



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DISEÑO DE MUROS DE CONCRETO  
REFORZADO ENCAMISADOS CON PVC**

**TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA:  
HÉCTOR GUERRERO BOBADILLA**



**DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSÉ ALBERTO ESCOBAR SÁNCHEZ**

**MÉXICO, D. F.**

**2004**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/018/04

Señor  
HÉCTOR GUERRERO BOBADILLA  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. JOSÉ ALBERTO ESCOBAR SÁNCHEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"DISEÑO DE MUROS DE CONCRETO REFORZADO ENCAMISADOS CON PVC"**

- INTRODUCCIÓN
- I. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
- II. ESTUDIOS PREVIOS
- III. EVALUACIÓN CON EL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL Y SUS NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS
- IV. FALLA POR INESTABILIDAD
- V. PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA CALCULAR LA CAPACIDAD DE CARGA
- VI. EJEMPLOS DE APLICACIÓN
- VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 23 de Febrero del 2004  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/AJP/crc

## **Agradecimientos:**

Le agradezco a Dios por haber permitido que todo pasara y que siempre me pusiera pruebas durante el camino con la finalidad de enseñarme a valorar esta vida.

A mis padres, Cástor Héctor Guerrero Márquez y Alma Rosa Bobadilla Vite, por su gran apoyo tan puro, incondicional y siempre oportuno. Que Dios los bendiga siempre.

A mi esposa Nancy Beatriz Hernández Zúñiga porque sin ella yo no hubiera logrado esta meta y por darme a mi hija tan hermosa, sana y alegre llamada Karla Fernanda.

A mis hermanos, Óscar, Saúl, Moisés y Alma Yazmín por ser siempre muy sinceros y entusiastas.

A todo el personal de la Unidad de Servicios de Cómputo Académico de la Facultad de Ingeniería, por todo lo que aprendí en los tres años que tuve la fortuna de estar con ellos.

A los miembros de la VI Mesa Directiva del Club de Estudiantes del Colegio de Ingenieros Civiles de México y al mismo Colegio, por darme la oportunidad de conocerlos y de aprender tanto de ellos.

A todos mis amigos y familiares por siempre impulsarme a seguir luchando.

A mis profesores de la Facultad, por su gran interés por los alumnos y su preocupación por el desarrollo de nuestro país.

Al jurado que evaluará mi trabajo en el examen profesional, porque siempre estuve agradecido con ellos por los conocimientos que me transmitieron durante la carrera.

Finalmente, quisiera hacer un reconocimiento muy especial a mi director de tesis, el Dr. José Alberto Escobar Sánchez y a mis amigos del Departamento de Estructuras del Instituto de Ingeniería por todo su apoyo.

# DISEÑO DE MUROS DE CONCRETO REFORZADO ENCAMISADOS CON PVC

Contenido	Página
<b>Introducción</b>	1
<b>1. Descripción del sistema y procedimiento constructivo</b>	2
1.1. Cimentación	3
1.2. Muros	4
1.3. Techos y entrepisos	5
1.4. Elementos no estructurales	6
1.5. Procedimiento constructivo	7
1.6. Tiempos de construcción	8
1.7. Costos de construcción y mantenimiento	8
1.8. Resistencia al fuego	8
<b>2. Estudios previos</b>	10
2.1. Estudios realizados en la UNAM	10
2.2. Estudios realizados en el IMCYC	11
2.3. Estudios realizados por Óscar Hernández Basilio	12
2.4. Estudios realizados en el Instituto de Ingeniería	13
<b>3. Diseño con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias</b>	19
3.1. Comentarios del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal	19
3.2. Diseño con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería	20
3.3. Comentarios de la Propuesta de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería	24
3.4. Diseño con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto	28
3.5. Comentarios de la Propuesta de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto	30
<b>4. Falla por inestabilidad</b>	32
4.1. Estudios realizados por Paulay y Priestley	32
4.2. Falla por inestabilidad en el sistema	34
<b>5. Programa de computadora para calcular la capacidad de carga</b>	36
5.1. Diagramas de flujo	36
5.2. Descripción del programa y sus funciones	40
<b>6. Ejemplos de aplicación</b>	44
6.1. "Vivienda Tolteca" de dos niveles	44
6.2. "Vivienda Tolteca" de tres niveles	48
6.3. Edificio de departamentos de cinco niveles	52
<b>7. Conclusiones y recomendaciones</b>	55
<b>Referencias</b>	57

## **Introducción**

En los últimos años, el desarrollo de vivienda ha tenido un gran auge. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados, aún existe una gran cantidad de familias que requieren contar con una vivienda.

Por esta razón, cada día se requiere de nuevas tecnologías, tanto en materiales como en procedimientos constructivos para un desarrollo más rápido y económico del sector vivienda.

Este es el caso de muros de concreto encamisados con PVC (Policloruro de Vinilo), para la construcción de estructuras, y principalmente de viviendas de interés social y medio. En el presente trabajo se analiza la posibilidad de utilizar este tipo de tecnología. Se realiza un análisis detallado para su diseño en México, donde se tienen solicitaciones de carga debido a sismos y viento.

El sistema de muros de concreto encamisados con PVC, ha sido patentado por la empresa Royal Building Systems de México, S.A. de C.V. (RBS) y consta de paneles rectangulares de PVC que se ensamblan, se les introduce refuerzo de acero y se cuela concreto en su interior, quedando el PVC expuesto como acabado.

En este trabajo, se presentan estudios y análisis que se han desarrollado sobre el sistema, además de comentarios sobre la reglamentación útil para su diseño. Se propone un procedimiento de diseño y se presenta un programa de computadora para llevarlo a cabo. Este programa se aplica a tres ejemplos de estructuras.

## 1. Descripción del sistema y procedimiento constructivo

El sistema RBS consta de módulos básicos formados por la unión de un panel y un conector con los que se pueden formar muros, entrepisos y techos. El material componente del módulo básico es PVC con relleno, de concreto, poliestireno, o sin relleno (Fig. 1.1).

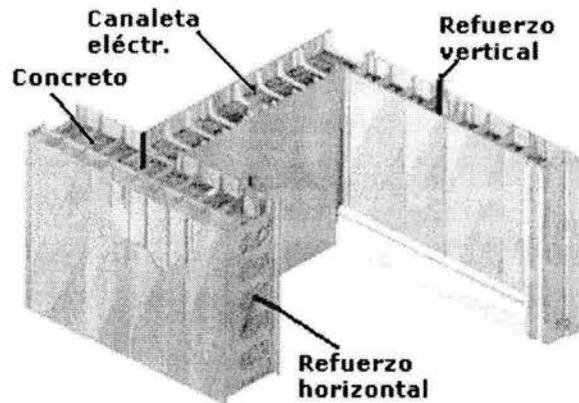


Fig. 1.1. Sistema de muros de concreto reforzado encamisados con PVC.

En la Fig. 1.2.a se muestra, en planta, la unión de un panel con dos conectores donde la distancia centro a centro de estos es de 33.3 cm, es decir, la longitud que cubre un módulo básico (panel-conector) es de un tercio de metro. Aunque en las Figs. 1.2.b y 1.2.c se observa que el espesor del muro es de 10 cm, existen varios tipos de módulos que ha desarrollado la empresa RBS: uno de 6.4 cm de espesor llamado RBS 64 mm; el mostrado, denominado RBS 100 mm; otro de 15 cm de espesor (RBS 150 mm) y uno más de 20 cm (RBS 200 mm).

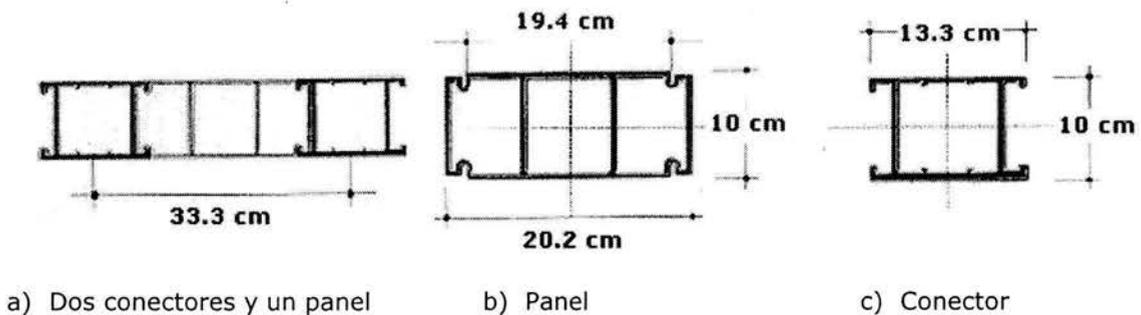


Fig. 1.2. Paneles y Conectores de PVC.

En la Fig. 1.3, se puede ver que en el sistema se cuenta con conductos eléctricos y además, se tienen orificios horizontales que permiten colocar el refuerzo de acero estructural en esta dirección.

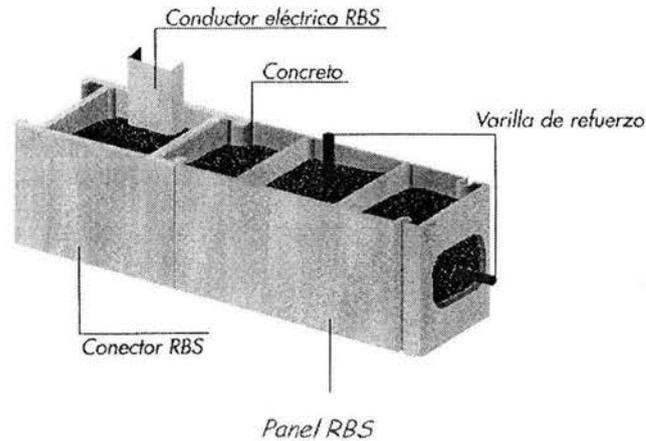


Fig. 1.3. Módulo básico del sistema RBS (conector-panel).

### 1.1. Cimentación

La losa de cimentación deberá ser una superficie plana y a nivel, en donde se anclan los muros del sistema y, en general, toda la edificación.

El anclaje de los muros consiste en tramos de varilla que deberán coincidir con el centro de cada conector. RBS recomienda que de preferencia, estos anclajes sean varillas de acero de alta resistencia  $f_y=6000 \text{ kg/cm}^2$  o en su defecto acero normal  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ .

Estas varillas se ahogan en la losa o cadena de cimentación una longitud mínima igual a 25 diámetros con un gancho en el extremo inferior igual a no menos de 12 diámetros.

La frecuencia de los tramos y el diámetro de la varilla los deberá proporcionar el cálculo estructural, pudiendo variar de un diámetro a cada 33.3 cm a un diámetro a cada 66.6 cm para muros de espesor igual a 10 cm, por ejemplo.

RBS recomienda que la longitud de las varillas, a partir del nivel de la cimentación, deberá ser de 50 cm una, y 1 m la otra y así alternadamente, excepto en los extremos de muros, intersecciones y en los lados de huecos de

puertas y ventanas, que deberá tener longitud igual a la altura del muro (Hernández, 1994), para evitar formar un plano de falla en el muro.

## 1.2. Muros

Un conjunto de módulos básicos forman un muro. La altura está determinada por el mismo proyecto. Las piezas básicas de un módulo son un conector y un panel, aunque también existen otro tipo de piezas necesarias para el ensamblado, tales como conectores de tres o cuatros vías, conector de esquina, conector de extremo, conectores y paneles estrechos, etc.

Sobre la cimentación se deben colocar guías de madera que permiten alinear los muros y evitar que se deslicen (Fig. 1.4).

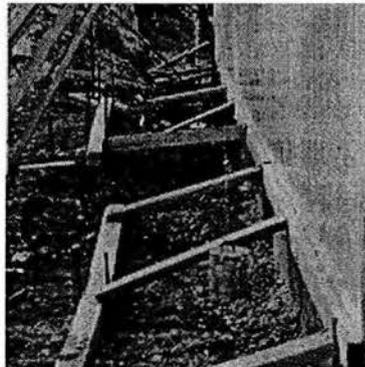


Fig. 1.4. Guías de madera auxiliares.

Los muros se colocan sobre la cimentación y están anclados a ella mediante un conjunto de varillas ahogadas en el concreto.

La cantidad de acero vertical y horizontal que requiere el muro se determina con base en el Reglamento de diseño de estructuras de cada localidad. El acero vertical se debe colocar en los conectores y el horizontal en los espacios horizontales de los paneles y conectores (Fig. 1.3).

Antes de realizar el colado de los muros, se debe considerar lo siguiente:

- Haber colocado las guías adicionales para evitar el deslizamiento de los muros.
- Tener todas las canaletas eléctricas debidamente colocadas y con sus

conexiones hacia los tramos de varilla dejados en cada piso.

- Verificar que todo el acero haya sido colocado correctamente como se especifique el cálculo estructural.
- Que las anclas que se colocan para muros y techos o entrepisos, estén bien colocadas.
- Todos los componentes del muro deben estar bien asentados en el piso.
- Todos los muros deberán estar correctamente alineados y contraventeados.

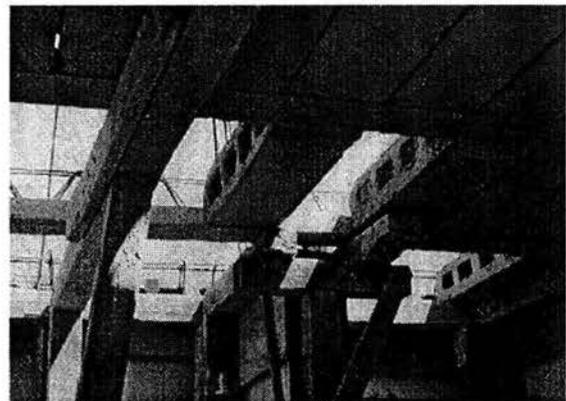
El relleno de los muros es generalmente de concreto. Y según RBS, debe tener una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de 200 Kg/cm<sup>2</sup>. Así como, un tamaño máximo de agregados de 1 cm y revenimiento mínimo de 11.5 cm (<http://www.rbsdirect.com>).

### 1.3. Techos y entrepisos

El techo consta de la unión de paneles y conectores, de una manera muy similar al ensamble de los muros y puede llevar teja para evitar filtraciones (Fig. 1.5.a). El sistema se puede adaptar a los sistemas de losas tradicionales como vigueta y bovedilla con sus variantes, losa maciza o losa encasetonada (Fig. 1.5.b).



a) Techo de PVC



b) Techo de vigueta y bovedilla

Fig. 1.5. Sistemas de techo.

