

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería Civil



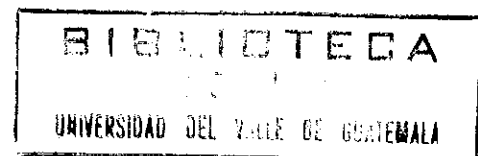
**DISEÑO DUCTIL DE MUROS DE CONCRETO
REFORZADO PARA SISMO-RESISTENCIA**

BENJAMIN GERARDO VILLA DE LEON PEREZ

Trabajo de investigación presentado para optar
al grado académico de

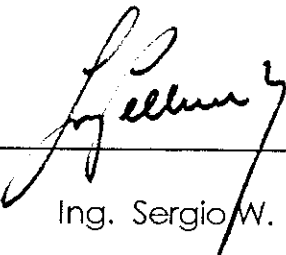
Licenciatura en Ingeniería Civil

Guatemala
1994



**DISEÑO DUCTIL DE MUROS DE CONCRETO
REFORZADO PARA SISMO-RESISTENCIA**

Vo. Bo.

(f) 
Ing. Sergio W. Pellecer Zehntner

Tribunal

(f) 
Ing. Franklin Matzdorf

(f) 
Ing. Miguel Angel Molina

(f) 
Ing. Sergio W. Pellecer Zehntner

Fecha de aprobación: 14 de Octubre de 1994

CONTENIDO

	Página
LISTA DE GRAFICAS.....	IX
NOTACION Y DEFINICIONES.....	X
GLOSARIO.....	XIII
I. INTRODUCCION.....	1
II. SISTEMAS ESTRUCTURALES CON MUROS.....	3
A. Muros estructurales y su función.....	3
B. Suposiciones básicas.....	5
C. Localización.....	6
D. Sección transversal de muros.....	10
1. Espesor mínimo de muros.....	13
E. Clasificación de muros.....	13
1. Muros sin aberturas.....	14
a. Muros altos sin aberturas.....	14
b. Muros bajos sin aberturas.....	15
2. Muros con aberturas.....	17
a. Muros acoplados	20
b. Muros no acoplados.....	22

III. RESISTENCIA A FLEXION EN MUROS Y DUCTILIDAD.....	23
A. Análisis de acciones en muros de cortante.....	23
B. Evaluación de la resistencia a flexión por diagramas de interacción.....	24
C. Incidencia del refuerzo longitudinal en la ductilidad de muros estructurales	27
D. Requerimientos mínimos del refuerzo longitudinal.....	32
IV. DISEÑO DEL REFUERZO TRANSVERSAL EN MUROS PARA DUCTILIDAD.....	33
A. Tipos de fallas en muros estructurales.....	33
B. Refuerzo transversal mínimo.....	35
C. Diseño de corte en muros.....	35
1. Evaluación de la fuerza de corte.....	36
2. Capacidad del muro a cortante.....	38
a. Contribución del concreto en la resistencia a cortante.....	40
3. Cantidad del refuerzo transversal por cortante.....	41
4. Corte deslizante.....	43
D. Diseño de confinamiento en muros.....	44
1. Area de la sección de muro a confinar.....	45
2. Cantidad de refuerzo por confinamiento.....	49
3. Confinamiento del refuerzo longitudinal.....	51
E. Requerimientos para estabilidad en muros.....	55

LISTA DE GRAFICAS

	Página
Gráfica 1	8
Gráfica 2	10
Gráfica 3	16
Gráfica 4	19
Gráfica 5	29
Gráfica 6	31
Gráfica 7	34
Gráfica 8	46
Gráfica 9	49
Gráfica 10	54
Gráficas 11, 11a, 11b.....	56
Gráficas 12,13.....	65

NOTACION Y DEFINICIONES

- Ab** Area transversal de una varilla de acero longitudinal. cms²
- Ac*** Area de núcleo confinado de la sección transversal dentro del área, A_g^* , medida desde el exterior a exterior del estribo de confinamiento. cm²
- Ae** Area efectiva de la sección. cm²
- Ag** Area gruesa de la sección. cm²
- Ag*** Area gruesa de la sección del muro a confinar según la ecuación 3.9.
- Ash** Area efectiva total de estribos y bocadillos suplementarios en la dirección en consideración. cm².
- Ate** Area de una pata de estribo o eslabón, cms²
- Av** Area del refuerzo de corte, cms²
- ACI** Instituto Americano del Concreto
- b** Espesor del muro, cms
- c** Distancia o profundidad del eje neutro medida desde la fibra extrema de compresión de la sección.

- f'c** Resistencia a la fluencia del acero principal, kg/cm²
- fyh** Resistencia a la fluencia del acero de estribos o bocadillos suplementarios, kg/cm²
- h"** Dimensión de la zona de concreto medida perpendicularmente a la dirección del estribo, cms.
- hw** Altura total del muro
- lp** Largo de la zona plástica
- ln** Distancia entre diafragmas de entrepisos (losas)
- lw** Largo total del muro
- Md** Momento de diseño obtenido del análisis
- Mu.d.** Resistencia a flexión de la sección obtenida del acero que se provea.
- n** Número de niveles en un edificio.
- Pe** Carga axial de diseño, obtenida de cargas de gravedad con su correspondiente excentricidad, kg.
- R** Coeficiente de modificación de respuesta de capacidad postelástica (ATC)
- sh** Espaciamiento vertical del refuerzo horizontal, medida de centro a centro de las varillas, cms.

- sv** Espaciamiento horizontal del refuerzo vertical, medida de centro a centro de las varillas, cms.
- vc** Esfuerzo de corte proveído por el concreto, kg/cm²
- vs** Esfuerzo de corte asignado al refuerzo horizontal, kg/cm²
- vu** Esfuerzo total de cortante, kg/cm²
- Vcode** Demanda de corte horizontal obtenida del análisis.
- Vmuro** Fuerza cortante de diseño, kg.
- w** Magnificador dinámico de corte
- $\Phi_{o,w}$** Factor de sobrerresistencia de un muro.
- z** Magnificador para muros bajos
- ϵ_c** Deformación del concreto en compresión en su último estado.
- ϵ_y** Deformación del acero a la cedencia.
- ρ_l** Relación de esfuerzo vertical en un área unitaria de la sección del muro. ecuación. 3.12
- ϕ_u** Curvatura última, la rotación por la longitud unitaria del miembro, ϵ_c/c cuando ϵ_c es igual a 0.004
- ϕ_y** Curvatura a la primer cedencia del acero de tensión
- $\mu\phi$** Ductilidad de curvatura, relación entre la curvatura última y la curvatura a la primera cedencia, ϕ_u/ϕ_y .

GLOSARIO

Articulación plástica

Una articulación plástica ocurre cuando en un punto en un miembro, el refuerzo longitudinal ha empezado a fluir dejando de aceptar más esfuerzos y deformándose hasta la ruptura si se incrementara los suficiente.

Concreto armado

Sistema constructivo que consiste en una combinación de concreto y refuerzo de acero, para mejores resultados de resistencia.

Curvatura

Es la rotación por unidad de longitud, causada por flexión. Numéricamente es la pendiente del perfil de deformaciones en el elemento.

Curvatura última

Es la pendiente del perfil de deformaciones cuando la deformación del concreto en la última fibra llega a su último valor. (tomada en este trabajo igual a 0.004 según refs. 1 y 2, ya que 0.003 pudiera ser conservador).

Diafragma

Losa entre-piso, que se caracteriza por tener gran rigidez y es adecuada para transmitir las fuerzas horizontales.

Deformación Postelástica

Es la deformación causada más allá del límite de fluencia del material.

Ductilidad

Es la capacidad de un material de aceptar deformaciones después de sobrepasar su límite de fluencia, sin llegar a la ruptura. Numéricamente es la relación de la deformación última a la deformación a la cedencia.

Ductilidad de curvatura

Es el cociente entre la curvatura última y la curvatura a la cedencia.

Esfuerzo

Fuerza por unidad de área.

Resistencia

Es la capacidad de una estructura o miembro de resistir los efectos de cargas.

Rigidez

Es la resistencia a la deformación de un miembro o una estructura. Numéricamente, medida por la relación entre la fuerza aplicada y su correspondiente desplazamiento.

Sistema Sismo resistente

Es la parte de una estructura que se considera va a resistir parte o la totalidad de las cargas sísmicas y es diseñada para este efecto.

Zona plástica

Región en cedencia de un miembro.

I. INTRODUCCION

En regiones como Guatemala, donde los edificios se ven afectados por cargas laterales de origen sísmico, los muros de concreto reforzado han sido utilizados por los diseñadores en las últimas décadas, como sistemas estructurales capaces de resistir eficientemente, gran cantidad de cortante horizontal proveniente de dichas cargas. En este trabajo se describen los diferentes tipos de muros estructurales, dependiendo de su configuración geométrica y se resalta la importancia de la localización de los muros dentro de una estructura, para la obtención de una adecuada resistencia.

Se hace énfasis en la necesidad de asegurar que los muros estructurales no fallen en forma frágil, especialmente por corte en el evento de un sismo de grandes proporciones, sino que se comporten en forma dúctil. Es decir, que sea mediante deformaciones postelásticas en flexión, la manera de absorber y disipar la energía sísmica, evitando así que la estructura llegue a colapsar y se salven vidas.

Este trabajo no tiene como objetivo dar parámetros de diseño del refuerzo longitudinal en flexión, ya que estos métodos son ampliamente

conocidos, sin embargo pretende resaltar la incidencia del refuerzo longitudinal en la ductilidad del muro. Así también, se proponen detalles constructivos del refuerzo transversal, tanto para cortante como para confinamiento del concreto comprimido, para proveer ductilidad y evitar los tipos frágiles de falla.

