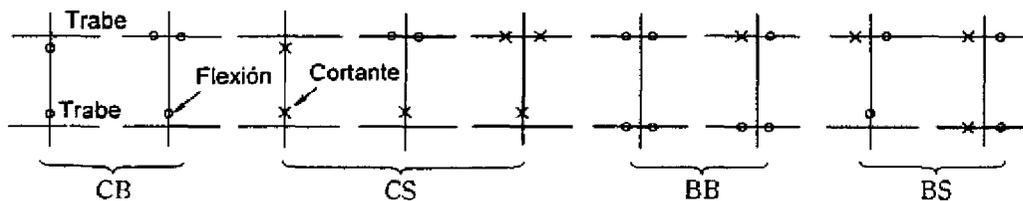


Figura Apéndice I.4.4 Evaluación del mecanismo de falla de columna

6.2 Índices de resistencia C y ductilidad F para las columnas con muros patín

El índice de resistencia se calcula como se indica:

$$C_{si} = Q_{smi} / \Sigma W_i \quad (\text{Apéndice I.4.5})$$

- donde, C_{si} : índice de resistencia de la columna con muro patín en el nivel i
 Q_{smin} : fuerza cortante en la columna al momento de presentarse el mecanismo del nivel i
 ΣW_i : peso total del edificio desde el nivel i hacia arriba

El modo de falla al momento de presentarse el mecanismo se determinará con base en la Figura Apéndice I.4.5.

Cuando el modo es de cortante en traveses (BS), el valor de F será 1.5. Cuando el modo es de flexión en traveses (BB), el valor de F será 3.0. Cuando se presente cualquier otro tipo o modo de falla, el valor de F será 1.0.

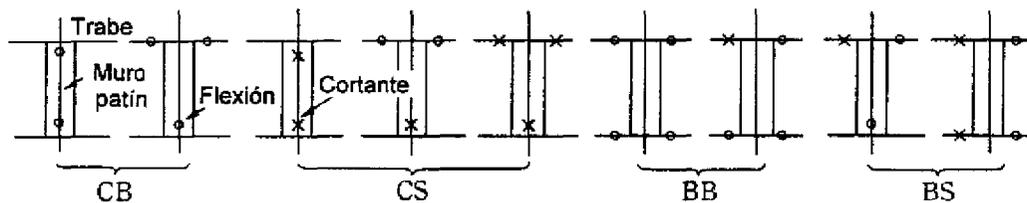


Figura Apéndice I.4.5 Evaluación del mecanismo de falla de la columna con muros aleros

6.3 Índices de resistencia C y ductilidad F para muros individuales

El valor del índice de resistencia (C) para muros individuales de los modelos estructurales, se determina conforme se indica.

$$C_{wi} = Q_{wmi} / \Sigma W_i \quad (\text{Apéndice I.4.6})$$

- donde, C_{wi} : Índice de resistencia del muro en el nivel i
 Q_{wmin} : fuerza cortante en el muro al momento de presentarse el mecanismo en el nivel i . Mecanismo que se calcula considerando la distribución uniforme de fuerzas laterales y el procedimiento de análisis al limite presentado en el inciso 6.4.
 ΣW_i : peso total del edificio desde el nivel i hacia arriba

El valor del índice de ductilidad F al momento de presentarse el mecanismo de falla del modelo, se considerará como se indica abajo.

Cortante en muros : $F = 1.0$

Flexión en la base de muros : $F =$ valor calculado según la norma de evaluación del comportamiento ante sismo

Rotación : $F = 3.0$

6.4 Cálculo de la resistencia de la estructura a base de muros individuales

La resistencia a fuerzas laterales de la subestructura considerando los muros estructurales Q_{WM} , se determinará considerando la fluencia en flexión de la base del muro, o la rotación por falla de la cimentación del mismo. Para cada uno de los casos se determinará la resistencia ante cargas laterales producto de un análisis al límite, considerando una distribución uniforme de las cargas laterales.

Sin embargo, la fuerza cortante lateral en el muro del primer nivel determinada con este procedimiento, si resultase superior a la resistencia a cortante lateral del muro, calculada como se indica en la norma de evaluación de comportamiento ante sismo, la fuerza lateral aplicada en el muro individual del modelo será el valor de la fuerza cortante de colapso.

(1) Cuando la resistencia lateral esta determinada por la fluencia del muro en su base por flexión.

Con base en la Figura Apéndice I.4.6, el cálculo de la resistencia lateral del modelo del muro individual Q_{WBU} definida por las expresiones Apéndice I.4.7 a I.4.9, se obtendrá del equilibrio de momentos en el punto A de la base del muro, considerando los momentos de volteo del muro mismos, así como los elementos mecánicos que se generen en los elementos de la vecindad. Todo lo anterior con base en la aplicación de las fuerzas laterales externas.