Al igual que en los muros, existen varios espesores de losa y, de ser necesario, se refuerzan con insertos de lámina de acero o aluminio para cubrir claros más grandes.

El techo o entrepisos se apoyan y unen en los muros o vigas del sistema mediante anclas de acero, cuya ubicación y cantidad se determinan de acuerdo a las condiciones de viento de cada región.

En la Fig. 1.6 se muestra el detalle de la unión techo - muro de alero. Se puede observar que el anclaje es una varilla roscada y está ahogada en el concreto dentro del conector.

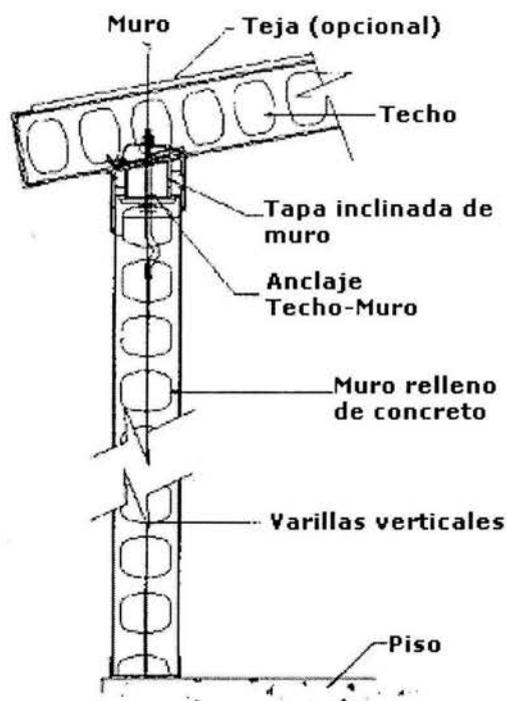


Fig. 1.6. Unión techo-muro del sistema RBS.

#### 1.4. Elementos no estructurales

Una parte integral del sistema RBS son las puertas y ventanas.

Las puertas pueden ser de PVC, madera o acero. Su fijación se hace a un marco que ha sido desarrollado por la empresa RBS.

Existen también elementos de otro tipo, como accesorios de baño, que se adaptan al sistema como se muestra en la Fig. 1.7.

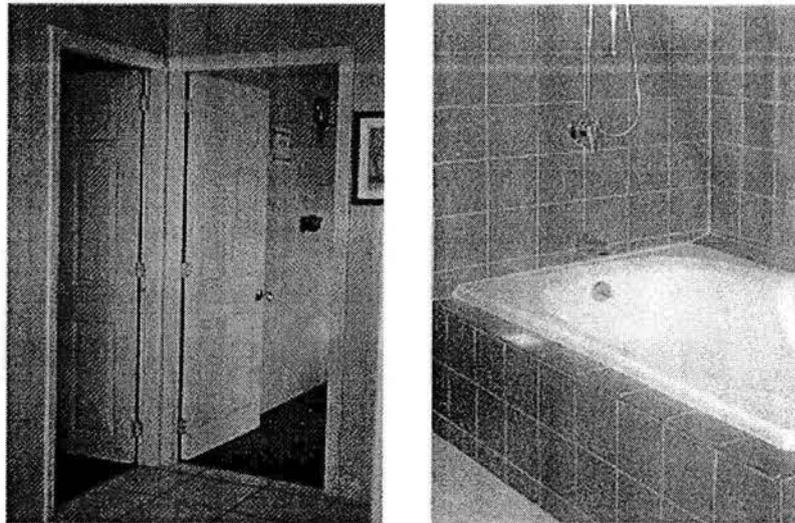
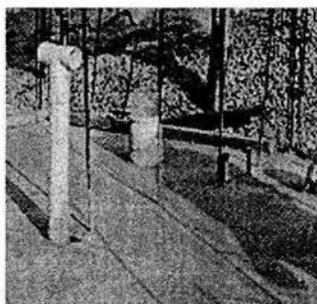


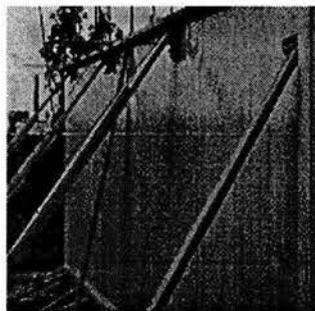
Fig. 1.7. Elementos no estructurales.

### 1.5. Procedimiento constructivo

A partir del proyecto arquitectónico, la empresa RBS, fabrica los componentes necesarios para hacer los ensambles correspondientes. Sobre la cimentación se coloca el anclaje para los muros y se dejan preparadas las instalaciones hidráulica y sanitaria (Fig. 1.8.a). Después se hace el ensamble, alineación y colado de muros (Fig. 1.8.b y 1.8.c); se ensambla y coloca el techo y finalmente, se realiza la colocación de los acabados y accesorios.



a) Anclajes e instalaciones



b) ensamble y alineación



c) colado de los muros

Fig. 1.8. Procedimiento constructivo.

## **1.6. Tiempos de construcción**

Debido a que en cada obra donde se utilizará su sistema constructivo, la empresa RBS entrega las piezas listas para ser ensambladas, esta asegura que, partiendo de la losa de cimentación con todas sus preparaciones previas (las anclas de los muros y las instalaciones hidráulica y sanitaria), una construcción puede ser realizada empleando sólo del 35 al 40% del tiempo que se necesita para una hecha con el sistema tradicional.

Lo anterior representa un tiempo de construcción reducido y esto puede representar una ventaja en la construcción de viviendas en serie.

## **1.7. Costos de construcción y mantenimiento**

Según RBS, los costos de construcción son bajos, debido al tiempo de construcción tan corto, así como a la poca mano de obra utilizada.

De acuerdo con RBS, la buena resistencia al intemperismo del PVC, resulta de gran utilidad en el sistema, pues reduce de manera importante los costos de mantenimiento al quedar expuesto el PVC como acabado. Además, la empresa RBS asegura que es muy fácil remover manchas que pudieran ser producidas por vandalismo o accidentes.

Otra cualidad importante que promueve la compañía RBS es que el sistema es un excelente aislante, lo cual reduce los costos de energía por su eficiencia térmica. También, resulta muy comfortable porque evita de manera importante el paso del sonido.

## **1.8. Resistencia al fuego**

De acuerdo con los estudios realizados para RBS (Hernández, 1994) el sistema tiene un buen comportamiento contra el fuego, ya que en pruebas

según la norma ASTM D1929 ([www.rbsdirect.com](http://www.rbsdirect.com)), la temperatura de auto-incendio resultó de 480 °C y la temperatura a la cual se presenta llama de 460 °C ([www.rbsdirect.com](http://www.rbsdirect.com)). Y por otro lado, la velocidad de quemado de los muros es de 0.0 cm/s con una extensión máxima de quemado de 1.3 cm de acuerdo con la norma D635 ([www.rbsdirect.com](http://www.rbsdirect.com)).

Según la empresa RBS, el tiempo de resistencia mínima al fuego en muros de 10 cm es de 45 minutos. Y para muros de 15 cm y 20 cm el tiempo mínimo es de 2 horas.

## 2. Estudios previos

Durante algunos años, se han realizado estudios al sistema RBS de muros de concreto encamisados con PVC. Dichos estudios han estado enfocados a determinar las propiedades mecánicas de los muros de este sistema, así como su capacidad de carga.

Entre los estudios más relevantes destacan los desarrollados en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (RBS-1, 2001), en el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC) (RBS-1, 2001), por el Dr. Hernández (Hernández, 1994) y por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) (Escobar et al., 2003).

A continuación se describen las principales aportaciones de cada uno de estos estudios.

### 2.1. Estudios realizados en la UNAM

En agosto de 1998, en el Laboratorio de Materiales de la División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se realizaron pruebas de tensión diagonal a muretes de concreto encamisados con espesor de 10 cm, con resistencia a la compresión del concreto de  $f'_c=150$  kg/cm<sup>2</sup> y aparentemente sin refuerzo. Los resultados obtenidos fueron los siguientes (RBS-1, 2001):

- Esfuerzo cortante promedio  $v=17.39$  kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de c.v. = 0.2
- La falla fue principalmente por deslizamiento (Fig. 2.1)

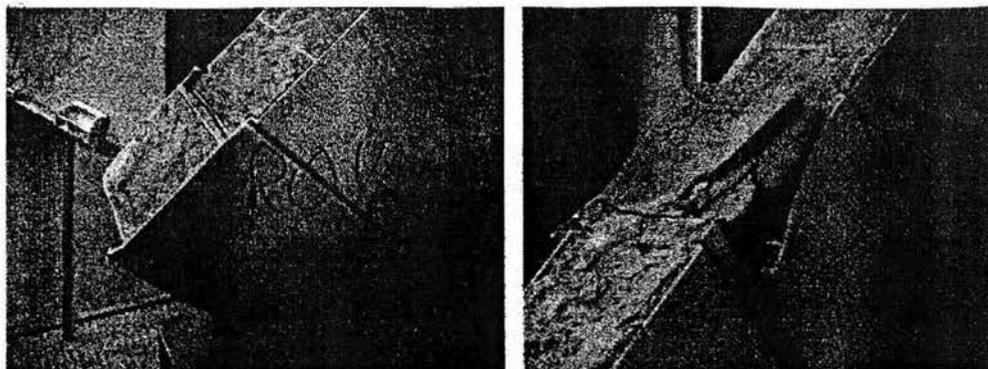


Fig. 2.1. Falla por deslizamiento de muretes de concreto encamisados con PVC (RBS-1, 2001).

## 2.2. Estudios realizados en el IMCYC

En junio de 2001, en el Laboratorio de Concreto del IMCYC (RBS-1, 2001), se realizaron ensayos a compresión del sistema con paneles vacíos de 6.4 cm y 10 cm de espesor con un ancho de 1 m aproximadamente y una altura de 2.50 m (Fig. 2.2).

La carga de compresión se aplicó verticalmente con una excentricidad de 2.5 cm y se obtuvieron los siguientes resultados: en paneles de 10 cm de espesor la carga máxima promedio (antes de la falla) fue de 8300 kg con una deformación transversal máxima promedio de 1.31 cm. En los paneles de 6.4 cm de espesor la carga máxima promedio fue de 4300 kg con una deformación transversal máxima promedio de 2.66 cm. Es importante señalar que la falla de los muros fue por pandeo lateral en ambos casos.

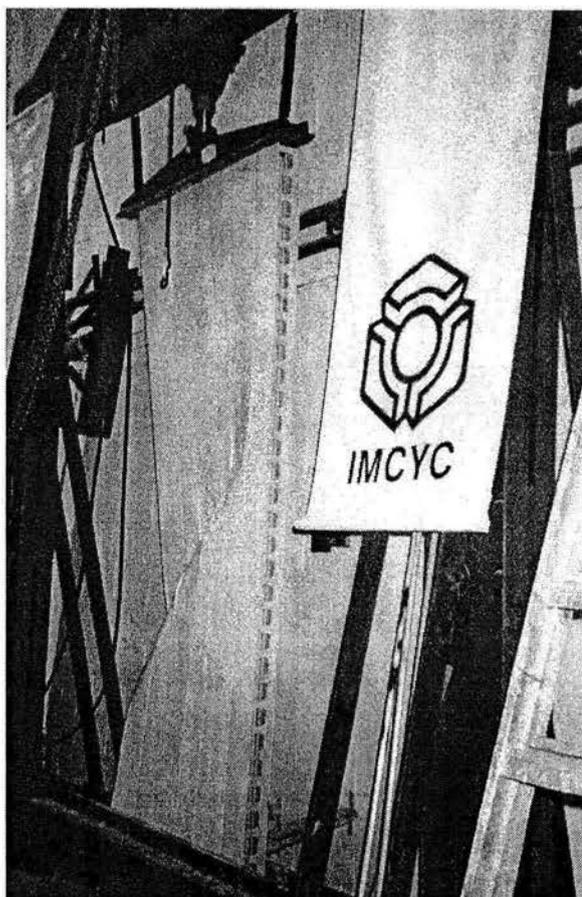


Fig. 2.2. Panel ensayado por el IMCYC (RBS-1, 2001).

### 2.3. Estudios realizados por Óscar Hernández Basilio

En enero de 1996, el Dr. Hernández realizó un estudio para evaluar la aplicación del sistema RBS en la república mexicana (Hernández, 1994). En él, hace una descripción general del sistema y sus principales componentes. Para mejorar el sistema propone utilizar un sistema de entrepisos de vigueta y bovedilla con viguetas de alma abierta y bovedilla de poliestireno. Sugiere que para techos, es recomendable el sistema propuesto por RBS debido a su apariencia, rapidez, ligereza, etc.; que las varillas de anclaje deben estar ahogadas en la cimentación por lo menos 25 diámetros y deben contar con un gancho en el anclado inferior no menor a 12 diámetros. Además, se alterarán de tamaño dejando una de 50 cm sobresaliendo de la cimentación y otras de 100 cm, y así alternadamente con la finalidad de evitar definir un plano de falla. También recomienda que la resistencia mínima del concreto, no debe ser menor de 150 kg/cm<sup>2</sup> o de 200 kg/cm<sup>2</sup> si no se cuenta con el refuerzo mínimo; y que la cuantía mínima de refuerzo recomendada es 0.0025, tanto vertical como horizontalmente.

En el capítulo 3 de su informe, el Dr. Hernández hace sugerencias sobre el sistema constructivo y de diseño sísmico del sistema RBS, donde propone que se considere un factor de comportamiento sísmico  $Q=2$  cuando se coloque la cuantía mínima de refuerzo horizontal y vertical. Además, proporciona una serie de ecuaciones para calcular la resistencia a cortante y a flexión de los muros; dichas ecuaciones se presentan a continuación.

#### **Resistencia a cortante**

$$V_R = F_R(V_C + V_S) \quad (2.1)$$

donde:

$V_C$  es la contribución del concreto a la resistencia a cortante, kg.

$V_S$  es la contribución del acero a la resistencia a cortante, kg.