Este trabajo, así como las recomendaciones y suposiciones de diseño, están basadas principalmente en trabajos desarrollados para el código de diseño sísmico de Nueva Zelandia y en el Código Europeo de Diseño Sísmico de Estructuras de Concreto "CEB", complementados por las recomendaciones de los códigos norteamericanos ACI y ATC.

II. SISTEMAS ESTRUCTURALES CON MUROS

A. Muros estructurales y su función

Los muros de concreto reforzado en sistemas estructurales se han constituido indispensables para recoger la mayor cantidad de cortante horizontal resultante de cargas laterales, producidas por viento o sismos. Se les han denominado comúnmente muros "de corte" o "de cortante", aunque no significa que la resistencia por corte controle su comportamiento o diseño, siendo un nombre más adecuado el de "muros estructurales".

En regiones donde se requiere diseñar por carga sísmica, como Guatemala, el uso de muros estructurales pueden reducir, en gran medida, la vulnerabilidad de las estructuras y hacerlas más eficientes.

Durante cargas sísmicas pequeñas o moderadas, por ejemplo, los muros estructurales pueden proveer una rigidez significativa, con lo cual se puede disminuir muchas veces la separación de elementos no estructurales a la estructura sismoresistente principal, evitando reparaciones difíciles y costosas. Así también, permiten mantener las

deflexiones entre losas en límites aceptables, siendo indispensables, sobretodo, en edificios altos.

Al ocurrir sismos menos frecuentes, pero más intensos, los muros estructurales con un diseño adecuado, pueden proveer la resistencia necesaria para minimizar daños estructurales, y permanecer aún dentro del rango elástico. Si un sismo de estos hace ingresar a la estructura al rango postelástico, entonces habrá necesidad de cubrir exigencias de ductilidad para disipar energía por medio de deformaciones post-elásticas en flexión, sobretodo durante sismos de gran magnitud. Se evita de esta manera fallas frágiles, por tensión diagonal (corte), quebrantamiento del concreto en compresión, etc. que pudieran provocar un posible mecanismo de colapso.

Se caracterizan, además, porque pueden tomar una porción apreciable de la carga vertical de gravedad, en proporción a su gran área tributaria.

B. Suposiciones básicas

Para la obtención de una respuesta postelástica idónea en muros estructurales y en el desarrollo de procedimientos adecuados para su diseño, que lleven a un comportamiento dúctil del mismo, deben hacerse ciertas suposiciones fundamentales (ref.1):

- a)** Los muros estructurales se asumen con una cimentación ecuada que dan fijación total a la base y que puedan transmitir acciones de la superestructura al suelo. Deformaciones inelásticas que puedan ocurrir en la cimentación o en el suelo soportante no son consideradas.

- b)** Las fuerzas inerciales son introducidas a los muros por la acción de diafragmas de concreto reforzado (losas de piso), que proveen una conexión suficientemente rígida en cada nivel. Los cuales se suponen, permanecerán siempre elásticas.

c) Su comportamiento será considerado en voladizo y supone que se comportarán esencialmente de la misma manera que una viga de concreto reforzado.

C. Localización

Es de gran importancia que, desde la etapa de planeación estructural de un edificio, se trate de coordinar con los requerimientos funcionales de arquitectura, de una manera conjunta, para la obtención de las posiciones más idóneas para sismorresistencia de los muros estructurales, ya que dependiendo de su configuración geométrica, orientación y, sobretodo, localización dentro de una estructura, pueden contribuir en gran forma a la resistencia contra momentos de volteo, torsión o fuerzas de corte.

Debido a que se esperan deformaciones postelásticas en los muros estructurales, por demandas de sismos relativamente grandes, generalmente no es fácil acomodarlos para formar arreglos o sistemas que actúen satisfactoriamente como un conjunto total dentro del edificio, para disipar energía sísmica de una manera estable. Situación

que no ocurre en arreglos de muros destinados a resistir cargas de viento, se espera en este caso una respuesta completamente elástica, la referencia 1 menciona: .

"La clave en la estrategia de localización de muros en un edificio, por demandas de sismos relativamente grandes, está en que se disipe energía uniforme y racionalmente a través de deformaciones postelásticas, pero no sólo en ciertos muros, sino en todo el edificio como un conjunto. Es decir, no conducir a la subutilización de ciertos muros mientras otros puedan estar sujetos a excesiva demanda de ductilidad que pudiera resultar en una excesiva pérdida de resistencia".

Es importante sobresaltar que, establecida una adecuada localización de muros, se puede crear un sistema estable, capaz de resistir eficientemente gran parte de la carga sísmica, sobre todo torsión.

Debido a que generalmente los muros son de secciones delgadas, con resistencias torsionales relativamente pequeñas en lo individual, es entonces que, como conjunto, su trabajo tenga gran importancia para alcanzar este objetivo.

La estabilidad torsional de un sistema de muros puede ser examinada con la ayuda de la Fig. 1.

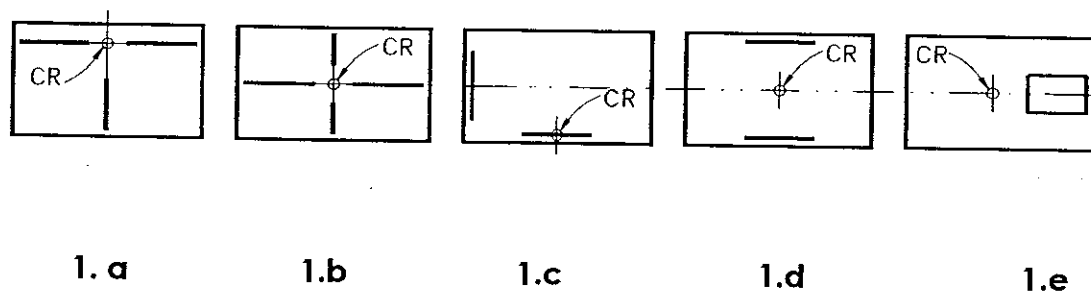


FIGURA 1. ARREGLOS DE MUROS EN PLANTA

En dicha gráfica se muestra que la resistencia torsional del arreglo de muros de la fig. 1.a y 1.b puede obtenerse únicamente si la resistencia a carga lateral de cada muro respecto a su eje débil, es significativa, y como éste no es el caso, los ejemplos representan sistemas

torsionalmente inestables. Los círculos marcados con **CR** representan al centro de rigidéz del sistema. Las figuras 1.c y 1.e son ejemplos particulares que no deberían usarse para edificios resistentes a cargas sísmicas, a menos que sistemas adicionales para resistir carga sísmica, como el de marcos, estuvieran presentes. La fig 1.d representa un arreglo con mayor estabilidad torsional.

Al escoger la localización apropiada para resistencia a carga lateral, deben considerarse tres aspectos importantes (ref. 1):

a) Los muros estructurales pueden situarse tanto en el núcleo ,en la periferia o en una combinación de ambos dentro de un edificio, sin embargo para una mejor resistencia torsional, la mayoría de muros posibles deberían situarse en el perímetro del edificio.

b) A mayor cantidad de carga de gravedad conducida a los cimientos por medio de los muros, será menor la cantidad de la demanda de refuerzo a flexión en ese muro.

c) Una concentración de la resistencia total lateral en uno o dos muros introduciría grandes fuerzas en la cimentación de la estructura, cimientos convencionales podrían no ser adecuados.

D. Sección transversal de muros

Los muros estructurales individuales o dentro de un grupo, están parcialmente controlados por la función arquitectónica que realizan o la que se necesita alrededor de ellos, y que da origen una gran diversidad de secciones geométricas transversales. La Fig. 2 muestra algunas de estas secciones típicas de muros.

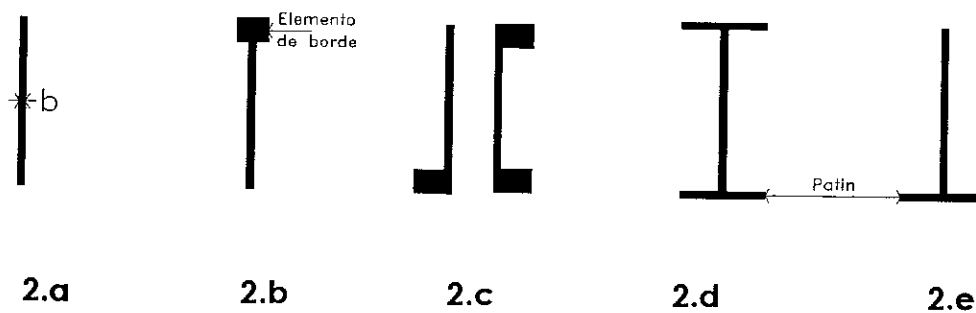


FIG. 2. SECCIONES DE MURO -EN PLANTA -

La fig 2.a representa una sección simple de muro, donde es necesario considerar un espesor " b " mínimo, dado por la sección II. D.1 para evitar de esta manera una posible causa de inestabilidad del muro por pandeo al rededor de su eje débil.

Se puede aumentar la rigidez a flexión de la sección transversal aumentando el área en los extremos de los muros con los llamados "elementos de borde" (figs. 2.b y 2.c). Estos, además de ayudar contra la inestabilidad de la sección, permiten vigas en ángulos rectos y, a la vez, mejoran el anclaje de las mismas, así también son usados para acomodar de una mejor manera el refuerzo principal longitudinal. Estos elementos de borde o retornos de muro, permiten, un confinamiento más efectivo del concreto sometido a compresión, aumentando de esta manera la ductilidad del muro (ref. 2).

Cuando los muros se encuentran a tope con otros, en ángulos rectos, como los de la fig. 2.d y 2.e, dan origen a secciones tipo "flanged" o con patines, los cuales son requeridos en ocasiones para resistir sismos en las dos direcciones principales de una estructura. En algunas de estas secciones, con muros transversales largos, el diseñador deberá decidir qué tanta área del patín será considerada como efectiva, al considerarla dentro del análisis de cada dirección. Sin

embargo no hay razón para esperar que los muros estructurales con patines se comporten de manera distinta, que los muros con secciones rectangulares (ref. 2).