Momento exterior: M_{ov}

$$M_{ov} = P \sum_{i=1}^n h_i \quad (\text{Apéndice I.4.7})$$

donde, P : fuerza exterior lateral en cada nivel (distribución uniforme)
 h_i : Altura de entrepiso del nivel i (consultar Figura Apéndice I.4.6)
 n : número de niveles con muro continuo

Momento resistente: M_{WR}

$$M_{WR} = M_{WU} + \sum_{i=1}^n \{M_{Li} + M_{Ri} + (Q_{Li} + Q_{Ri} + Q_{TLi} + Q_{TRi})l_w / 2 \quad (\text{Apéndice I.4.8})$$

donde, M_{WU} : momento último de flexión en la base del muro del primer nivel
 $M_{Li} + M_{Ri}$: equilibrio de momentos ultimo de las traves de borde en los extremos derecho e izquierdo del muro en el nivel i
 $Q_{Li} + Q_{Ri}$: equilibrio de fuerzas cortantes al momento de alcanzar el estado de momento último en las traves de borde en los extremos derecho e izquierdo del muro en el nivel i
 $Q_{TLi} + Q_{TRi}$: equilibrio de fuerzas cortantes al momento de alcanzar el estado de momento último en las traves perpendiculares de los extremos derecho e izquierdo del muro en el nivel i
 l_w : longitud del muro medida a partir de los ejes de las columnas de borde
 Σ : significa la sumatoria de los efectos de las traves desde el nivel 1 hasta el último nivel (consultar la Figura Apéndice I.4.6)

Resistencia lateral del modelo estructural con muros individuales Q_{WBU}

$$Q_{WBU} = n \cdot P \quad (\text{Apéndice I.4.9})$$

donde, P : valor de la fuerza externa determinada con base en las expresiones (Apéndice I.4.7) o (Apéndice I.4.8).

(2) Expresión para determinar la resistencia a cortante de un muro estructural

Con base en la sismología mostrada en la Figura Apéndice I.4.7, y pensando en el equilibrio de momentos en el punto A definido en el centro del claro de la contratrabe de cimentación, se obtienen las expresiones Apéndice I.4.10 y I.4.11, que permiten calcular la resistencia ante cargas laterales del modelo subestructurado de los muros estructurales Q_{WBU} .

Momento exterior M_{ov}

$$M_{ov} = P \sum_{i=1}^n h_i \quad (\text{Apéndice I.4.10})$$

donde, P : fuerza exterior lateral en cada nivel (distribución uniforme)
 h_i : Altura de entrepiso del nivel i (consultar Figura Apéndice I.4.7)
 n : número de niveles con muro continuo

Momento resistente M_{WR}

$$M_{WR} = \ell_w / 2 + \sum_{i=1}^n \{M_{Li} + M_{Ri} + (Q_{Li} + Q_{Ri} + Q_{TLi} + Q_{TRi})\ell_w / 2 \quad (\text{Apéndice I.4.11})$$

donde, N : carga axial en el muro (consiste en la suma de las cargas muertas y vivas que actúan en el área tributaria del muro en todos los niveles, incluyendo las contratrabes de cimentación). Sin embargo, si este nivel de carga axial resulta superior a la resistencia de la estructura de cimentación en compresión, se tomara el valor de la resistencia de la estructura de cimentación a compresión.

$M_{Li} + M_{Ri}$: sumatoria de los momentos últimos de flexión en las trabes de borde de los extremos izquierdo y derecho en el nivel i

$Q_{Li} + Q_{Ri}$: sumatoria del cortante al momento de alcanzar la resistencia ultima por flexión en las trabes de borde de los extremos izquierdo y derecho en el nivel i

ℓ_w : longitud del muro medida a partir de los ejes de las columnas de borde

Σ : significa la sumatoria de los efectos de las trabes desde el nivel 1 hasta el ultimo nivel (consultar la Figura Apéndice I.4.6)

Resistencia lateral del modelo estructural con muros individuales Q_{WBU}

$$Q_{WBU} = n \cdot P \quad (\text{Apéndice I.4.12})$$

donde, P : valor de la fuerza externa determinada con base en las expresiones (Apéndice I.4.10) o (Apéndice I.4.11).