$F_R$  es el factor de resistencia (0.7 si se cuenta con el porcentaje de acero mínimo y 0.4 si no es así)

$$V_C = V_0 \sqrt{1 + P / V_0} ; \text{ pero } P/V_0 \leq 5.0 \quad (2.2)$$

$$V_0 = (1.2 - 0.23 (M / VL)^2) A \sqrt{f_c^*} \geq 0.3 A \sqrt{f_c^*} \quad (2.3)$$

$f_c^*$  es la resistencia nominal de diseño del concreto =  $0.8 f'_c$

$f'_c$  es la resistencia del concreto a la edad de 28 días

$P$  es la carga axial en el muro, sin factorizar, kg

$M$  es el momento flexionante, sin factorizar, kg.m

$V$  es la fuerza cortante en el muro, sin factorizar, kg

$A$  es el área el muro =  $b L$  para un muro rectangular. Si se tiene ampliaciones en los extremos, solo se considera adicionalmente el área de un ancho tributario total de  $2b$ .

$b$  es el espesor del muro

$L$  es la longitud del muro

$V_s = p_v f_y A$ , si  $M/VL < 0.25$

$V_s = (p_v f_y (5/4 - M/VL) + p_h f_y (M/VL - 1/4))A$ , si  $0.25 \leq M/VL \leq 1.25$

$V_s = p_h f_y A$ , si  $M/VL > 1.25$

### **Resistencia a la flexión**

Si la carga axial en el muro es tan pequeña que sólo se considera la flexión, el momento resistente se calcula como:

$$M_U = F_R \left[ A_{SE} + \frac{A}{bL} A_{SI} \right] \left[ \frac{d}{L} - 0.5 \right] f_y L \quad (2.4)$$

donde:

$A_{SE}$  es el área total de acero en los dos extremos del muro,  $cm^2$

$A_{SI}$  es el área total de acero uniformemente repartida en el muro,  $cm^2$

$d$  es el peralte efectivo del muro,  $cm$

Cuando la carga axial que actúa sobre el muro se vuelve importante la resistencia a flexocompresión se calcula como:

$$M_{UR} = M_U \left[ 1 + \frac{P}{(A_{SE} + A_{SI}) f_y} \right] \quad (2.5)$$

## **2.4. Estudios realizados en el Instituto de Ingeniería**

En 2003, el Instituto de Ingeniería de la UNAM realizó el estudio llamado

"Revisión del Sistema RBS formado por muros de concreto reforzado encamisados con PVC" (Escobar et al., 2003). En él se describe el sistema y las propiedades mecánicas del PVC, entre las que destacan: densidad ( $1.4 \text{ t/m}^3$ ), resistencia a la tensión ( $400 \text{ a } 600 \text{ kg/cm}^2$ ) y módulo de elasticidad ( $24000 \text{ a } 30000 \text{ kg/cm}^2$ ), resistencia al fuego ( $200 \text{ a } 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

En el estudio del II-UNAM, se hace una revisión de estudios previos, y se hacen comentarios sobre estudios realizados en Canadá, en la UNAM, en el IMCYC y por el Dr. Hernández.

Partiendo de las ecuaciones 2.1 a 2.5 en el estudio del II-UNAM, se realizaron un conjunto de gráficas para facilitar el diseño de los muros.

En la Fig. 2.3, se muestra la relación entre la fuerza cortante resistente y la carga axial sobre el muro para diferentes relaciones  $M/VL$ . Se puede observar que a medida que se incrementa la carga axial sobre el muro, la capacidad para resistir el cortante aumenta también, pero hasta un límite que está en función de la relación  $P/V_0$ .

Así, aunque la fuerza axial sobre el muro siga incrementándose, la resistencia a cortante no llegará más allá del límite citado. También se puede afirmar que si se aplica tensión sobre un muro, la resistencia a cortante disminuirá incluso llegando a cero y que para una carga axial cero, existe una capacidad a cortante del muro.

Para obtener la capacidad de cortante, se traza una línea horizontal que corresponda a la carga axial actuante y donde se cruce con la recta  $M/VL$  se traza una recta vertical que corte el eje de las abscisas. La capacidad a cortante será la lectura que se aprecie en este último eje mencionado (Escobar et al., 2003).

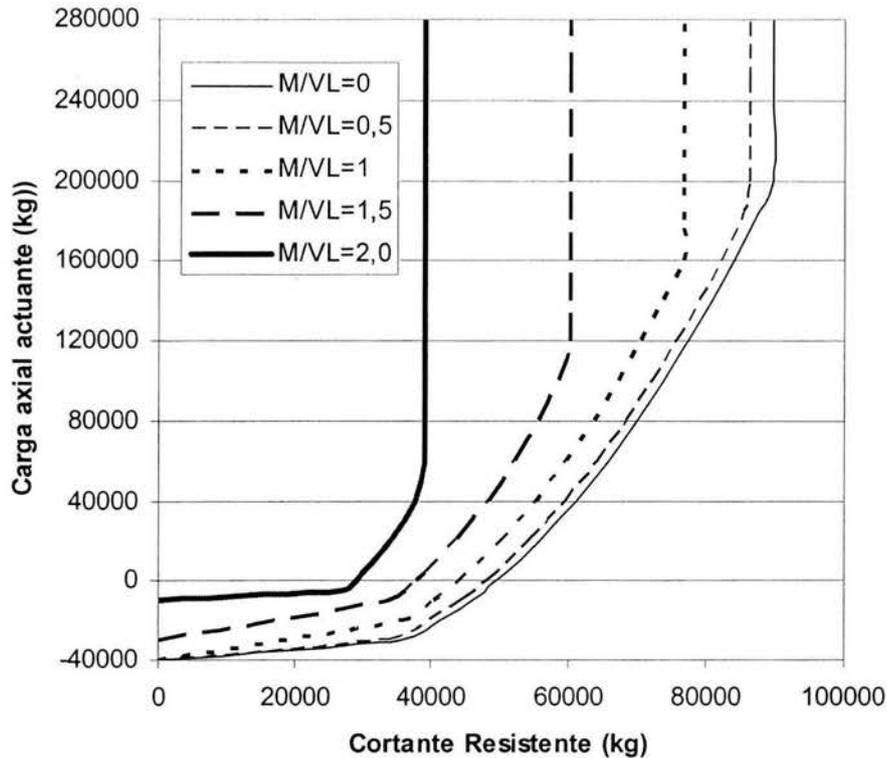


Fig. 2.3. Variación del cortante resistente en función de la carga axial, para diferentes relaciones  $M/VL$  de un muro de 3 m de largo y 10 cm de espesor, cuantía de refuerzo mínima (0.0025) y concreto  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ .

En la Fig. 2.4, se presenta la gráfica del momento resistente de un muro y su variación respecto a la carga axial actuante para diferentes longitudes. Se puede apreciar que a medida que se incrementa la carga axial actuante, la capacidad de resistir flexión también aumenta. Y que, a mayor longitud de muro, mayor capacidad de resistencia a la flexión se tiene. Por ejemplo, un muro de 100 cm de longitud resiste menos del 50% de lo que resiste uno de 200 cm (Fig. 2.4).

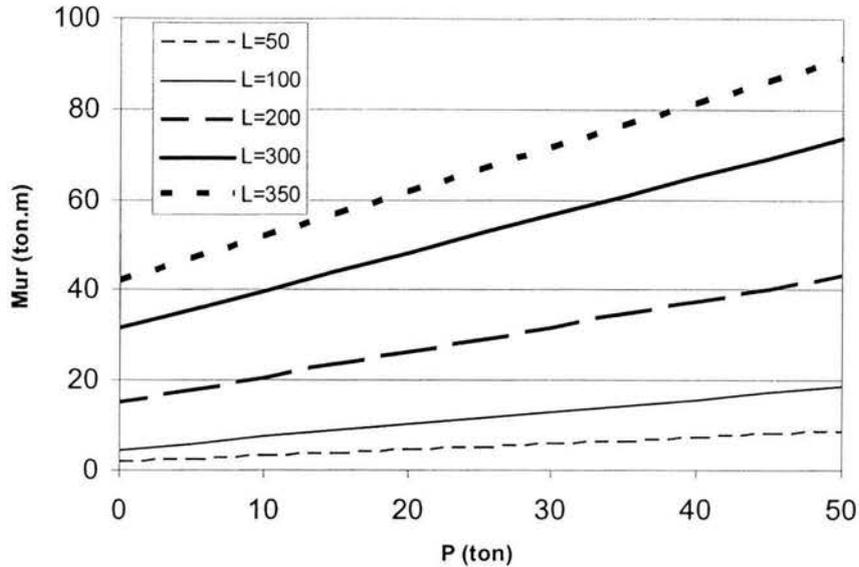
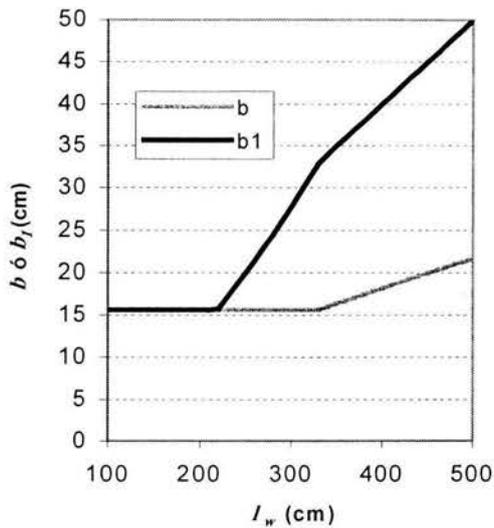


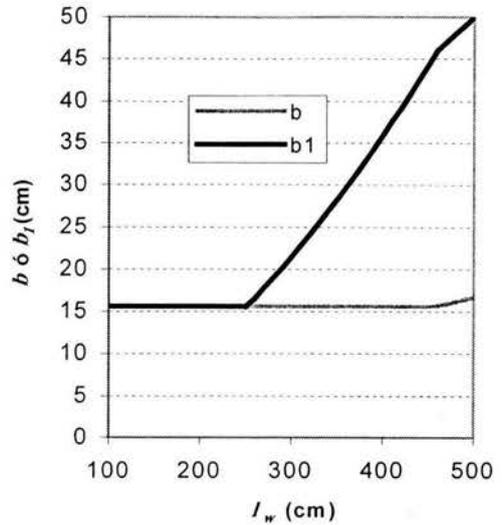
Fig. 2.4. Relación del momento resistente en función de la carga axial, para diferentes longitudes de muro (en cm), 10 cm de espesor, cuantía de refuerzo mínima,  $A_{SE} = 1.425 \text{ cm}^2$  y acero  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

La capacidad de resistir el momento flexionante, podría obtenerse de la siguiente forma: se traza una línea vertical que corresponda a la carga axial actuante (P); donde corte la línea vertical con la recta correspondiente a la longitud del muro, se traza una línea horizontal que corte al eje de las ordenadas; por último, se obtiene la capacidad de momento flexionante del muro, leyendo sobre el eje de las ordenadas, el punto donde cruzó la línea horizontal trazada (Escobar et al., 2003).

El subcapítulo llamado "Estudios analíticos de falla por inestabilidad de muros" del informe del II-UNAM es muy interesante, pues trata de los trabajos realizados por Paulay y Priestley en 1990 (Paulay y Priestley, 1990). En ellos se menciona la necesidad de utilizar elementos de borde o atiesadores en los extremos de los muros para evitar la falla por inestabilidad. Con el criterio propuesto por Paulay y Priestley se presentan gráficas (Fig. 2.5) donde se calculan las dimensiones de los atiesadores en función de la longitud de muro. El tema de falla por inestabilidad se desarrollará de una manera más detallada en el capítulo 5 del presente trabajo.



a) un solo lecho de varillas.



b) doble lecho de varillas.

Fig. 2.5. Relación entre la longitud horizontal de un muro  $l_w$  y las dimensiones  $b$  y  $b_1$  de sus atiesadores para 10 cm de espesor, 2,5 m de altura de entrepiso y 5 niveles donde  $\mu_d = 2$ , (Escobar et al., 2003).

Posteriormente, en el informe del II-UNAM se hace la revisión del sistema de acuerdo con la normatividad existente y se calcula la capacidad de carga en dos estructuras construidas con esta tecnología.

Se propone un procedimiento de diseño para el sistema y se dan las conclusiones y comentarios, donde se menciona principalmente que los muros tienen suficiente rigidez en su plano; que en los estudios previos no se han realizado pruebas acerca del comportamiento del refuerzo y no es posible determinar a simple vista si existen grietas, ni su magnitud, ni para qué carga y en qué momento se presentan, debido a que los muros están cubiertos con el PVC (Escobar et al., 2003).

Finalmente, se hacen algunas recomendaciones para el empleo de muros de concreto encamisados con PVC, tales como (Escobar et al., 2003):

- Revisar el espesor de los muros para evitar pandeo lateral.
- Cumplir con los requisitos mínimos de refuerzo establecidos por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF, 1993) y sus Normas Técnicas Complementarias (NTCM, 1994; NTCC, 1994).

- La resistencia a carga lateral puede ser calculada con las ecuaciones del Dr. Hernández.
- Sólo se pueden usar muros de 6.4 cm de espesor cuando las construcciones tengan máximo 2 niveles y con sus atiesadores correspondientes, debido a la vulnerabilidad a impactos accidentales, cargas excéntricas, etc.
- Se debe garantizar que los rayos solares no dañan al PVC de las estructuras.

### 3. Diseño con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias

Se hacen comentarios y sugerencias de diseño del sistema constructivo RBS con el Reglamento de Construcciones para el Departamento del Distrito Federal vigente (RCDF, 1993) y sus Normas Técnicas Complementarias (NTCM, 1994; NTCC, 1994). También se hacen comentarios sobre la nueva propuesta de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (Propuesta NTCM, 2001) y la nueva propuesta de Normas Técnicas Complementarias de Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (Propuesta NTCC, 2001).

#### 3.1. Comentarios del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal

El RCDF, en su artículo 117 clasifica a las edificaciones, de acuerdo al riesgo por incendio, en edificaciones de riesgo menor (máximo: 25m de altura, 250 ocupantes y 3000 m<sup>2</sup>) y en edificaciones de riesgo mayor (las edificaciones con altura, número de ocupantes o área de construcción mayor que las de riesgo menor).