Debido a que los patines aumentan considerablemente la resistencia a momento de los muros, la resistencia a las fuerzas de cortante en el alma puede volverse más crítico que en un muro normal, por lo que se debe prestar más atención al diseño y detalles del refuerzo transversal para que no ceda en ningún momento por corte.

En todas estas secciones transversales de muros, el espesor mínimo para asegurar la trabajabilidad del concreto fresco, debe satisfacer la sección **D.1** de este capítulo. Sin embargo, cuando es significativa la carga sísmica, los requerimientos de resistencia a corte pudieran aumentar dicho espesor (Cap. IV, sección C).

Deben también considerarse en las secciones de muros estructurales, recubrimientos de concreto mínimos para resistir a fuego, por ejemplo, por lo que deberán observarse las recomendaciones de la sección 7.7 del código ACI 318-89.

1. Espesor mínimo de muros

El espesor mínimo de muros no debe ser menor a 15 cm (ref. 4). Además, en secciones simples con o sin bordes, deben cumplirse los requerimientos de la sección **E** del Cap. **IV** para evitar la inestabilidad de la sección.

E. Clasificación de muros

Los muros estructurales de concreto reforzado, además de tener diversidad de secciones transversales, pueden tener diferencias geométricas en elevación por altura, o por la función arquitectónica que realizan.

Debido a esto, se pueden clasificar, de la siguiente manera:

- Muros sin aberturas
- Muros con aberturas

1. Muros sin aberturas

Generalmente, esta clase de muros cuentan con secciones transversales como los mostrados en la fig. 2, sin aberturas en elevación o con aberturas pequeñas y bien distribuidas que, en relación a su altura total " h_w ", son despreciables. Estos a su vez se pueden subdividir en:

- Muros altos sin aberturas
- Muros bajos sin aberturas

a. Muros altos sin aberturas

Este tipo de muro estructural es sin duda alguna, uno de los más usados, debido quizá, a que en los últimos años los edificios de múltiples niveles se han vuelto más esbeltos y altos, dando como resultado una relación h_w/l_w alta y generalmente mayor a 3. Sin embargo, a su gran

altura, los diafragmas le dan apoyo y lo estabilizan, evitando de esta manera pandeo local lateral en el muro. (ref. 1). Ver fig. 3.a.

Se comportan generalmente como voladizos grandes, de la misma manera que una viga de concreto reforzado, sujetos a momentos flexionantes y fuerzas cortantes que se originan de las cargas laterales y a compresión axial provocada por cargas de gravedad, con los mayores esfuerzos en la base de la cimentación o a nivel del suelo, prolongándose comúnmente varios niveles por arriba. Por lo que es necesario en esta zona aumentar la ductilidad, provocando una articulación plástica que desarrolle una adecuada capacidad rotacional (cap. III, secc. C).

b. Muros bajos sin aberturas

Las estructuras destinadas a hospitales, escuelas o de servicios públicos, por ejemplo, que se caracterizan por ser generalmente edificios bajos o medianos bajos, pueden tener muros estructurales para sismorresistencia. Estos muros cuentan con una relación de altura total

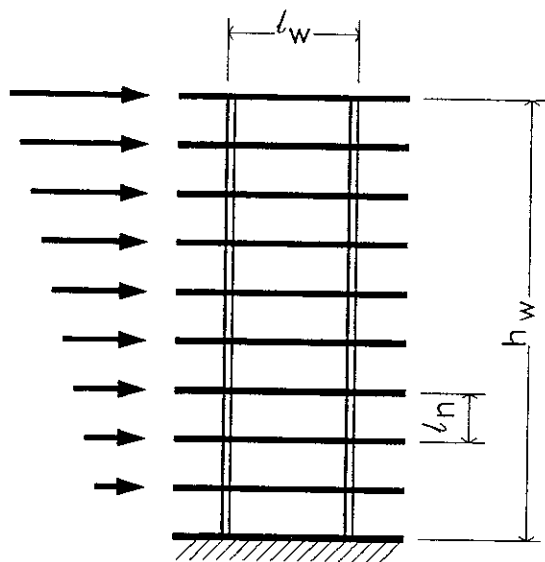


FIG. 3.a

MURO ALTO

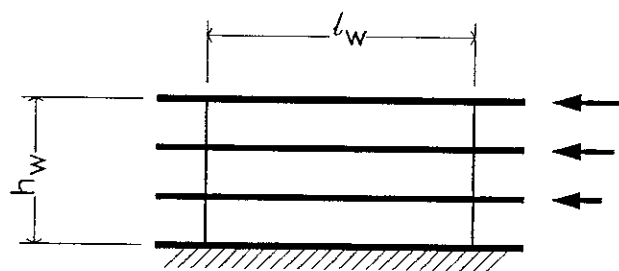


FIG. 3.b

MURO BAJO

FIGURA 3. SECCIONES DE MUROS - EN ELEVACION -

respecto de su longitud h_w/l_w , pequeña y generalmente menor a 3 (ref. 1), por lo que se les denomina comúnmente como muros de cortante bajos, fig. 3.b. En zonas sísmicas, el uso de este tipo de muros es restringido si tienen una relación h_w/l_w menor a 2 (ref. 4), por lo se recomienda buscar una solución geométrica partiendo el muro o utilizando otro sistema estructural.

Por lo general, tienen una sección simple y se comportan como un voladizo pequeño, similar al comportamiento que tienen las vigas peraltadas de concreto reforzado. Se caracterizan además por transmitir cargas de gravedad pequeñas y porque tienen una gran resistencia a la flexión (Secc. C, Cap. III).

2. Muros con aberturas

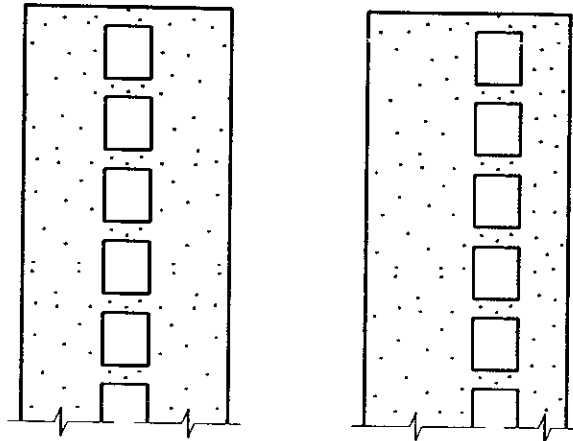
En ocasiones se necesita en los muros estructurales aberturas para acomodar ventanería, puertas o ambos, como en los cubos de gradas de edificios, por ejemplo. Dando como resultado una estructura en la que las aberturas por su tamaño o distribución afectan su comportamiento estructural.

Es esencial que estas aberturas, al ser acomodadas, formen un patrón regular con suficiente espacio entre sí para dar como resultado una estructura racional y adecuada para la obtención de una respuesta dúctil, Fig 4.a.

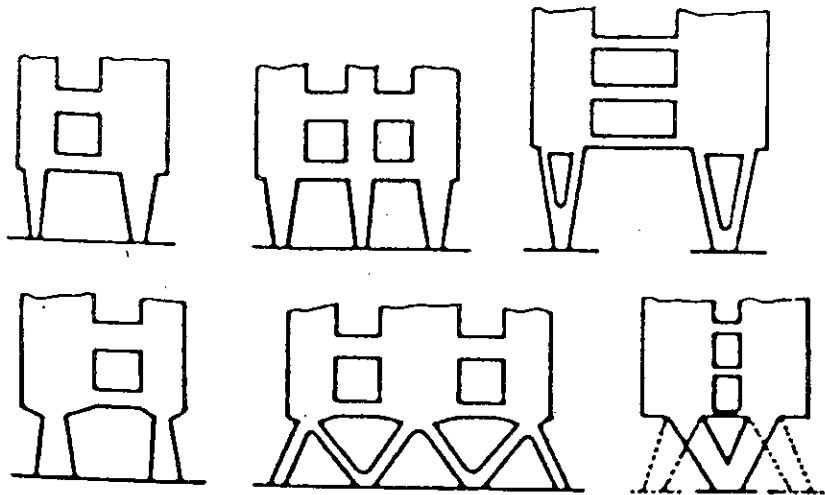
Además, para tratar que las aberturas interfieran lo menos posible con la resistencia a flexión, así como en la transmisión de cortante en la estructura, deben ser evitados los siguientes aspectos:

a) Repentinos cambios de sección en el muro o un cambio de sección de muro a columnas, fig. 4.b.

b) Una distribución escalonada de aberturas, en forma desordenada o sin suficiente espacio entre sí.



Aberturas acomodadas con un
patrón regular en muros estructurales
FIG. 4.a - MUROS EN ELEVACION -



Formas indeseables de muros estructurales
FIG. 4.b - MUROS EN ELEVACION -

Habiendo obtenido un arreglo regular y adecuado de aberturas en un muro estructural, podemos subdividir los muros con aberturas, de acuerdo a la conectividad que representa el espacio entre las mismas, en la siguiente clasificación:

- Muros acoplados
- Muros no acoplados

a. Muros acoplados

Cuando el espacio entre aberturas en un muro estructural es adecuado, se origina una viga de interconexión o de acoplamiento entre las dos partes del muro, de donde reciben el nombre de muros acoplados. También se le conoce a un sistema de dos o más muros, en los que las acciones a que están sometidos se transmiten a unos a otros por medio de estas vigas.

Las vigas de acoplamiento de muros, por lo general, más rígidas de lo normal debido a que son más cortas y peraltadas, reciben comúnmente el nombre de "dinteles", forman un acoplamiento fuerte y

en la práctica personal se ha observado que se desarrollan cuando su relación longitud-peralte (l_v/h_v) es menor a 2. Es imperativo que estas vigas, aún con estas características, fluyan antes que los muros, debido a las rotaciones que estos les imponen, es decir, en todo momento deben ser más débiles que los muros, para obtener de esta manera un sistema adecuado para la disipación de energía y apropiado para alcanzar la ductilidad deseada del muro, sin el riesgo de una posible falla frágil.