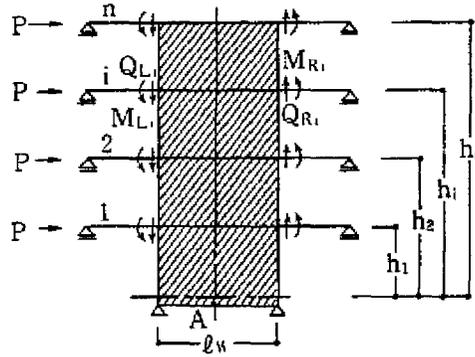


Figura Apéndice I.4.6 Mecanismo de falla por flexión en la base del muro

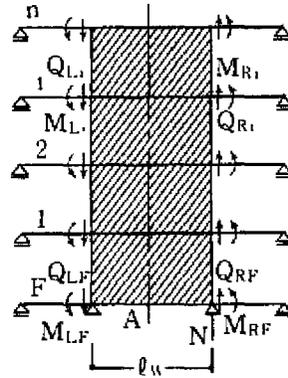


Figura Apéndice I.4.7 Modelo de volteo del muro

7. PROCEDIMIENTO DE AGRUPAMIENTO DE LOS ELEMENTOS SISMORRESISTENTES

Se determinarán tres grupos de elementos independientes, en los que se determinará el índice de ductilidad del modelo a base de columnas independientes, el índice del modelo a base de columnas con muros patín, y el índice del modelo a base de muros estructurales; finalmente el valor del índice de ductilidad F se obtendrá de la combinación de índices de cada uno de los modelos antes mencionados que produzca el mayor valor del índice E₀. El cálculo del índice de resistencia de cada uno de los grupos se muestra en la parte inferior.

$${}_jC_i = ({}_jC_{ci} \times K_c) + ({}_jC_{si} \times K_s) + ({}_jC_{wi} \times K_w) \quad (\text{Apéndice I.4.13})$$

donde, ${}_jC_i$: índice de resistencia del grupo de elementos j, del entrepiso i.

${}_jC_{ci}$: índice de resistencia de las columnas clasificadas dentro del grupo j para el entrepiso i

K_c : número de columnas del caso anterior

${}_jC_{si}$: índice de resistencia de muros con columnas de borde que pertenecen al grupo j del entrepiso i

K_s : número de elementos del caso anterior

${}_jC_{wi}$: índice de resistencia de muro individual clasificado en el grupo j del entrepiso i

K_w : número de elementos del caso anterior

Sin embargo, respecto a los modelos configurados a base de columnas y muros patín o a base de muros estructurales, cuando existe un edificio o sistema estructural en el cual se puedan plantear ambos modelos, deberá tenerse presente que la expresión Apéndice I.4.13 es aplicable solamente para uno de los grupos.

8. MÉTODO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL S_D

Este procedimiento simplificado de tercer nivel, se supone aplicable a estructuras regulares en planta y elevación, por lo que la determinación del índice de configuración estructural del mismo (S_D), se hará considerando la existencia de juntas de expansión en edificios alargados, así como la existencia de configuraciones irregulares en planta. Quedando la siguiente expresión para su cálculo.

$$S_D = q_1 \times q_2 \times q_3 \quad (\text{Apéndice I.4.14})$$

- donde, q_1 : Factor de reducción considerando la relación de aspecto de la estructura. Cuando $b \leq 5$, $q_1 = 1.0$; cuando $5 < b \leq 8$, $q_1 = 0.975$; cuando $b > 8$, $q_1 = 0.95$, b = relación de aspecto largo/corto. Cuando la configuración en planta es irregular como L, T o U. Las definiciones de largo y corto se obtendrán como se indica en la Figura Apéndice I.4.8.
- q_2 : Factor de reducción donde se considera el efecto de las juntas de expansión o construcción, cuando existe una junta de este tipo $q_2 = 0.975$; cuando no existe o puede despreciarse este tipo de juntas $q_2 = 1.0$.
- q_3 : Factor de reducción que considera el efecto de alguna saliente en el sistema estructural como la indicada en la Figura Apéndice I.4.9. Cuando $C \geq 0.8$, $q_3 = 1.0$; cuando $0.5 \leq C < 0.8$, $q_3 = 0.975$; cuando $C < 0.5$, $q_3 = 0.95$. Sin embargo, cuando se presenta este último caso, no es estrictamente aplicable el método simplificado del procedimiento de tercer nivel.

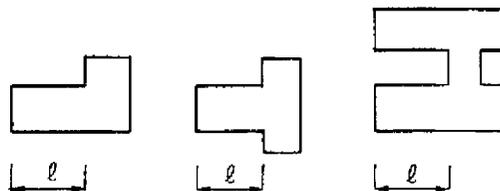


Figura Apéndice I.4.8 En caso de formas irregulares

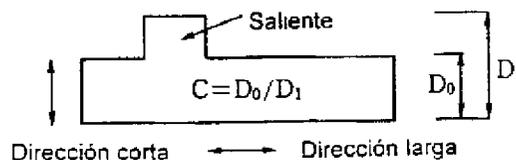


Figura Apéndice I.4.9 Saliente en el plano

9. MÉTODO DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE EDAD T

El índice de edad, considerando el efecto del material de los acabados, se determina como se indica.

Cuando no existe material de acabados: $T = 0.95$

Sin embargo, cuando existen agrietamientos y deformaciones de importancia, el valor del índice T se determinará conforme la Norma de Evaluación de Comportamiento ante Sismo.