En su artículo 118, el RCDF dice:

"La resistencia al fuego es el tiempo que resiste un material al fuego directo sin producir flama o gases tóxicos, y que deberán cumplir los elementos constructivos de las edificaciones según la siguiente tabla:

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	RESISTENCIA MINIMA AL FUEGO EN HORAS	
	riesgo mayor	riesgo menor
Elementos estructurales (columnas, vigas, traveses, entresijos, techos, muros de carga) y muros en escaleras, rampas y elevadores	3	1
Escaleras y rampas	2	1
Puertas de comunicación a escaleras, rampas y elevadores	2	1
Muros interiores divisorios	2	1
Muros exteriores en colindancias y muros en circulaciones horizontales	1	1
Muros en fachadas		Material incombustible (a)

Para los efectos de este Reglamento, se consideran materiales incombustibles los siguientes: adobe, tabique, ladrillo, block de cemento, yeso, asbesto, concreto, vidrio y metales. "

En la tabla anterior, se puede observar que para edificaciones de riesgo menor, la resistencia mínima al fuego es de 1 hora. Al comparar este aspecto con lo establecido en el punto 2.8 del presente trabajo, se puede apreciar que un muro de 10 cm de espesor no cumpliría con el tiempo mínimo establecido en el RCDF, ya que sólo resiste 45 minutos. Para resolver este problema, se deberá aplicar un recubrimiento con aislantes o retardantes de fuego según el artículo 120 del RCDF (RCDF, 1993).

Analizando también el inciso "a" del artículo 118 del RCDF, se puede ver que el PVC no está considerado como material incombustible.

En la mayoría de los casos, el RCDF recomienda el uso del PVC para tuberías en instalaciones hidráulicas, eléctricas y sanitarias.

En el artículo 176 del RCDF, se recomienda que la estructura sea preferentemente regular, lo cual coincide con construcciones ya realizadas con este sistema, pues son muy regulares según lo mostrado en planos de plantas tipo (RBS-1, 2001; RBS-2, 2001; RBS-3, 2001).

Los factores de carga que se deben utilizar para este caso (construcción de vivienda) son: 1.4 para combinaciones de cargas permanentes y cargas variables; 1.1 para combinaciones de cargas permanentes, variables y accidentales; y 1.0 para revisión de estados límite de servicio (RCDF, 1993).

### **3.2. Diseño con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería**

De acuerdo a su función estructural, los muros pueden ser clasificados como: muros diafragma, muros confinados, muros reforzados interiormente, muros no reforzados y otras modalidades (NTCM, 1994).

Para el caso de muros reforzados interiormente se debe cumplir que la suma de la cuantía de refuerzo horizontal y vertical debe ser al menos 0.002 y en ningún caso será menor de 0.0007 la cuantía de refuerzo en alguna de las dos direcciones. La relación altura/espesor de estos no debe ser superior a 30.

De acuerdo con estos criterios, los muros deberán cumplir con la cuantía

mínima de refuerzo, así como la relación altura/espesor. Por ejemplo, para el caso de los muros de 6.4 cm de espesor, deberán tener una altura máxima de 1.92 m, lo cual no corresponde con las construcciones realizadas por RBS, pues generalmente tienen una altura de 2.30 m.

En el subcapítulo 4.2 de las NTCM, se proporciona la forma de calcular la capacidad de carga, es decir, la resistencia a cargas verticales, a cargas laterales y a flexión.

### **Resistencia a cargas verticales**

$$P_R = F_R F_E f_m^* A_T \quad (3.1)$$

donde:

$P_R$  es la carga vertical resistente por la mampostería

$F_R$  es el factor de resistencia y es igual a 0.6 para muros reforzados interiormente

$f_m^*$  es la resistencia de diseño en compresión de la mampostería

$F_E$  es el factor de reducción por excentricidad y esbeltez obtenido de acuerdo con el subcapítulo 4.2.2 de las NTCM

$A_T$  es el área de la sección transversal del muro =  $t L$ , donde  $t$  es el espesor del muro y  $L$  es la longitud

La contribución del refuerzo de acero a cargas verticales se considera incrementando la capacidad en compresión de la mampostería ( $f_m^*$ ) en un 25% pero no más de 7 kg/cm<sup>2</sup>.

La ecuación 3.1 se grafica en función de la longitud de muro, lo cual facilita el cálculo de la resistencia a cargas verticales (Escobar et al., 2003).

En la Fig. 3.1 se aprecia que entre más largo sea un muro, mayor será su capacidad de carga. De la misma manera, al aumentar su espesor aumenta su resistencia a cargas verticales.

No se grafica para muros de 6.4 cm de espesor debido a que no cumplen con la relación mínima de altura/espesor. La Fig. 3.1 es para muros de 2.30 m de alto.

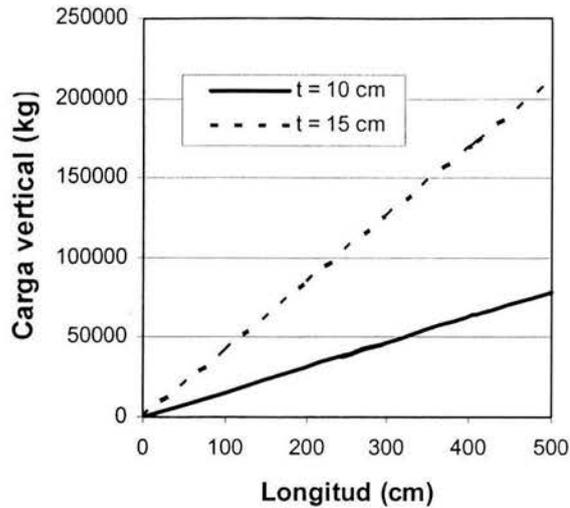


Fig. 3.1. Variación de la resistencia a carga vertical en función de la longitud, para diferentes espesores, para muros reforzados interiormente considerando una altura de muro de 2.30 m y resistencia a la compresión  $f^*m = 109 \text{ kg/cm}^2$  ( $f^*m=f''c + 7 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ ).

### **Resistencia a cargas laterales**

Cuando sean aplicables los requisitos del método simplificado de diseño sísmico, la revisión podrá reducirse a los efectos de la fuerza cortante (NTCM, 1994), lo cual es totalmente válido para las construcciones realizadas por RBS, puesto que cumplen con lo establecido en el inciso 4.1.3 de las NTCM.

*Cálculo de la resistencia a fuerza cortante para muros reforzados interiormente:*

$$V_R = F_R(0.5v^*A_T + 3P) \leq 1.5F_Rv^*A_T \quad (3.2)$$

donde:

$P$  es la carga vertical actuante sobre el muro sin aplicar el factor de carga

$v^*$  es el esfuerzo cortante medio de diseño

$F_R$  es el factor de reducción igual a 0.7 para muros reforzados interiormente

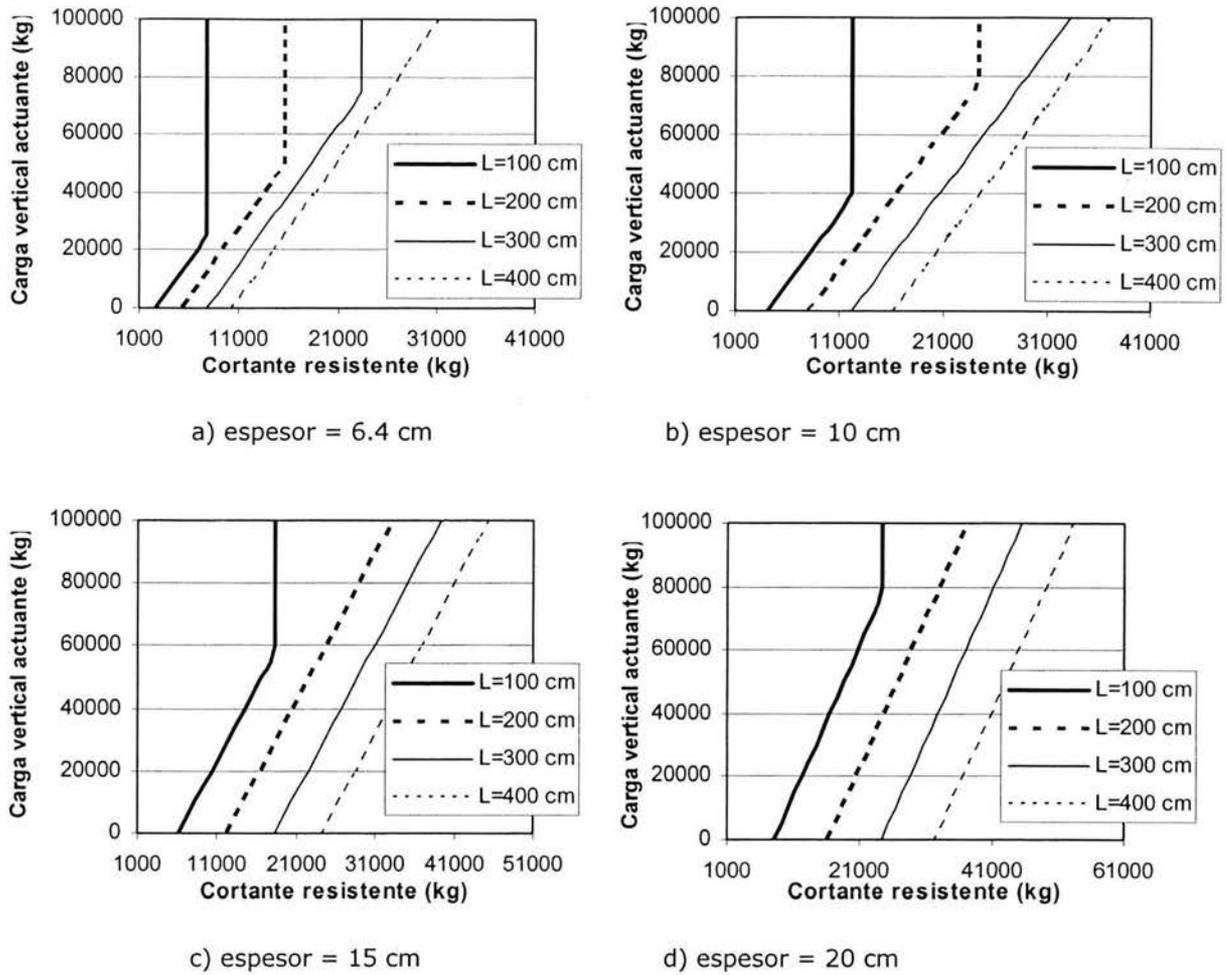


Fig. 3.2. Resistencia a cortante respecto a la carga vertical actuante para diferentes longitudes y espesores de muros reforzados interiormente, considerando  $v^* = 11.59 \text{ kg/cm}^2$  (donde  $v^* = \bar{v} / (1 + 2.5c_v)$ , de acuerdo al las NTC mampostería para  $\bar{v} = 17.39 \text{ kg/cm}^2$  y  $c_v = 0.2$  según los estudios hechos en la UNAM).

Para considerar la contribución del refuerzo de acero horizontal, se incrementa la capacidad de cortante (obtenida de la Fig. 3.2 o calculada con la ecuación 3.2) en 25%, siempre y cuando la cuantía de refuerzo horizontal no sea menor de 0.0005 ni al valor que resulte de la expresión:

$$p_h = 0,0002v^* \left( 1 + 0,2 \frac{P}{v^* A_T} \right) \left( \frac{4200}{f_y} \right) \quad (3.3)$$

### **3.3. Comentarios de la Propuesta de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería**

En la nueva propuesta de las Normas Técnicas Complementarias de Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (Propuesta NTCM, 2001) se dedica todo el capítulo 6 a muros de mampostería reforzados interiormente.

Se menciona que para diseño por sismo se debe utilizar un factor de comportamiento sísmico  $Q = 1.5$ .

En el caso del refuerzo de acero, se solicita colocar la misma cantidad de refuerzo horizontal y vertical que en las normas vigentes. Sin embargo, en la esta nueva propuesta se enuncian un conjunto de recomendaciones sobre el tamaño, colocación y separación del acero que a continuación se describen:

- El refuerzo vertical en el interior del muro tendrá una separación no mayor a 6 veces el espesor del muro ni mayor a 80 cm.
- Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro.
- Deberá colocarse por lo menos dos barras consecutivas de 3/8" en: todo extremo de muros; intersecciones entre muros o a cada 3 m (Fig. 3.3).
- La relación altura/espesor no será mayor que 30.
- El anclaje de las barras de acero (Fig. 3.4) se considera igual al especificado en las Normas Técnicas Complementarias de Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTCC, 1994).

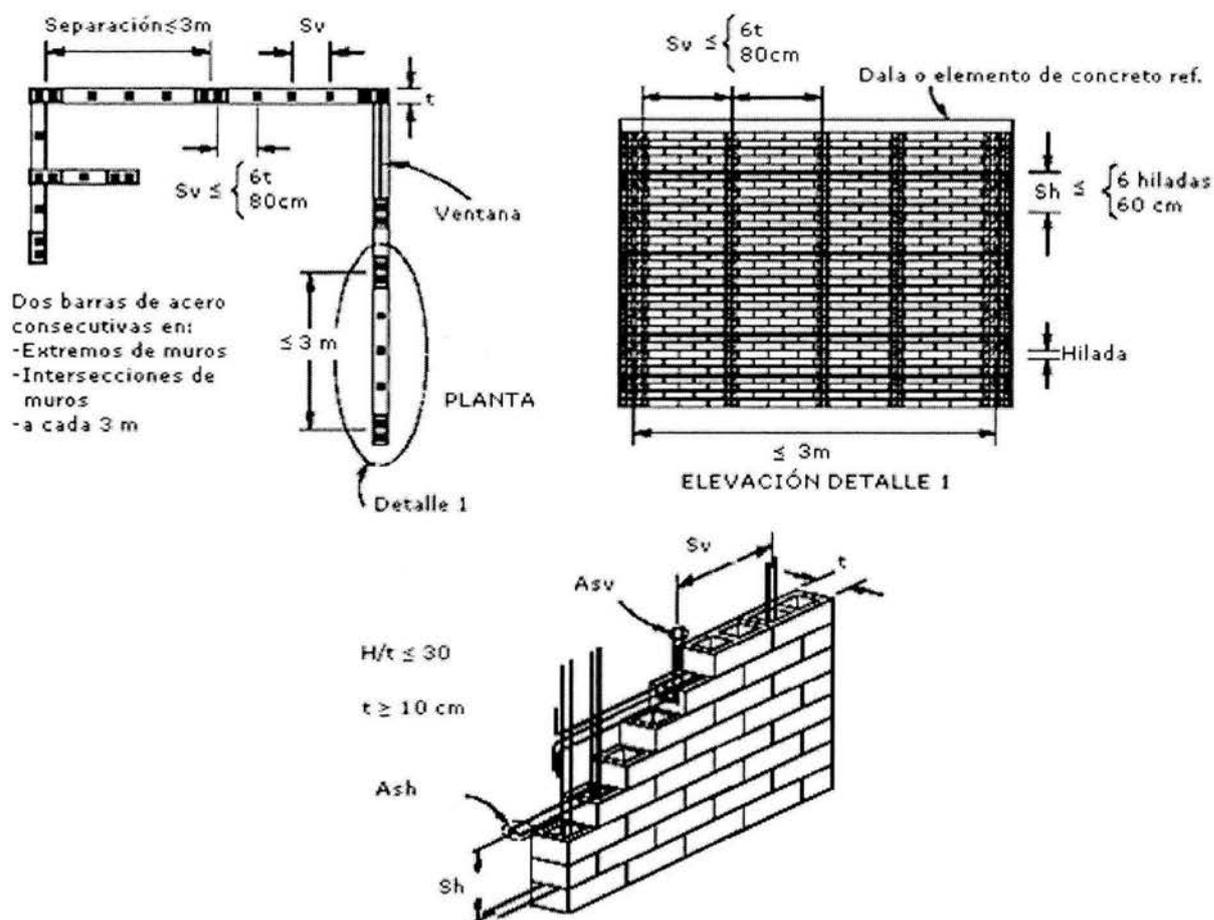


Fig. 3.3. Requisitos para mampostería reforzada interiormente (Propuesta NTCM, 2001), donde: H es la altura de muro, t es el espesor, Asv y Ash son el área de acero vertical y horizontal respectivamente a una separación Sv y Sh correspondientemente.