Este comportamiento ideal en muros acoplados es obtenido sólo a través de detalles constructivos adecuados en sus vigas de acoplamiento. Sin embargo, en este trabajo, no se dan parámetros de diseño para esta clase de vigas, y de cómo son afectadas o afectan el comportamiento de los muros acoplados. Se trata de enfocar más bien, en los detalles generales que hacen dúctil un muro. Se recomienda usar por lo tanto, otra bibliografía como la que presenta Park y Pauley, en su Cap. 12, secc. 12.5 de su libro Estructuras de Concreto Reforzado (Ref. 2).

b. Muros no acoplados

Los muros no acoplados o muros simplemente conectados, son el resultado de un acoplamiento débil, en el cual las vigas de acoplamiento ya no son consideradas dinteles, sino vigas normales con una relación $l_v/h_v > 4$ (valor tomado de la práctica personal). También cuando las aberturas son grandes, como en edificios de apartamentos, y la conexión se realiza únicamente por las losas entre-pisos.

En este tipo de muros, el comportamiento estructural es independiente entre cada parte del muro o entre los muros conectados y tendrán que ser considerados como muros individuales sin aberturas, como se propone en la sección **E.1** del capítulo II.

Para el caso de las vigas con una relación l_v/h_v entre 2 y 4 se debe tener cuidado y se recomienda estudiar el caso.

III. RESISTENCIA A FLEXION EN MUROS Y DUCTILIDAD

A. Análisis de acciones en muros estructurales

Las técnicas de análisis elásticos para la obtención de acciones como momentos, fuerzas corte y cargas axiales, tales como análisis estáticos equivalentes o dinámicos, son bien conocidas. Por lo tanto, sólo el uso de los resultados son comentados en este trabajo. Es una práctica común usar un análisis elástico separado para cargas de gravedad y carga lateral para luego combinar los resultados para obtener posiciones y magnitudes de las acciones críticas.

Es recomendable, sin embargo, que deben hacerse ciertas suposiciones básicas en el análisis, para desarrollar un mejor diseño, principalmente tomar en cuenta los efectos del agrietamiento en los muros. La ref. 1, respecto a esto menciona que:

" En la evaluación de las rigideces de los muros para un análisis elástico ya sea, estático o dinámico, deben de hacerse algunas consideraciones por los efectos de agrietamiento. Debido a que este depende del nivel de carga y de la amplitud de sus desplazamientos y por ende en el nivel de agrietamiento previamente establecido, diferentes niveles de agrietamiento por tensión o compresión pueden alterar su rigideces y alterar la distribución de sus fuerzas internas".

B. Evaluación de la resistencia a flexión por diagramas de interacción

Los muros estructurales, al actuar como voladizos, están sujetos a momentos flexionantes y fuerzas cortantes provenientes de carga de gravedad y principalmente de la carga sísmica lateral. De acuerdo a esto y obtenidos los resultados del análisis estructural (secc. A, del Cap. III), se puede evaluar la resistencia a flexión, con la ayuda de diagramas de interacción momento - carga axial.

Estos diagramas, usados ampliamente en el diseño de columnas de concreto reforzado, pueden ser usados con gran efectividad para secciones rectangulares y arreglos de acero simétricos, en sus dos o cuatro caras. Una serie de diagramas y tablas de interacción para secciones rectangulares de columnas o muros, pueden encontrarse en diversos libros de diseño de concreto reforzado como en el Design of Reinforced Concrete de John McCormac, mostrados en las figs. 12 y 13 del apendice **A**.

De acuerdo a estos diagramas de interacción, conocidos el tamaño del muro y la resistencia de los materiales, se pueden graficar

por puntos coordinados, cualquier combinación de cargas axiales y momentos críticos (producto del análisis) para definir P_{1u} , y del cual se puede calcular el área de acero vertical a flexión A_s , a través de la ecuación siguiente:

$$P_{1u} = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f_c * b * h} \quad (2.1)$$

Para el cálculo de P_{1u} , de acuerdo a la distancia entre centroides de varillas " y_h ", se dan para una sección determinada diversas gráficas como las mostradas en el apéndice A, de acuerdo a este valor, el cual varía entre 0.6 y 0.9.

De las Figuras 12 y 13 del apéndice A, también podemos obtener información necesaria, para una mejor comprensión de los diagramas de interacción:

- a) Los momentos son expresados como un producto de la carga axial por la excentricidad, medida desde el eje de referencia de la sección y convenientemente tomada en el centroide del área gruesa.

- a)** Los momentos son expresados como un producto de la carga axial por la excentricidad, medida desde el eje de referencia de la sección y convenientemente tomada en el centroide del área gruesa.
- b)** Estos diagramas de interacción, corresponden a cargas que provocan flexión sólo alrededor de un eje principal, es decir flexión uniaxial.
- c)** Cada punto graficado, obtenido de una combinación de carga y momento, corresponde a una posición variable del eje neutro en la sección (c/lw), y pueden ser utilizados los principios de compatibilidad de deformaciones y equilibrio para el análisis de la sección.

Estas gráficas de interacción, para muros rectangulares simétricos, son, sin duda, de gran ayuda para el desarrollo de un diseño ágil y eficaz del refuerzo vertical a flexión. Sin embargo, muchas veces no pueden usarse por la diversidad o asimetría de las secciones (secc. D, Cap. II) obligando al diseñador a evaluar la resistencia a flexión de la sección por otros medios o recurrir a la elaboración de sus propios diagramas de

interacción para las secciones a diseñar. Por ejemplo, al tener secciones no simétricas, se obtienen 2 curvas de interacción una para cada sentido de la excentricidad.

C. Incidencia del refuerzo longitudinal en la ductilidad de muros estructurales

En zonas asísmicas o zonas donde los muros se ven afectados por viento, el requerimiento de acero vertical a flexión, no es grande. Comúnmente, se puede proporcionar el refuerzo mínimo especificado en la secc. **D** del cap. **III** distribuido uniformemente en la sección.

En áreas donde sí tiembla, este criterio no puede ser utilizado, porque sería imposible asegurar la absorción y disipación de energía sísmica en el rango post-elástico, a través de grandes cantidades de refuerzo longitudinal con un brazo de palanca interno pequeño. Esta disposición reduciría la habilidad de la sección de sostener rotaciones plásticas, medida a través de su ductilidad de curvatura " $\mu\phi$ ", y por ende la ductilidad del muro también sería disminuida; Además que económicamente no sería rentable.

Para mejorar el comportamiento dúctil en muros estructurales altos, sujetos a grandes momentos, es aconsejable entonces, que la mayor cantidad de refuerzo por flexión sea situada lo más cercana a los extremos o en los bordes de los muros en cantidades iguales o similares, tanto en la zona a compresión como a tensión, aumentando así el brazo de palanca interno de las fuerzas, lo que provocaría una mayor curvatura última y por ende un aumento la ductilidad de curvatura.

Es importante resaltar que la compresión axial por carga de gravedad, afecta la curvatura en los muros y por lo tanto su comportamiento dúctil, fig. 5.

Sin embargo, si las zonas del muro en compresión (ambos lados del muro por reversión de momentos) son confinadas por medio de estribos o arreglos de refuerzo transversal (ver secc. D.2, Cap.IV) se puede restringir la expansión, el agrietamiento interno del concreto y aumentar considerablemente la ductilidad de los muros, en la carga última.

Es importante que estas consideraciones, necesarias para mejorar la ductilidad del muro, sean más rigurosas en una zona cercana a la base del mismo, debido al comportamiento de voladizo mencionado en la sección **E.1.a** del Cap. II.

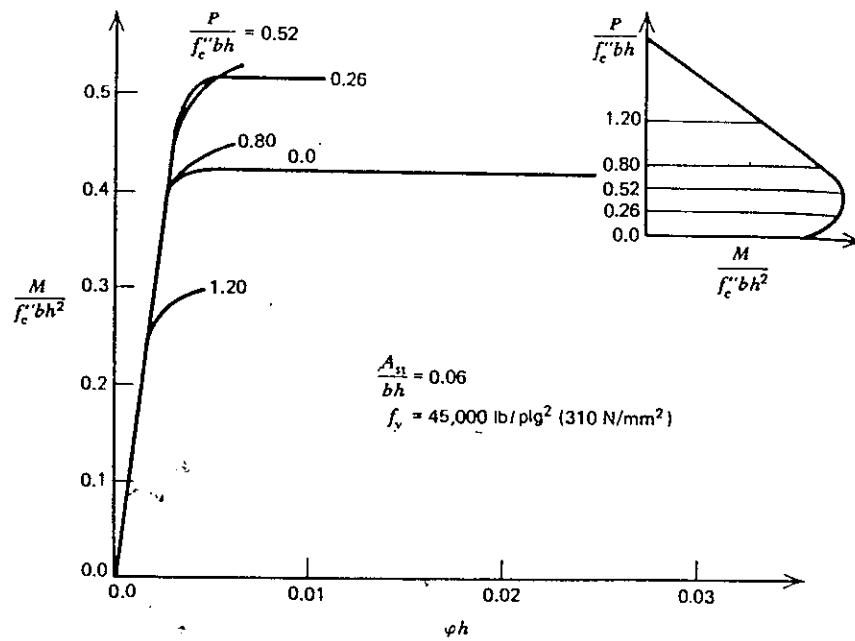


FIGURA 5. GRAFICA MOMENTO - CURVATURA
 PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

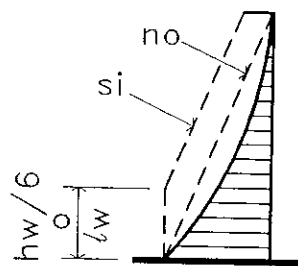
energía por deformaciones postelásticas, en el evento de sismos de grandes proporciones. Dicha zona plástica, según ref. 4, está dada por la distancia vertical igual a la longitud del muro " l_w " ó $1/6$ de su altura ($h_w/6$), lo que sea mayor. Ver fig. 6. En dicha gráfica, como se podrá observar, se incluye la envolvente de diseño recomendada para el momento flexionante en este tipo de muros.