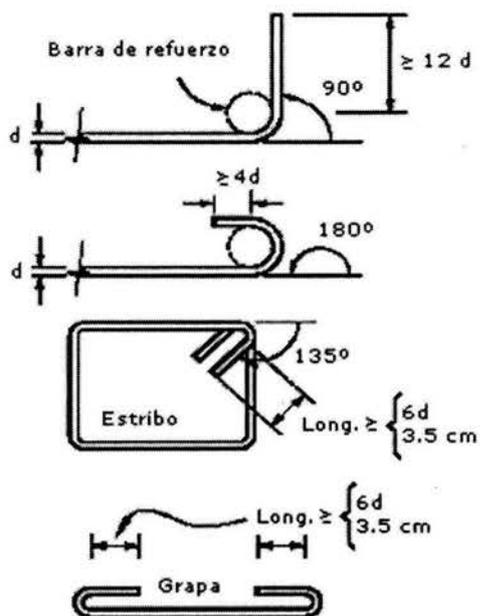


Fig. 3.4. Dobles y anclaje del refuerzo de acero para mampostería interiormente reforzada (Propuesta NTCM, 2001)

Cuando los muros transversales sean de carga y lleguen a tope, sin traslape de piezas, será necesario unirlos mediante dispositivos que aseguren la continuidad de la estructura (Fig. 3.5).

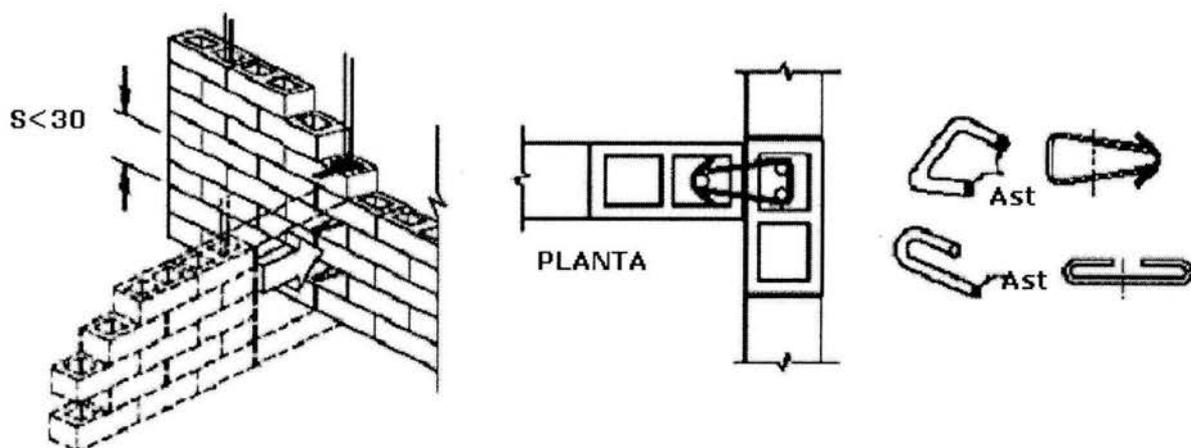


Fig. 3.5. Unión entre muros de mampostería reforzada interiormente sin traslape de piezas (Propuesta NTCM, 2001), donde Ast es el área transversal del refuerzo a una separación S.

Se debe reforzar interiormente toda abertura y parapeto con barras en forma vertical y horizontal (Fig. 3.6).

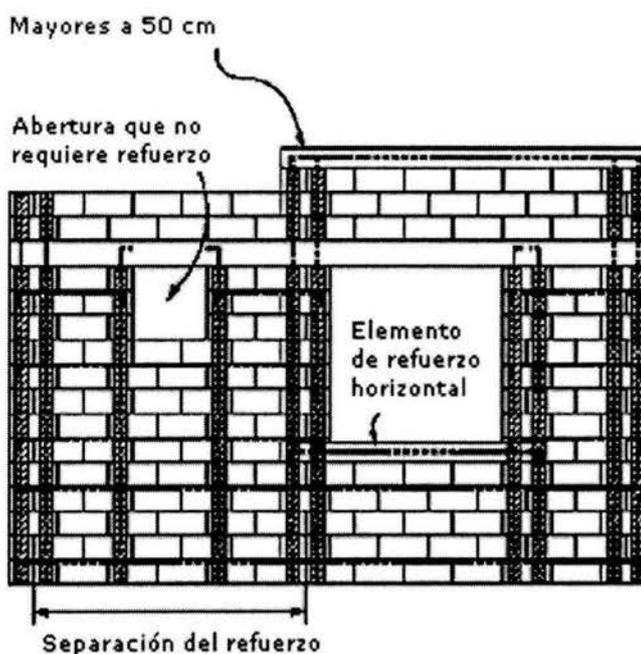


Fig. 3.6. Refuerzo en aberturas y parapetos para estructuras de mampostería reforzada interiormente (Propuesta NTCM, 2001)

Para el cálculo de la capacidad de carga, en la nueva propuesta de las NTCM, se propone lo siguiente:

### **Resistencia a cargas verticales**

$$P_R = F_R F_E (f_m^* + 7) A_T \leq 1.25 F_R F_E f_m^* A_T$$

En la ecuación anterior, se puede apreciar que a la resistencia nominal de la mampostería se le suma el incremento por el refuerzo (7 kg/cm<sup>2</sup>) y además, que la resistencia a carga vertical debe ser menor o igual al 125% de lo que resulte si, a dicha resistencia de la mampostería, no se le sumara nada.

### **Momento flexionante resistente**

$$M_R = F_R M_0 + 0.3 P_u d; \quad \text{si : } 0 \leq P_u \leq \frac{P_R}{3}$$

$$M_R = (1.5 F_R M_0 + 0.15 P_R d) \left(1 - \frac{P_u}{P_R}\right); \quad \text{si : } P_u > \frac{P_R}{3}$$

donde:

$M_0$  es la resistencia a flexión pura del muro, igual a  $A_s f_y d'$

$A_s$  es el área total de refuerzo en los extremos del muro

$d'$  distancia entre los centroides de acero colocado en los extremos del muro

$d$  es la distancia entre el centroide del acero de tensión y la fibra a compresión máxima

$P_u$  es la carga axial de diseño para el muro

$P_R$  es la resistencia a cargas verticales

### **Resistencia a cortante**

$$V_{mR} = F_R (0.5 v_m^* A_T + 0.3 P) \leq 1.5 F_R v_m^* A_T$$

El cortante que resiste el acero horizontal se calcula como:

$$V_{sR} = F_R \eta p_h f_{yh} A_T$$

$$\eta = 0.6 \quad \text{si : } p_h f_{yh} \leq 6 \text{ kg / cm}^2$$

$$\eta = 0.8 \quad \text{si : } p_h f_{yh} \geq 9 \text{ kg / cm}^2$$

donde:

$P$  es la carga axial que actúa sobre el muro

### 3.4. Diseño con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto

Las NTCC del RCDF proponen hacer dos divisiones de acuerdo con la carga que actúa en los muros, cargas verticales o axiales y sujetos a fuerzas horizontales en el plano (NTCC, 1994).

Los primeros deben dimensionarse por flexocompresión como si fuesen columnas, teniendo en cuenta que:

- En tableros cuyos bordes verticales posean suficiente restricción, la longitud efectiva de pandeo ( $H'$ ), se debe calcular como

$$H' = H \quad \text{si } H/L \leq 0.35$$

$$H' = (1.3 - 0.85 H/L) H \quad \text{si } 0.35 < H/L \leq 0.8$$

$$H' = H \quad \text{si } H/L \geq 0.8$$

donde:

$H$  es la altura de muro

$L$  es la longitud.

En este punto, se habla de elementos verticales de borde en el muro que proporcionen suficiente restricción lateral, los cuales deben contar con una dimensión (perpendicular al plano del muro) de 2.5 veces el espesor de este.

- Para muros que no cuentan con suficiente restricción lateral

$$H' = H \quad \text{si } H/L \leq 0.35$$

$$H' = 0.215(H/L + 4.3)H \leq 2H \quad \text{si } H/L \geq 0.35$$

En el sistema de muros encamisados con PVC de RBS, no se cuenta con los elementos extremos citados, por lo cual se considera que la longitud efectiva de pandeo es la correspondiente a muros que no cuentan con suficiente restricción lateral.

Cuando no se cumpla que la carga vertical de diseño quede dentro del tercio medio del espesor del muro y su magnitud no exceda del 25% de  $f'_c A_g$ , el porcentaje de refuerzo vertical mínimo será  $20/f_y \leq p_v < 0,06$ . En caso contrario, el refuerzo vertical, al igual que el horizontal para cualquier caso, será de 2% en muros protegidos de la intemperie y de 3% en muros no protegidos de ella. La

separación no debe exceder de 50 cm ni de 3.5 veces el espesor (NTCC, 1994). Para a muros sujetos a fuerzas horizontales en su plano, se consideran solo aquellos sin cargas verticales importantes. Permittedose una relación longitud/espesor no mayor a 70. El espesor no debe ser mayor a 13 cm ni a 0.06 veces la altura no restringida lateralmente. Sin embargo, en construcciones de no más de tres niveles y con entepiso con altura no mayor a 3 m, se permite un espesor mínimo de muro de 10 cm.

El factor de diseño sísmico será  $Q = 2$  cuando se cuente con elementos extremos y  $Q = 3$  en caso contrario (NTCC, 1994).

En las NTCC del RCDF se menciona que la resistencia a la flexión de los muros puede calcularse con la ecuación  $M_R = F_R A_g f_y z$  cuando  $P_u \leq 0.2 F_R t L f'_c$ , donde  $z$  se calcula como:

$$z = 0.8L; \quad \text{si } \frac{H}{L} \geq 1$$

$$z = 0.4 \left( 1 + \frac{H}{L} \right) L; \quad \text{si } 0.5 < \frac{H}{L} < 1$$

$$z = 1.2H; \quad \text{si } \frac{H}{L} \leq 0.5$$

La resistencia a cortante se calcula como:

$$V_{cR} = 0.85 F_R \sqrt{f'_c} t L \quad \text{si } \frac{H}{L} \leq 1.5$$

$$V_{cR} = F_R b d (0.2 + 30p) \sqrt{f'_c} \quad \text{si } \frac{H}{L} \geq 2 \text{ y } p < 0.01$$

$$V_{cR} = F_R b d \sqrt{f'_c} \quad \text{si } \frac{H}{L} \geq 2 \text{ y } p \geq 0.01$$

*Notas:*

*En las dos últimas ecuaciones se toma como peralte efectivo  $d = 0.8L$ .*

*Cuando  $H/L$  esté entre 1.5 y 2 se permite una interpolación lineal.*

El porcentaje de refuerzo de acero mínimo horizontal y vertical no será menor de 0.0025 y debe ser colocado uniformemente distribuido con separación no mayor de 35 cm (NTCC, 1994).

Para muros con espesor mayor a 15 cm, el refuerzo debe colocarse en dos capas

próximas a las caras. Esto, resulta difícil de llevar a cabo en los muros de 20 cm que maneja RBS, pues están diseñados para colocar una sola capa de refuerzo en su interior.

Con respecto a elementos extremos, las NTCC mencionan que deben suministrarse estos elementos en las orillas de muros y diafragmas estructurales en donde el refuerzo de compresión en la fibra más esforzada exceda del 20% de  $f'c$  bajo las cargas de diseño incluyendo sismo. También se suministrarán en bordes de aberturas en muros donde se exceda el límite anterior para el espesor de compresión. Los elementos extremos pueden interrumpirse en zonas donde el esfuerzo de compresión máximo calculado sea menor del 15% de  $f'c$  (NTCC, 1994).

### **3.5. Comentarios de la Propuesta de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto**

En esta nueva propuesta de NTCC del RCDF se clasifican los muros con la forma en la que actúan las cargas sobre ellos. Y se establece que la resistencia a cargas verticales y la resistencia a cargas horizontales en su plano se calculan como en las NTCC vigentes.