Para las recomendaciones del refuerzo transversal en esta zona, ver Cap. IV, secciones **C.3** y **D.2**.

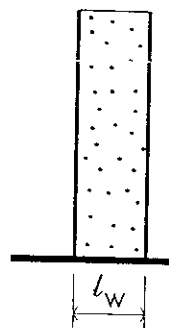
Por otro lado, los muros estructurales bajos, por sus características (secc. E.1.b, del Cap. II), cuentan con un brazo interno de palanca muy grande, lo que genera una capacidad intrínseca de resistencia a flexión alta. Debido a esto, su demanda de refuerzo vertical por flexión, para absorber energía sísmica en el rango inelástico, es muy baja y por lo general puede ser cubierta con el refuerzo mínimo especificado en la secc. **D** del Cap. III, distribuido en forma uniforme en toda su sección, con un aumento nominal en los bordes del muro. (ref. 2).

Debido a su poca altura, el comportamiento postelástico de esta clase de muros se ve afectada en gran medida por el cortante, por lo que es aconsejable, en su diseño, aumentar su capacidad a carga

lateral (secc. C.1, Cap. IV) para asegurar una respuesta postelástica en flexión, sobretodo en la base del muro (ref 1).



ENVOLVENTE DE
DISEÑO



MURO EN
ELEVACION

FIGURA 6

D. Requerimientos mínimos del refuerzo longitudinal

Para impedir agrietamientos por contracción o cambios de temperatura, para mejorar la retención de la presión de núcleos de confinamiento y sobretodo para asegurar una resistencia adecuada mínima, cuando sea necesario, deben considerarse los siguientes requerimientos del refuerzo a flexión, según la referencia 4:

- a)** La relación del refuerzo vertical en cualquier parte, no debe ser menor a 0.25 % y mayor a 4 %.

- b)** Al menos 2 camas de refuerzo vertical y horizontal deben ser usadas, cada una cerca a una orilla del muro.

- c)** El diámetro de las varillas de acero a usarse no deben exceder a $b/10$.

- d)** El mayor espaciamiento entre varillas debe ser 30 cms. excepto donde el muro necesite ser confinado, en cuyo caso el espaciamiento no debe ser mayor a 20 cm.

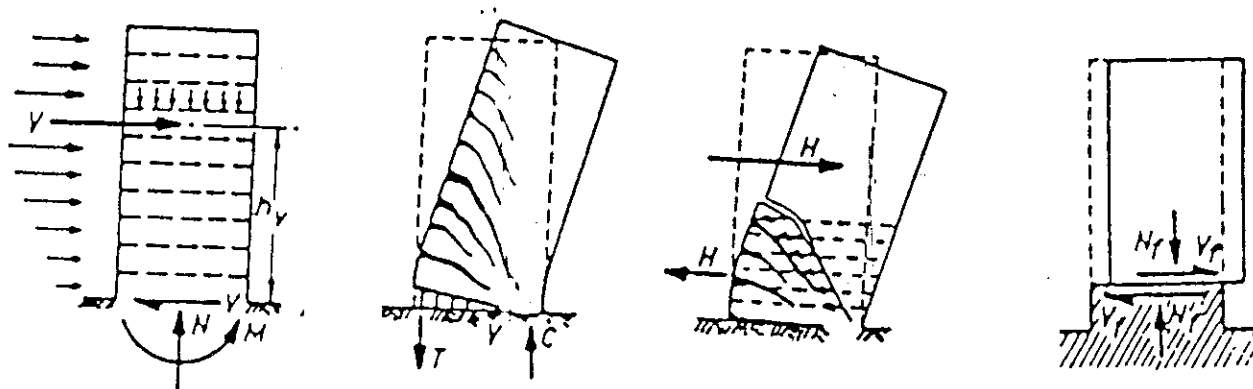
IV. DISEÑO DEL REFUERZO TRANSVERSAL EN MUROS PARA DUCTILIDAD.

A. Tipos de fallas en muros estructurales

Un requisito en el diseño de muros estructurales, es evitar que ocurra un mecanismo de falla frágil o aquellos con una ductilidad limitada. Esto puede ser obtenido como se menciona anteriormente a través de un comportamiento postelástico, basado en que la cedencia del refuerzo en flexión controle la resistencia, las deformaciones postelásticas y, por ende, la absorción y disipación de energía sísmica en el sistema estructural completo, sobretodo en la base del muro, donde ocurren los mayores esfuerzos, provocando de esta manera una falla dúctil de la estructura. Este tipo deseable de falla es mostrado en la Fig. 7 .b.

Los principales modos de fallas a prevenir son aquellos debido a tensión o compresión diagonal producido por fuerzas de corte, Fig. 7.c, corte deslizante en juntas de construcción, Fig. 7.d, fallas de corte en traslapes o anclajes e inestabilidad de secciones delgadas de muros.

corte deslizante en juntas de construcción, Fig. 7.d, fallas de corte en traslapes o anclajes e inestabilidad de secciones delgadas de muros.



7.a
Acciones
en muros

7.b
Flexión

7.c
Tensión
diagonal

7.d
Corte
deslizante

FIG. 7 - TIPOS DE FALLA - MUROS EN ELEVACION

B. Refuerzo transversal mínimo

Los requerimientos de la relación de mínimo refuerzo, máximo diámetro permisible y máximo espaciamiento debe cumplir los requerimientos del refuerzo longitudinal mencionados en la sección **D**, Cap. III.

C. Diseño de corte en muros

En la sección **A**, se resaltan los efectos del corte en el desarrollo de los posibles mecanismos de falla de un muro estructural. Es importante, como puede verse, la necesidad de controlar los efectos del corte en los muros, que conducen a una degradación de su rigidez y resistencia. Sin embargo, con un refuerzo transversal adecuado, sobretodo en zonas críticas, esto puede reducirse a un mínimo y hacer óptima la respuesta dúctil en los muros.

1. Evaluación de la fuerza de corte

Para asegurar que las fuerzas de corte no interfieran con el comportamiento dúctil de un muro o un sistema de muros, y para evitar una falla frágil en corte, estas fuerzas no deben controlar la resistencia.

Para este propósito no deberá usarse una fuerza cortante de diseño de menor proporción a la posible resistencia por flexión que el muro pueda desarrollar en su base, por lo que en el diseño de la fuerza de corte, deberá multiplicarse por un factor de sobrerresistencia " $\Phi_{o,w}$ ", dado por la ecuación 3.1, y que no necesita ser mayor a 4.

$$\Phi_{o,w} = \frac{M_{u,d.}}{M_d} \quad (3.1)$$

donde:

$M_{u,d.}$ es la resistencia a flexión de la sección, obtenida del acero que se provea.

M_d es el momento de diseño obtenido del análisis. Ambos referidos respecto a la base del muro. (ref 1,4).

En el caso de ser usado un análisis estático equivalente, las fuerzas de corte deben ser magnificadas, además del factor de sobrerresistencia de la ecuación 3.1, por un factor de amplificación dinámica, w , dado por :

a) Para edificios hasta 5 niveles

$$w = 0.1 n + 0.9 \quad (3.2)$$

b) Para edificios entre 6 y 15 niveles inclusive

w = incrementar su valor linealmente desde a)
hasta 1.8

c) Para edificios de más de 15 niveles, no se recomienda un análisis estático equivalente, sino uno dinámico.

Si se usa un análisis dinámico, el valor w toma el valor de 1.

De las ecuaciones 3.1 y 3.2, la fuerza total de corte a usarse en el diseño, está dada por:

$$V_{muro} = w \Phi_{0,w} V_{code} \quad (3.3)$$

donde:

Vcode

es la demanda de corte horizontal obtenida del análisis. (refs. 1,4).

Para muros bajos, además, la referencia 1 recomienda usar un magnificador " z ", por los efectos de su poca altura, el cual es un valor entre 1 y 2 , y esta dado por:

$$z = 2.5 - 0.5 (hw/lw) \quad (3.3a)$$

aplicable cuando $hw/lw < 3$

2. Capacidad del muro a cortante

Obtenidas las fuerzas de cortante del análisis, V_{muro} (ec. 3.3), podemos obtener el esfuerzo último de llcorte sobre el área bruta del muro, de acuerdo a la si lliguiente ecuación:

$$v_u = \frac{V_{muro}}{d b_w} \quad (kg/cm^2) \quad (3.4)$$

donde

d es el peralte efectivo, y de acuerdo al ACI 318-89, en su sección 11.10.4 , debe ser tomado como $0.8 l_w$.

En el diseño de la capacidad a cortante de un muro de concreto reforzado, como en vigas de marcos dúctiles, se asume que una pequeña parte del corte es resistido por los mecanismos del concreto (**vc**) y el sobrante es resistido por lo asignado al refuerzo transversal de corte (**vs**), de acuerdo a la sección 11.1.1 del código ACI 318-89 tenemos:

$$v_u = v_c + v_s \quad (\text{Kg/ cm}^2) \quad (3.5)$$

a. Contribución del concreto en la resistencia

a cortante.

En una zona plástica, definida por la sección **IV.D.1** inciso **a)**, donde la cedencia del acero a flexión debe ocurrir, la contribución del concreto a la resistencia a cortante debe ser despreciada y asumida como cero, a menos que exista un esfuerzo de compresión axial en el área bruta del muro, P_u/Ag , mayor o igual a $0.1 f'_c$ (ref. 4). En este caso, la compresión axial se espera que aumente la capacidad a cortante del concreto reforzado en el muro, ya que está asociado con el fenómeno de tensión diagonal del mismo. Sin embargo, debe reconocerse el deterioro inevitable del concreto en las zonas potenciales de articulaciones plásticas, por lo que la referencia 1, recomienda que la capacidad a cortante del concreto, sea dado por:

$$v_c = 1.9 \sqrt{P_e / Ag} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3.6)$$

donde

P_e es la fuerza axial de diseño obtenida de cargas factoradas de gravedad que actúan en el muro durante un sismo.

3. Cantidad del refuerzo transversal por cortante

Para determinar el refuerzo del alma, consistente en varillas de acero horizontal debidamente ancladas y espaciadas, al cual se le ha designado resistir la mayor parte del cortante (**vs** en la ec. 3.5), y obtenidos los valores de las ecuaciones 3.4 y 3.6, este refuerzo puede obtenerse (según las referencias 1,3), por medio de

$$A_v = \frac{(v_u - v_c) b_w s}{f_y} \quad (\text{cms}^2) \quad (3.7)$$

Donde

A_v es el área del refuerzo transversal, a un espaciamiento " **s** ", el cual tendrá que cumplir con los requerimientos mencionados en la sección IV.B, para refuerzo transversal mínimo. Además, será esta cantidad de acero horizontal la encargada de evitar, tanto la falla por tensión diagonal como otro tipo de fallas de corte por insuficiencia en el refuerzo. Debe ser reconocido, sin embargo, que luego de varios ciclos

de grandes desplazamientos, rajaduras por flexión pueden interconectarse con rajaduras por corte. Esto puede desarrollarse a ángulos mayores de 45 grados del eje del miembro, por lo que eventualmente cedara algo del refuerzo del alma. Para prevenir el alma de un quebrantamiento prematuro debido a grandes fuerzas de compresión diagonal, se recomienda que en zonas de articulación plástica, ver secciones III.C ó IV.D.1 inciso (a), el esfuerzo total de corte, v_u , esté limitado por:

$$v_u <= 2.87\sqrt{f'_c} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3.8)$$

De acuerdo al código ACI 318-89 en su sección 11.10.3.

4. Corte deslizante

Desplazamientos deslizantes excesivos a lo largo de juntas de construcción o cerros a rajaduras horizontales producidas por flexión, pueden formar un plano potencialmente débil en los muros estructurales, reduciendo la capacidad de los mismos para la disipación de energía.

En muros con una relación h_w/l_w mayor a 3, estos desplazamientos pueden ser controlados con una cantidad adecuada de refuerzo distribuido verticalmente, **A_{vf}** . Este debe transferir la capacidad total de corte del concreto al cruzar una junta de construcción, y proveer la necesaria fuerza de fijación para evitar el mecanismo de fricción de corte deslizante. Esta cantidad de refuerzo, está dada por la ecuación siguiente (ref.1):

$$A_{vf} = \frac{V_{muro} - P_e}{\eta f_y} \quad (3.8a)$$

donde:

V_{muro} , esta dado por la ecuación 3.3

η , es el coeficiente de fricción, cuyo valor esta entre 1.0 y 1.4

P_e , es la carga axial de compresión, para esa fuerza de corte.

D. Diseño de confinamiento en muros

Como se mencionó anteriormente en el capítulo III, el confinamiento del concreto comprimido es sumamente necesario para intentar controlar las grandes deformaciones inelásticas de compresión e intentar obtener una ductilidad y una disipación de energía adecuada en el muro. Además, con un buen espaciamiento del refuerzo transversal por confinamiento, puede suministrarse apoyo lateral adecuado y evitar así, pandeo de las varillas longitudinales sujetas a una posible cedencia en compresión.

1. Area de la sección del muro a confinar

El refuerzo transversal especial para confinamiento especificado en la sección **IV.D.2** deberá proveerse en las siguientes zonas, según la ref. 4:

- a) En la dirección vertical deben extenderse desde la base del muro sobre la probable longitud de articulación plástica "**l_p**" (ver Fig. 8a), que se asume será el mayor de: La longitud del muro (l_w) o $1/6$ de la altura total del muro ($h_w/6$).

- b) En la sección en planta (dirección horizontal), donde las deformaciones últimas del concreto excedan a la deformación a compresión ($\epsilon_c = 0.004$) de la fibra extrema del concreto (ver fig. 8b) o la distancia del muro αc a confinar, según la ecuación 3.9 de esta sección, lo que se a mayor.

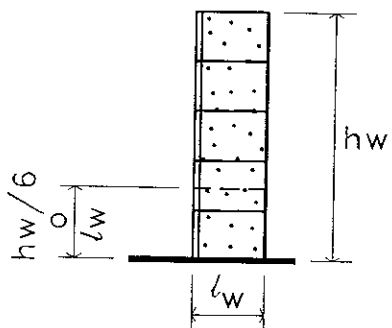


Fig. 8.a
Muro en
elevación

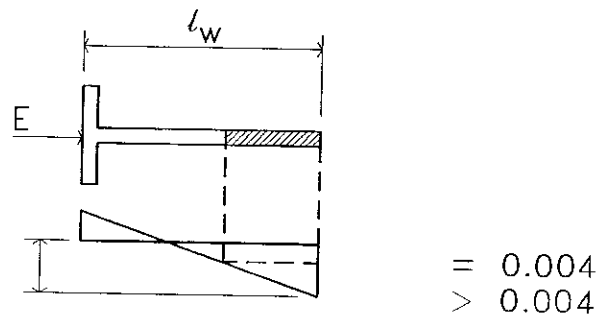


Fig. 8.b
Perfil de deformación para la
sección del muro en planta

FIG. 8

La ref. 1, para determinar el área a confinar, propone que, de un perfil de deformaciones para una sección de muro, como la mostrada en la figura. 9, puede obtenerse la distancia crítica al eje neutro, " c_c ", (ec. 3.10a y 3.10b) cuando se obtiene una deformación a compresión (ϵ_c) de la fibra última igual a 0.004 (asumida según ref. 1), mostrada por la línea 1. Cuando el eje neutro " c ", en cualquier parte del muro se vuelve mayor (línea 2) y se quiere alcanzar la misma curvatura última (ϕ_u) y, por ende, la misma ductilidad que (1), van a desarrollarse deformaciones últimas mayores a 0.004, a lo largo de la región en compresión " αc ".

En esta distancia αc de mayor longitud que c , la compresión se vuelve crítica y el concreto tendrá que ser confinado de acuerdo a la secc. **IV.D.2.**, para soportar tales deformaciones y conservar su curvatura, el valor de α , está dado por (ref. 1):

$$\alpha = (1 - 0.7 c_c/c) \geq 0.5, \text{ si } c/c_c > 1 \quad (3.9)$$

donde

c puede ser determinado de los diagramas de iteracción de acuerdo a III. B inciso c.

cc está dado por las ecuaciones siguientes:

$$cc = \frac{0.55 \Phi_{o,w} lw}{R} \quad (3.10a)$$

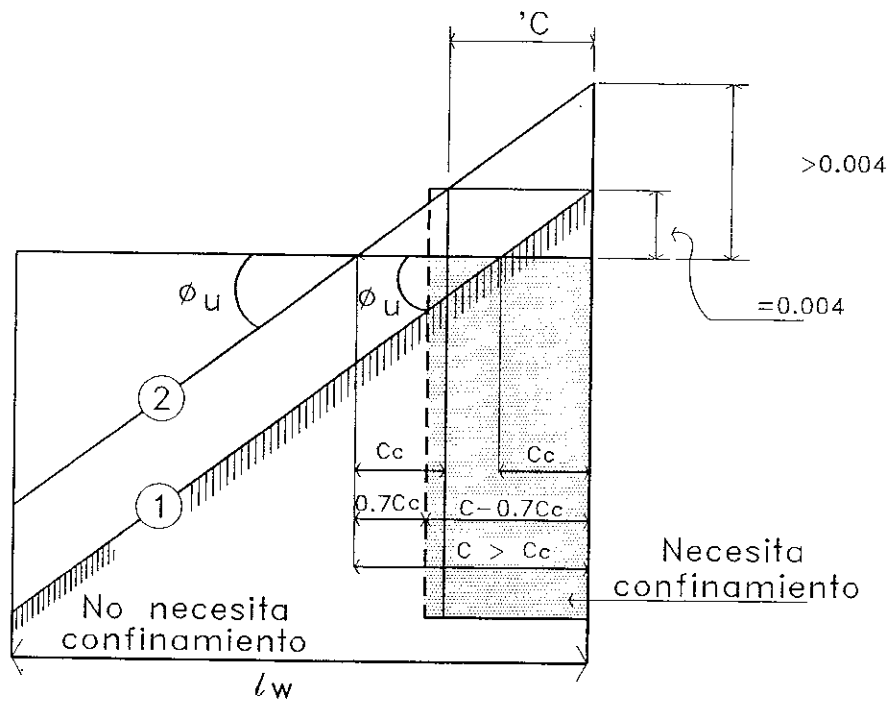
para valores R de ATC

$$cc = \frac{\Phi_{o,w} kl}{8} \quad (3.10b)$$

para UBC

En ambas ecuaciones según ref.. 1 $\Phi_{o,w} = 1.4$

La longitud de la región confinada αc , es totalmente independiente de la configuración del refuerzo longitudinal en una sección simple o en un posible elemento de borde que pueda estar presente en el muro.



Perfil de deformación para
una sección de muro

FIG. 9

2. Cantidad de refuerzo por confinamiento

Los principios de confinamiento de concreto en muros son similares y están basados en los mismos principios para columnas, a excepción que generalmente sólo se confina parte y no toda la sección del muro,

como se vio anteriormente. La referencia 1, con respecto a esto menciona:

" El principio que gobierna es que en la manera como el área a compresión en una sección de muro aumenta, deformaciones últimas asociadas con la ductilidad necesaria tambien aumentan proporcionalmente y por lo tanto la cantidad de refuerzo a confinar tambien debe ser aumentada".