La diferencia que se puede observar entre las normas vigentes y la propuesta, es que en esta última se separan las formas de evaluar la necesidad de elementos extremos en los muros: para muros continuos desde la base hasta la punta de la estructura y diseñados para formar una articulación plástica; para muros que no cumplen con lo anterior. Además, en el inciso 6.5.2.4.c (Propuesta NTCC, 2001), se describen a detalle los requisitos mínimos con que deben cumplir estos elementos de borde (Fig. 3.7)

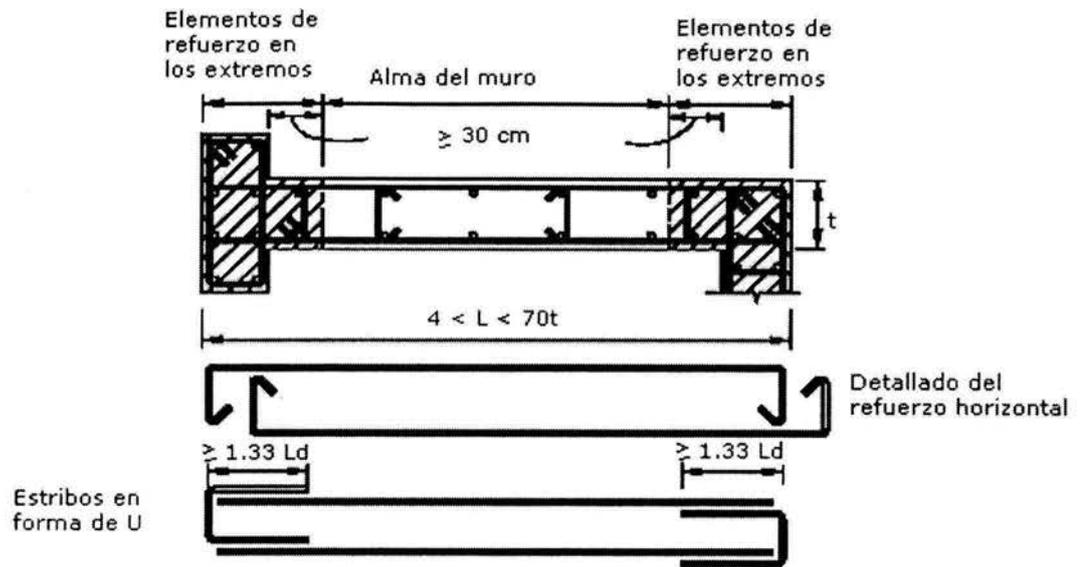


Fig. 3.7. Elementos extremos para muros de concreto reforzado (Propuesta NTCC, 2001)

## 4. Falla por inestabilidad

### 4.1. Estudios realizados por Paulay y Priestley

Paulay y Priestley, mencionan que cuando existen cargas de compresión en un muro esbelto, puede presentarse un problema de inestabilidad debido a pandeo (Paulay y Priestley, 1992). Para evitarlo, proponen que el espesor crítico del muro se calcule con las ecuaciones:

$$b_c = 0.017l_w \sqrt{\mu_\phi} \quad \text{cuando } \beta = 0.8 \quad (4.1)$$

y

$$b_c = 0.022l_w \sqrt{\mu_\phi} \quad \text{cuando } \beta = 0.5 \quad (4.2)$$

donde:

$l_w$  es la longitud del muro

$\mu_\phi$  es la ductilidad de curvatura, que se calcula como

$$\mu_\phi = 1 + \frac{\mu_\Delta - 1}{3(l_p / h_w)(1 - 0.5 l_p / h_w)} \quad (4.3)$$

$\mu_\Delta$  es la ductilidad de desplazamiento

$l_p$  es la longitud de la articulación plástica equivalente que se puede calcular como

$$l_p = 0.21l_w + 0.044h_w$$

$h_w$  es la altura total del muro

En estas ecuaciones, el valor de  $\beta$  depende del arreglo del refuerzo vertical; para dos capas se toma como  $\beta=0.8$  y para una sola capa se considera como  $\beta=0.5$  (Fig. 4.1).

Además,  $l_w$  no debe ser mayor que  $1.6h_1$  y también recomiendan que  $b$  no sea menor que  $h_1/16$ .

donde:

$h_1$  es la altura del primer nivel de la estructura

$b$  es la dimensión de los elementos borde, que es perpendicular al

plano del muro (Fig.4.2)

Cuando el espesor crítico del muro resulte mayor que el espesor real se deben colocar elementos de borde (atiesadores) con área  $A_{wb}$ , tal que:

$$b_c^2 \leq A_{wb} \geq b_c l_w / 10 \quad (4.4)$$

En la Fig. 4.2 se muestra la representación de los límites descritos en las ecuaciones anteriores.

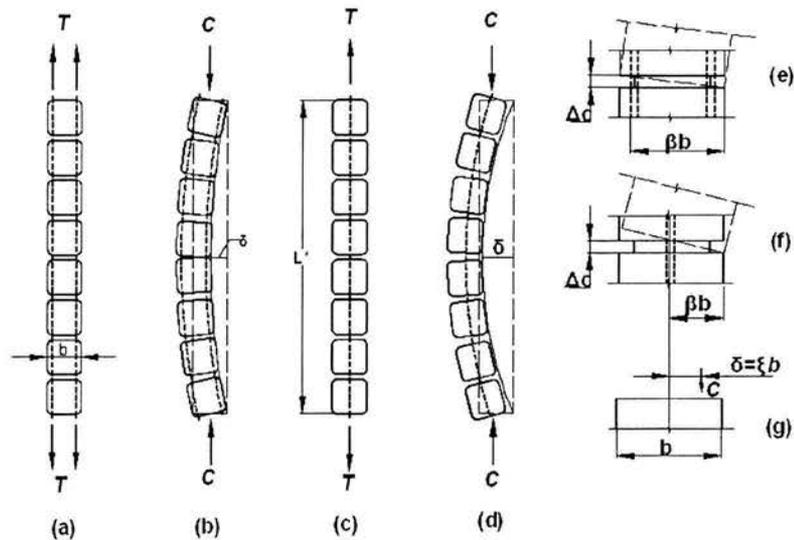


Fig. 4.1. Deformaciones debido a pandeo provocado por fuerzas de compresión, en muros con una y dos capas de acero de refuerzo (Paulay y Priestley, 1992)

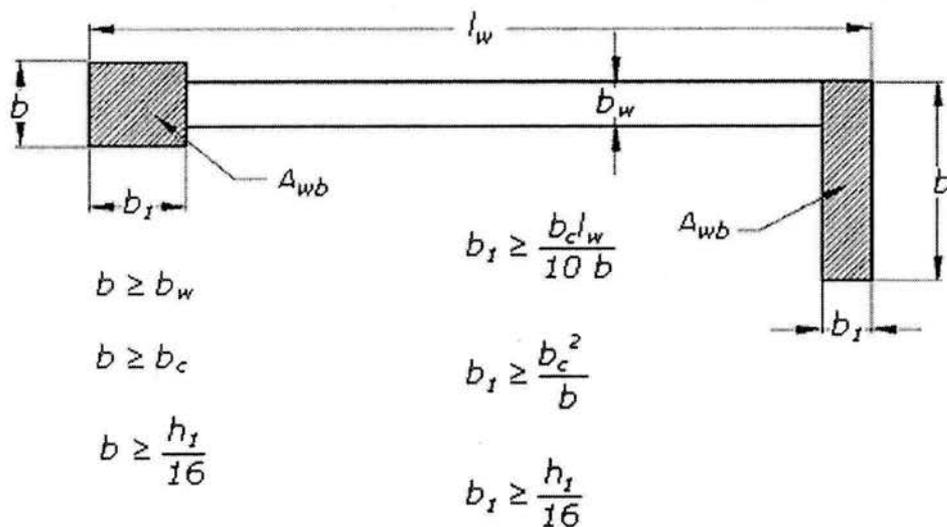


Fig. 4.2. Dimensiones de los elementos de borde (atiesadores) para un muro de espesor  $b_w$  y longitud  $l_w$  (Paulay y Priestley, 1992)

## 4.2. Falla por inestabilidad en el sistema

A partir de las ecuaciones mostradas en la Fig. 4.2, es posible graficar las dimensiones mínimas de los atiesadores respecto a la longitud, para muros de diferentes espesores (6.4, 10, 15 y 20 cm).

En las Figs. 4.3 y 4.4 se muestra la longitud de muro y las dimensiones mínimas que deben poseer los atiesadores, con el objetivo de dar estabilidad al mismo. Dichas figuras se han calculado para una estructura de 5 niveles,  $h_w = 13$  m de altura,  $h_1 = 2.55$  m, ductilidad de desplazamiento  $\mu_d = 2$ , una sola capa de refuerzo vertical y para los cuatro diferentes espesores de muro ( $b_w$ ) que ha desarrollado RBS.

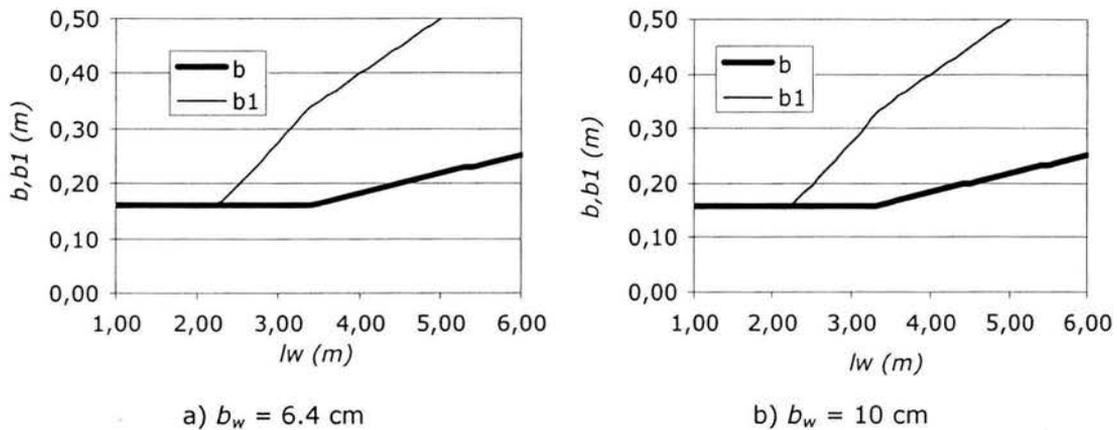


Fig. 4.3. Dimensiones mínimas de atiesadores en función de la longitud, para muros con altura  $h_w = 13$  m,  $h_1 = 2.55$  m con una sola capa de refuerzo y  $\mu_d = 2$ .

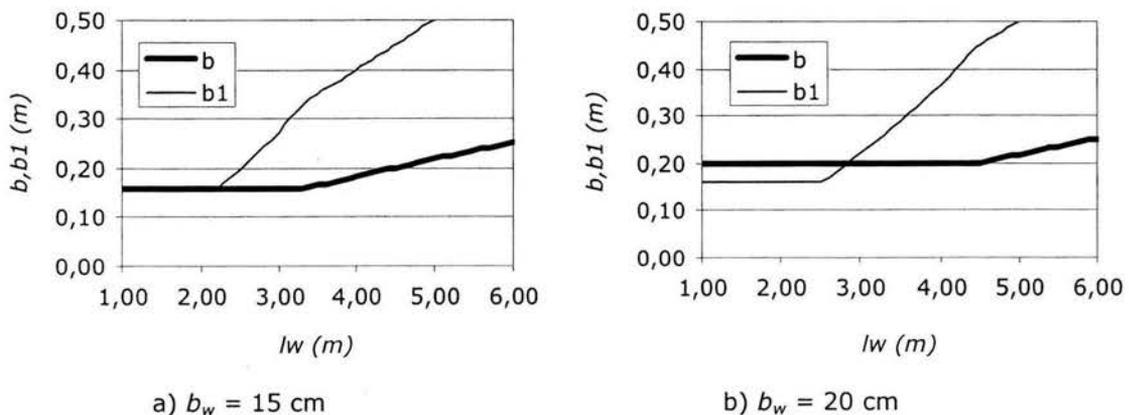


Fig. 4.4. Dimensiones mínimas de atiesadores en función de la longitud, para muros con altura  $h_w = 13$  m,  $h_1 = 2.55$  m con una sola capa de refuerzo y  $\mu_d = 2$ .

En las Figs. 4.3 y 4.4 se puede apreciar que para los muros con espesor de 6.4, 10 y 15 cm las dimensiones de los atiesadores son de 16 cm, pues en el cálculo rige  $h_1/16$  y el espesor crítico  $b_c$ . Así, para muros de longitud hasta 2,20 m

deberán colocarse atiesadores en los extremos de 16x16 cm, si se tiene una longitud mayor, las dimensiones de los atiesadores crecen, por ejemplo: para un muro de 3 m se tiene que  $b = 16$  cm y  $b_1 = 27.5$  cm.

Para el caso de muros con espesor de 20 cm, donde no se necesitan atiesadores para una longitud menor o igual a 2.90 m, pues el espesor crítico es menor de 20 cm para el intervalo de longitudes de 0 a 2.90 m. Citando el mismo ejemplo para muros de 3 m de longitud, las dimensiones de los atiesadores serán  $b = 20$  cm y  $b_1 = 22$  cm.

Cuando la ductilidad de desplazamiento se reduce, la *longitud óptima* se incrementa (Figs. 4.5 y 4.6). Se entiende por *longitud óptima*, a la longitud de muro máxima con las dimensiones mínimas de elementos borde.

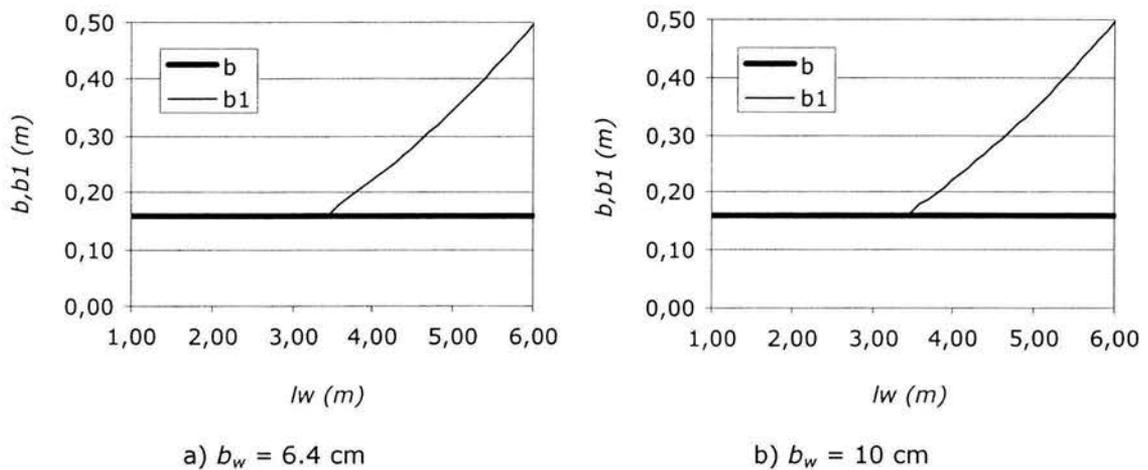


Fig. 4.5. Dimensiones mínimas de atiesadores en función de la longitud, para muros con altura  $h_w = 13$  m,  $h_1 = 2.55$  m con una sola capa de refuerzo y  $\mu_d = 1$ .

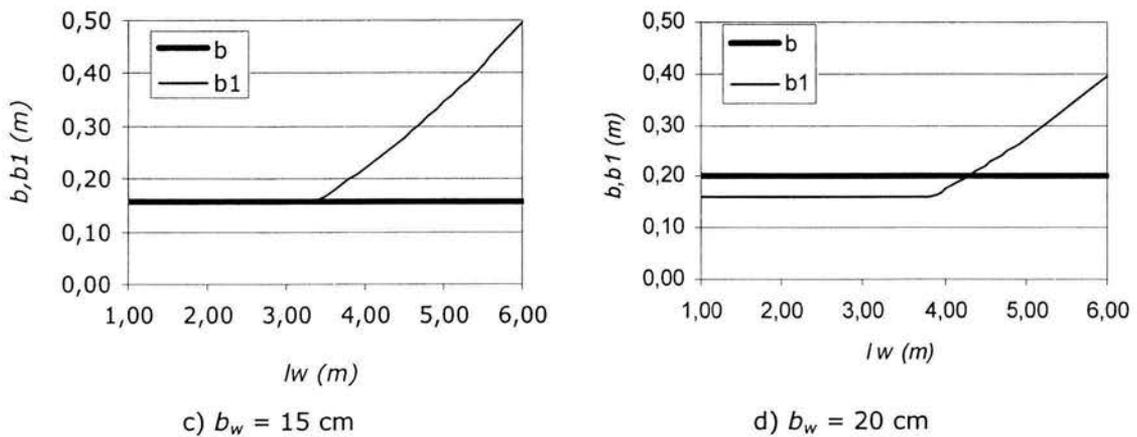


Fig. 4.6. Dimensiones mínimas de atiesadores en función de la longitud, para muros con altura  $h_w = 13$  m,  $h_1 = 2.55$  m con una sola capa de refuerzo y  $\mu_d = 1$ .

## 5. Programa de computadora para calcular la capacidad de carga

A partir de las ecuaciones anteriores, se desarrolló un programa de computadora para el cálculo de la capacidad de carga de estructuras hechas a base de muros de concreto encamisados con PVC. El programa se denomina "PCC" y es capaz de diseñar muros de estructuras de varios niveles, de cualquier altura y espesor de muros. A continuación se presentan los diagramas de flujo correspondientes, así como una descripción y explicación de la entrada de datos y salida de resultados del programa.

### 5.1. Diagramas de flujo

En la Fig. 5.1 se muestra el diagrama de flujo general del programa PCC. En las Figs. 5.2 a 5.4 se presentan los diagramas de flujo para el cálculo de la capacidad de carga del sistema RBS.

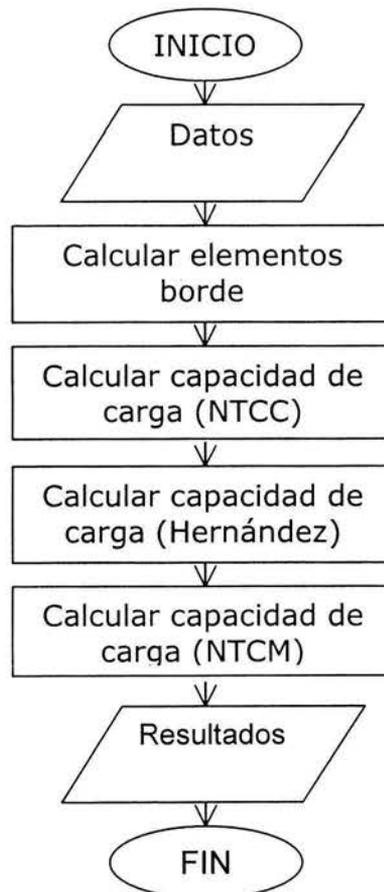


Fig. 5.1. Diagrama de flujo general para el cálculo de la capacidad de carga del sistema RBS

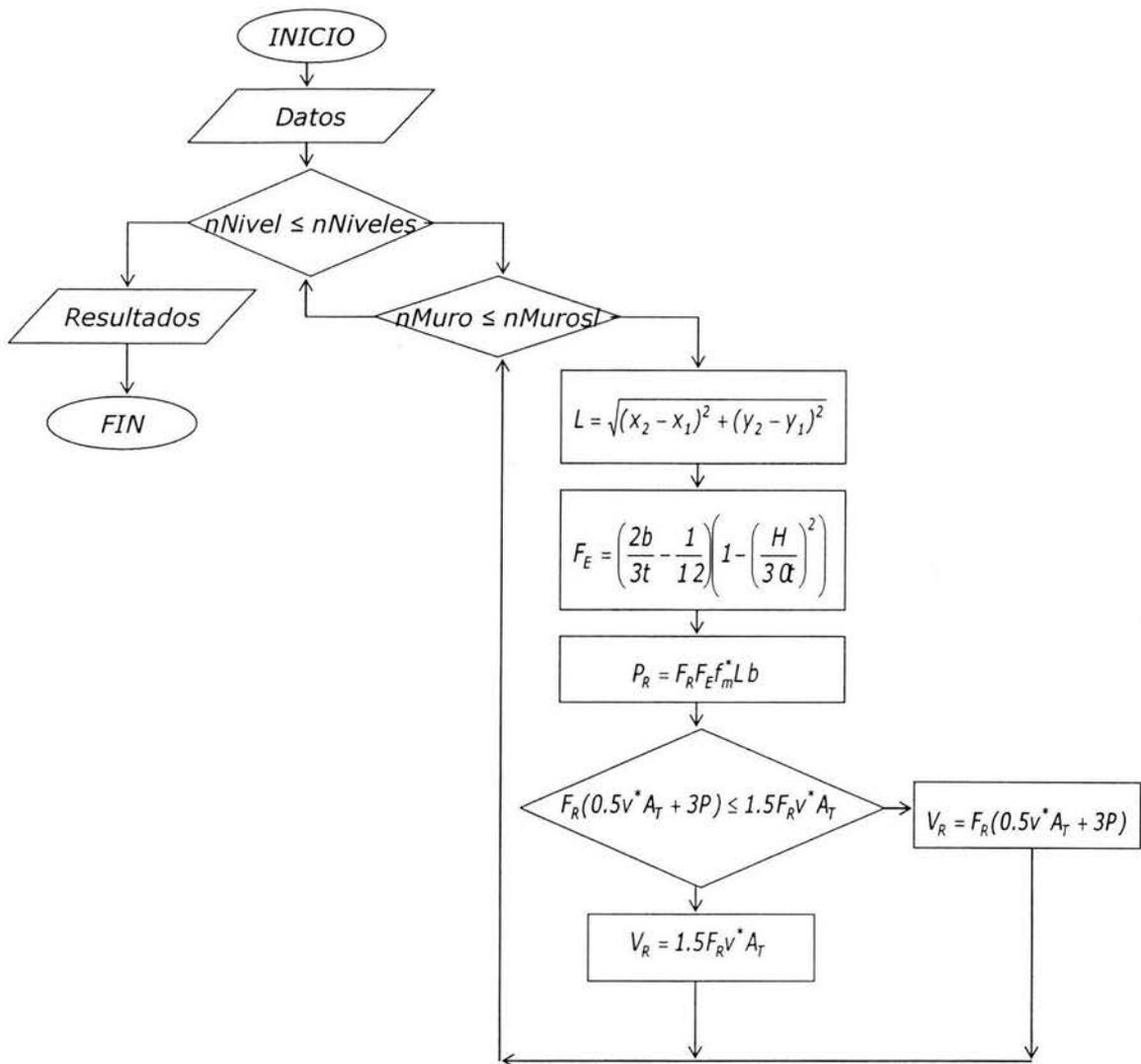


Fig. 5.2. Cálculo de la capacidad de carga por las NTCM del RCDF para el sistema RBS

A continuación se describen algunas de las variables mostradas en la Fig. 5.2:

*nNivel* es un contador que hace referencia al nivel actual en un proceso iterativo

*nNiveles* es el número total de niveles en la estructura

*nMuro* es un contador que hace referencia al muro actual, para el que se calcula la capacidad de carga

*nMuros* es el número total de muros en el nivel actual

$X_1, Y_1$  son las coordenadas iniciales, en planta, del muro actual

$X_2, Y_2$  son las coordenadas finales, en planta, del muro actual

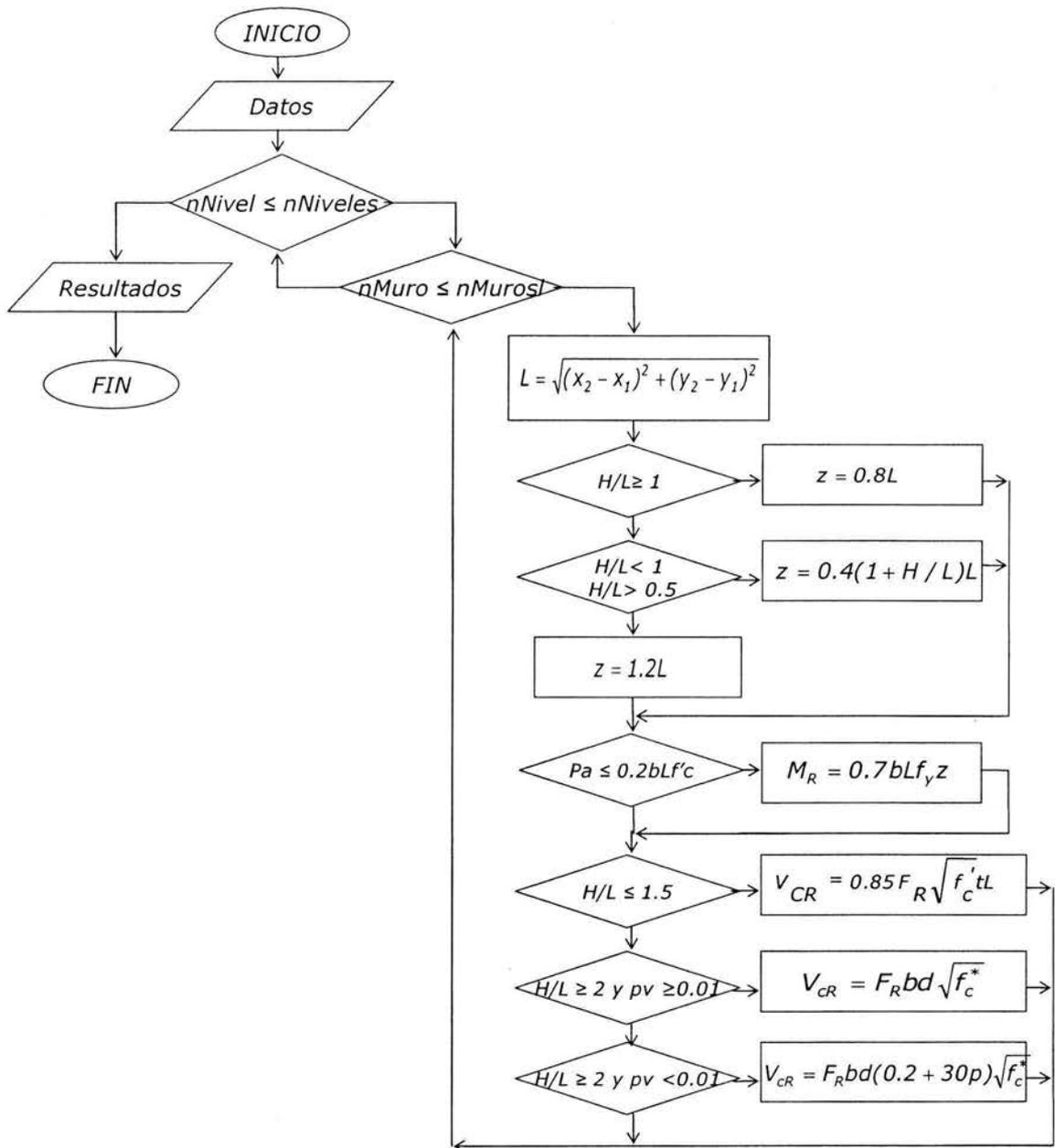


Fig. 5.3. Cálculo de la capacidad de carga por las NTCC del RCDF para el sistema RBS

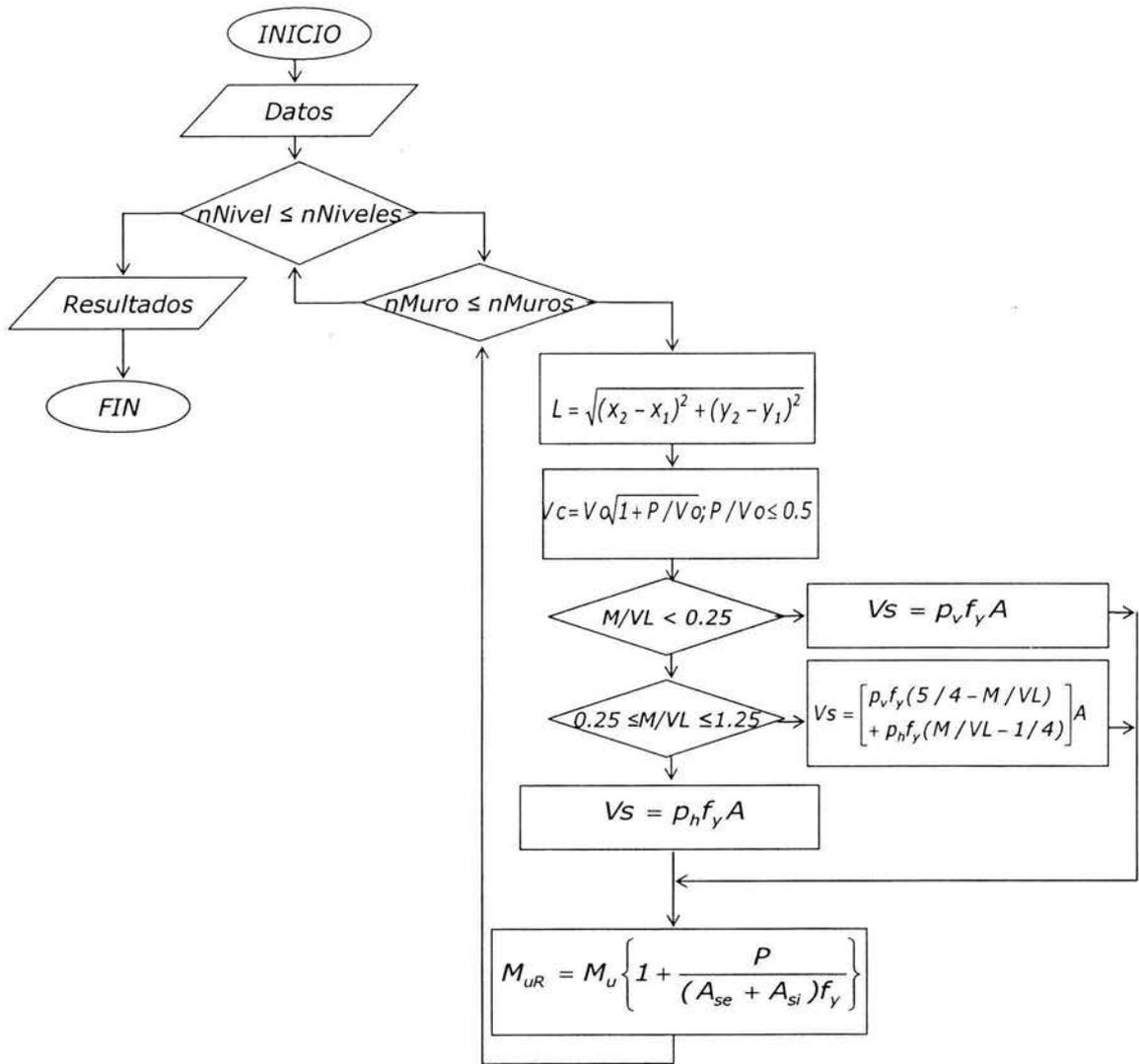


Fig. 5.4. Cálculo de la capacidad de carga con las ecuaciones del Dr. Hernández para el sistema RBS