En conformidad a esto, se recomienda que estribos rectangulares o poligonales y eslabones adicionales rodeando las barras longitudinales en la zona o región a confinar (definida en la sección IV.D.1), deben ser usados (fig. 10), siendo la cantidad de refuerzo transversal necesaria para un adecuado confinamiento, la mayor de las siguientes (Ref.1):

$$A_{sh} = 0.3 sh h'' \left(\frac{A_{g^*}}{A_{c^*}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} \left(0.5 + 0.9 \frac{c}{lw} \right) \quad (3.11a)$$

$$A_{sh} = 0.12 sh h'' \frac{f'_c}{f_y h} \left(0.5 + 0.9 \frac{c}{lw} \right) \quad (3.11b)$$

Para que el confinamiento sea efectivo, el espaciamiento en la parte confinada de la sección del muro debe cumplir con los

requerimientos mínimos de refuerzo transversal especificados en la sección **B** del Cap. **IV**.

3. Confinamiento del refuerzo longitudinal

Un segundo propósito del refuerzo transversal de confinamiento, es prevenir el pandeo del refuerzo principal vertical del muro, que puede estar sometido a cedencia en compresión. Se recomienda, por lo tanto, que si en las regiones potenciales de cedencia en compresión del refuerzo longitudinal, el porcentaje de refuerzo longitudinal, obtenido de la Ec. 3.12 es mayor a 0.0036/fy, se provea refuerzo transversal, satisfaciendo los requerimientos siguientes (ref. 1):

$$\rho_l = \frac{\sum A_b}{b s_v} \quad (3.12)$$

a) Estribos o eslabones con forma apropiada, deben ser arreglados de manera que cada barra longitudinal o manajo de barras localizadas cerca de la superficie del muro sea restringido contra pandeo por un dobléz a 90 grados o al menos, un gancho standard a 135 grados. Cuando 2 ó más barras no están a más de 20 cm. de centro a centro, estando restringidas, cualquier barra entre ellas puede ser obviado de este requerimiento, (fig. 10).

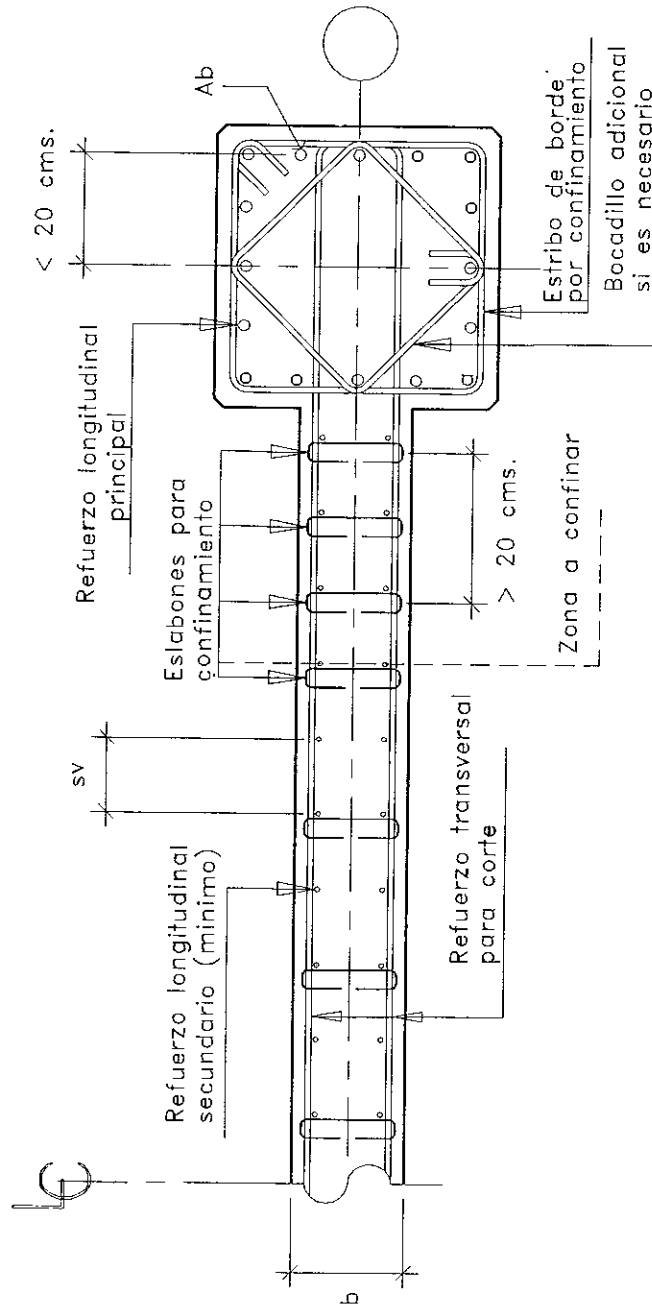
b) El área de una pata de estribo, **Ate**, en dirección del pandeo potencial de la barra longitudinal, debe ser obtenida de la Ec. 3.13, donde A_b es la suma de las áreas de barras longitudinales que dependen de esa pata, incluyendo el área tributaria de cualquier barra que no está restringida de acuerdo al inciso anterior.

$$A_{te} = \frac{(\sum A_b f_y) * (sh)}{16 f_y h} \quad (3.13)$$

Las varillas longitudinales localizadas a más de 75 cm. desde su cara interna al estribo, no necesitan ser consideradas al determinar el valor de A_b .

c) El espaciamiento centro a centro de estribos a lo largo de las barras longitudinales no debe exceder seis veces el diámetro de la barra longitudinal a restringirse.

d) Donde aplique estribos pueden ser considerados como contribuyentes a la resistencia a corte como a confinamiento de concreto.



Sección de muro - en planta -

FIG. 10

E. Requerimientos para estabilidad en muros.

Cuando un muro estructural está sujeto a grandes deformaciones de compresión (fig. 9) , o la potencial zona de articulación plástica es muy grande, puede ocurrir una falla prematura por inestabilidad de la sección, principalmente en secciones delgadas simples o secciones delgadas con elementos de borde insuficientemente dimensionados. Para contribuir adecuadamente a aumentar la rigidez de la sección sobre su eje débil y evitar este tipo de falla en los muros estructurales de concreto reforzado, deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos (ref. 4):

El espesor local de un muro no debe ser menor a 10 veces la altura entre piso ($h_n/10$), donde las deformaciones máximas de compresión excedan a 0.004 (fig 11), a menos que:

- a)** La distancia de la fibra última en compresión ($\epsilon_c=0.004$) desde la orilla del muro, sea menor a $2b$ o $0.2 l_w$ (ver fig. 11a).
- b)** La distancia de la fibra última, desde un muro transversal o desde un patín de un muro cuyo ancho sea al menos $h_n/5$, es menor a $3b$, (ver fig. 11.b).

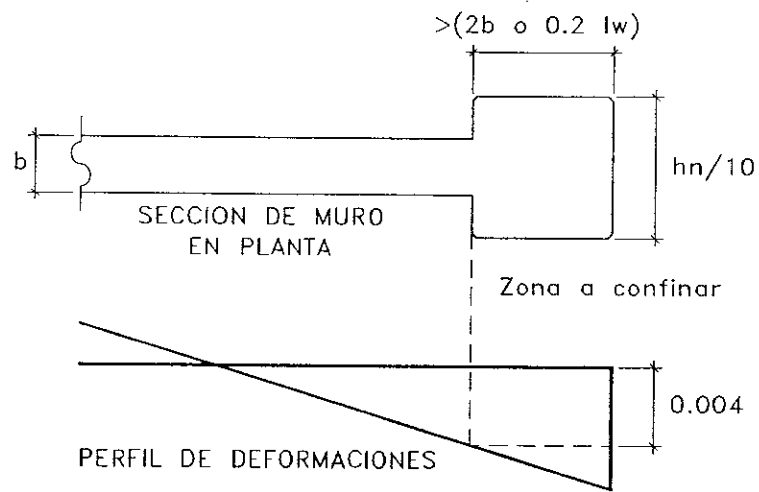


Fig. 11

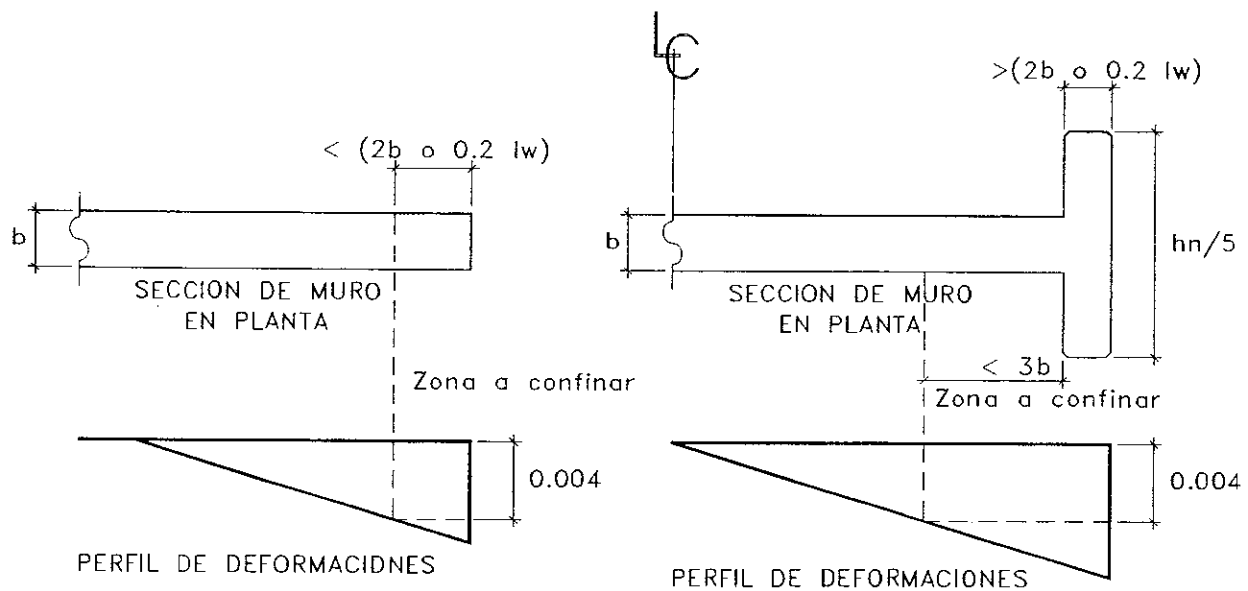


Fig. 11a

Fig. 11 b

V. CONCLUSIONES

- A.** Cuando los muros estructurales de concreto reforzado se colocan en posiciones ventajosas dentro de una construcción, pueden ser muy eficientes para contribuir a la resistencia de cargas laterales de viento y principalmente de sismo.

- B.** Los muros estructurales proveen una rigidez significativa dentro de una estructura sismorresistente contra carga lateral. Permitiendo de esta manera, el control de excesivas deflexiones de entrepiso, sobretodo en edificios altos.

- C.** En regiones expuestas a sismos, los mecanismos frágiles de falla o con una ductilidad limitada, deben ser evitados en muros estructurales de concreto reforzado. La disipación y absorción de la energía sísmica debe realizarse a través de una falla dúctil, por cedencia del refuerzo en flexión.

- D.** Para proveer una ductilidad adecuada en los muros estructurales de concreto reforzado, se debe dar atención a los detalles constructivos, tales como la cuantía y localización del refuerzo longitudinal, así como al anclaje del mismo.

- E.** Sí la zona en compresión de un muro estructural se confina a través de refuerzo transversal espaciado adecuadamente, se puede restringir la expansión del concreto y de esta manera, contribuir eficientemente en la ductilidad del muro.

- F.** El uso de elementos de borde en muros estructurales aumentan la rigidez de los mismos y mejoran la disposición del refuerzo longitudinal. Esto hace posible un confinamiento más efectivo del concreto en compresión y una mayor capacidad dúctil del muro.
- G.** En muros estructurales de concreto reforzado, los tipos de falla frágiles producidos por fuerzas de corte pueden ser controlados efectivamente por medio de una adecuada cantidad y espaciamiento de refuerzo transversal horizontal.
- H.** Fallas por corte deslizante o fallas en juntas de construcción pueden prevenirse con una cantidad adecuada de refuerzo vertical, que permita transferir la capacidad total de corte a lo largo de cualquier punto crítico del muro.
- I.** Con un adecuado dimensionamiento del espesor del alma o de elementos de borde pueden evitarse posibles fallas por inestabilidad, sobretodo bajo grandes deformaciones de compresión.

RECOMEDACIONES

A. En este trabajo no se dan parametros de diseño para vigas de acoplamiento, mencionadas en la sección E.1.a del Cap. II, por lo que se recomienda consultar otra bibliografía respecto a este tema. También, debe consultarse sobre los posibles efectos de estas vigas sobre los muros acoplados.

B. Debido a que los objetivos de este trabajo están enfocados en el desarrollo de una falla dúctil en los muros de concreto reforzado, se ha tomado las resultantes fuerzas de corte, momentos y cargas axiales de análisis elásticos. Se recomienda por lo tanto, ampliar el tema respecto a estas conocidas técnicas de análisis, así como del diseño del refuerzo longitudinal por flexión.

C. Se recomienda, finalmente, ampliar la investigación bibliográfica sobre la cimentación de los muros de concreto reforzado, ya que en este trabajo no se ha profundizado tal tema. Únicamente se ha supuesto que dan fijación total a la base y que transmiten acciones de la superestructura al suelo.

VII. REFERENCIAS

1. Pauley, thomas. The design of Ductile Reinforced Concrete Structural
1986. Walls for Earthquake Resistance. Earthquake Spectra, vol. 2,
No. 6. U.S.A. Earthquake Engineering Research Institute.
2. Park, R. y T. Pauley. Estructuras de Concreto Reforzado. Mexico.
1978. Editorial Limusa. Capitulo 12.
3. Comite ACI 318. Building Code Requirementes for Reinforced
1989 Concrete. U.S.A. American Concrete Institute.
4. Comite Euro-International du Béton (CEB). Seismic Design of Concrete
1991 Structures. Euro-International Comittee for Concrete.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Comite ACI 318. Building Code Requirements for Reinforced Concrete.

1989 U.S.A. American Concrete Institute.

Comite ACI 318. Commentary on Building Code Requirements for

1989 Reinforced Concrete. U.S.A. American Concrete Institute.

Comite Euro-International du Béton (CEB). Seismic Design of Concrete

1991 Structures. Euro-International Comittee for Concrete.

McCormac, Jack C. Design of Reinforced Concrete. U.S.A. Harper and

1978 Row Publishers. 507 pp.

Pauley, thomas. The design of Ductile Reinforced Concrete Structural

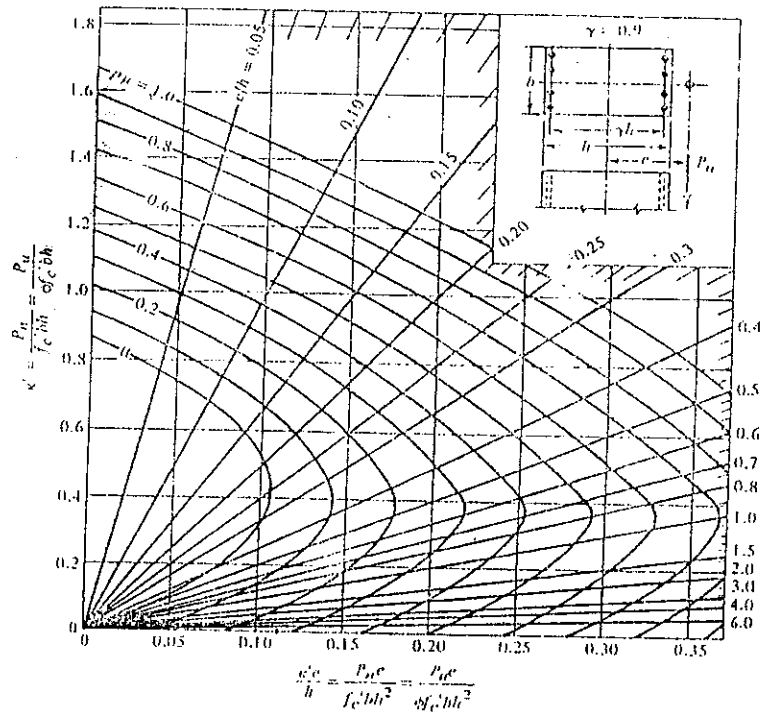
1986 Walls for Earthquake Resistance. Earthquake Spectra, vol. 2,

No. 6. U.S.A. Earthquake Engineering Research Institute.

Park, R. y T. Pauley. Estructuras de Concreto Reforzado. Mexico. Editorial
Limusa. 1978. Capitulo 12.

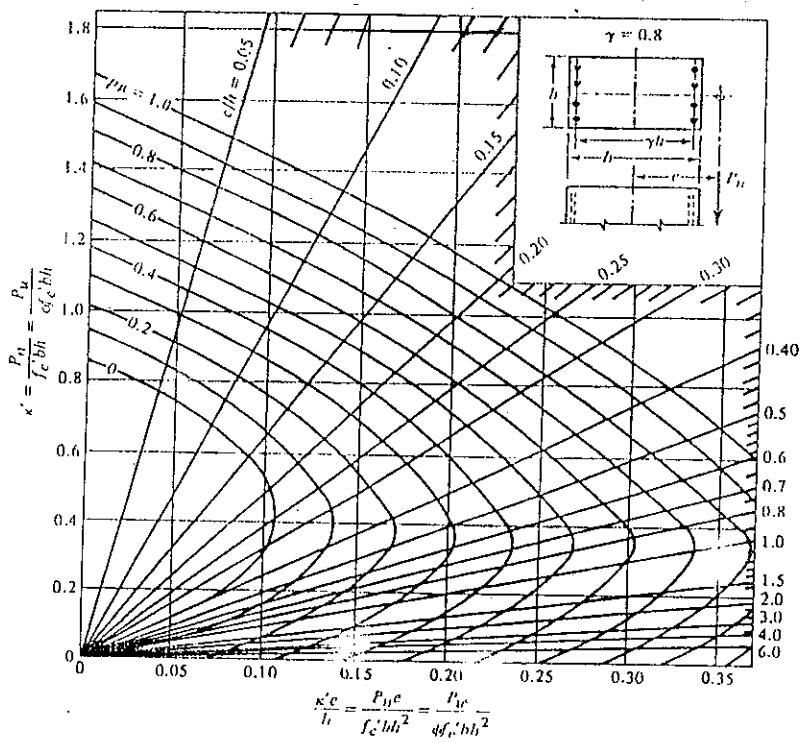
APENDICE A

Diagramas de interacción para secciones rectangulares
de columnas -obtenidas de Reinforced Concrete Structures
de J. McCormac



Graph 2 Column Interaction Diagram--Rectangular Section:
 $\gamma = 0.9, f'_c = 4 \text{ ksi}, f_y = 60 \text{ ksi}, \mu = f_y/0.85f'_c, P = P_u, A_{s, \text{total}}/bh$

Fig. 12



Graph 3 Column Interaction Diagram--Rectangular
 Section $\gamma = 0.8, f'_c = 4 \text{ ksi}, f_y = 60 \text{ ksi}$

Fig. 13