## 5.2. Descripción del programa y sus funciones

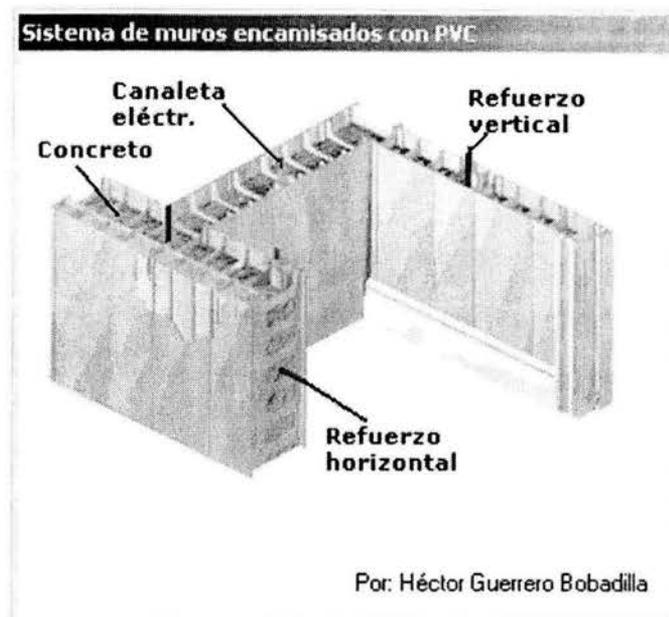


Fig. 5.5. Programa para el cálculo de la capacidad de carga del sistema

### **Datos**

Los datos pueden proporcionarse de dos formas: importando un archivo hecho en el programa Excel (con un formato definido) o introducirlos uno a uno. Por facilidad, se recomienda importarlos de Excel dando clic en el menú *Sistema-importar de Excel* y después seleccionar el archivo que contiene los datos.

Además, se deben definir los *factores de diseño*, tales como: datos extras de la estructura, materiales, factores de resistencia para mampostería, factores para concreto, etc. Esto puede hacerse en la pestaña correspondiente a *Factores de diseño* de programa PCC.

### **Modificar datos**

Si se desea modificar algún dato, se debe seleccionar el piso de la estructura en el que se encuentra el muro a modificar, después se debe dar clic sobre el botón *Modificar* y posteriormente seleccionar el número de muro y parámetro a modificar. Finalmente, se introduce el nuevo valor y se selecciona el botón *Aceptar* (Fig. 5.6).

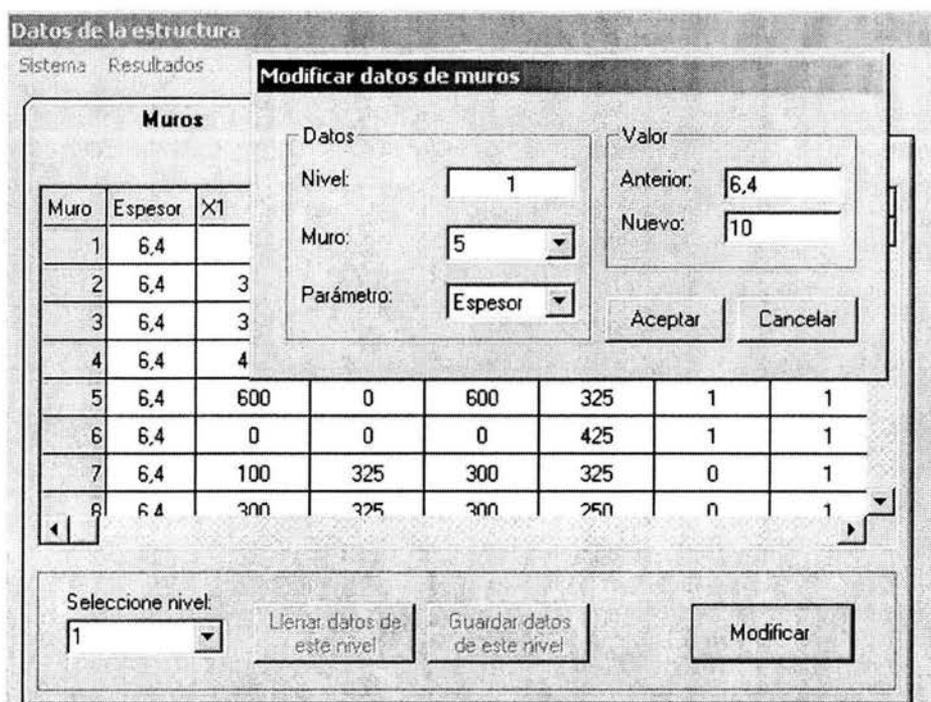


Fig. 5.6. Ventana de modificación de datos de la estructura para el programa PCC

### ***Cálculo de la capacidad de carga de la estructura***

Para calcular la capacidad de carga de la estructura, se ejecuta el comando *correr* del menú *Sistema* del programa PCC.

### ***Resultados del programa***

Cuando no se cumple con los requisitos mínimos del RCDF y sus NTC, el programa envía un mensaje e interrumpe el cálculo de la capacidad de carga. Los cálculos sólo se realizarán cuando los muros de la estructura cumplan con los requisitos mencionados.

En el caso del cálculo de los atiesadores, sólo aparecen mensajes de aclaración, pero el cálculo de estos elementos y de la capacidad de carga se sigue realizando.

Para ver los resultados del cálculo de la capacidad de carga, se debe ejecutar cualquier opción dentro del menú *Resultados* con el que aparecerá un cuadro donde se mostrará la capacidad de carga de la estructura y una imagen donde se presenta la vista en planta del piso de la misma que se desee.

En la Fig. 5.7 se puede ver la ventana del programa que muestra la capacidad de carga vertical calculada con las NTCM del RCDF de una estructura.

En el cuadro inferior se anota el número de nivel actual y con las flechas *anterior* o *siguiente* se pueden ver los demás niveles de la estructura.

Si se selecciona algún muro en la tabla superior, en el dibujo de la planta correspondiente se verá éste de color rojo.

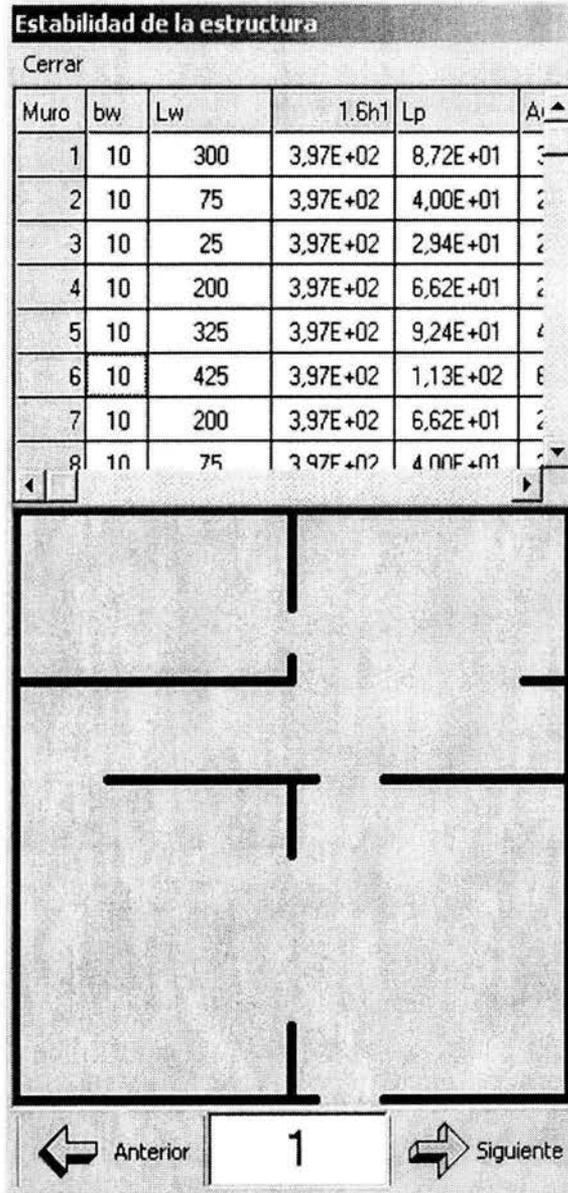


Fig. 5.6. Resultados del programa PCC para el cálculo de la capacidad de carga de una estructura

En el caso del cálculo de la capacidad de carga con las NTCC del RCDF, el programa PCC presenta un menú que permite ver el diagrama de interacción carga axial - momento flexionante en el plano del muro, donde además: se coloca (de color verde) el punto que corresponde a la carga y momento

actuantes, estos valores son proporcionados como datos por el usuario y provienen de un análisis estructural previo de la estructura; la recta correspondiente a la excentricidad mínima (de color azul) que establecen las NTCC del RCDF (Fig. 5.7).

Si se desea, el programa permite exportar los resultados a un libro de Excel, en donde cada hoja electrónica contiene la información para cada piso de la estructura.

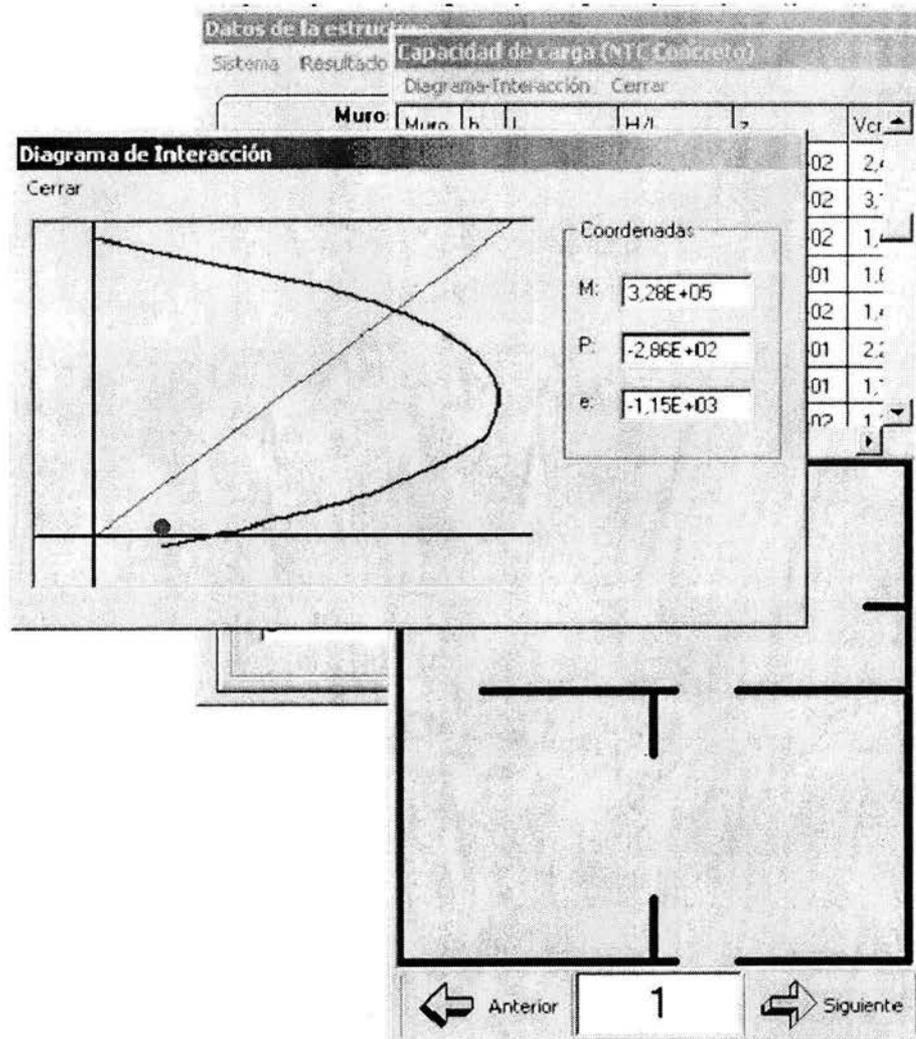


Fig. 5.7. Diagrama de interacción carga axial - momento flexionante en el plano de un muro de concreto calculado con el programa PCC

## 6. Ejemplos de aplicación

Se evalúa la capacidad de carga de 3 estructuras con el sistema RBS a base de muros de concreto encamisados con PVC.

### 6.1. "Vivienda Tolteca" de dos niveles

Estructura de 2 niveles hechos a base de concreto reforzado encamisados con paneles de PVC de 6.4 cm de espesor para las siguientes características proporcionadas por RBS (RBS-2, 2001):

- Estructura Grupo B
- Zona sísmica D
- Suelo tipo III
- $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , agregado máximo de 1 cm y revenimiento de 18 a 22 cm
- $f_y_{PVC} = 404 \text{ kg/cm}^2$
- $f_c_{PVC} = 707 \text{ kg/cm}^2$
- Área de construcción =  $36.77 \text{ m}^2$
- Claros máximos de 3.25 m
- Vientos hasta de 220 km/h
- Capacidad de carga de terreno =  $4 \text{ ton/m}^2$

En las Figs. 6.1 y 6.2, se muestran la planta baja y fachada principal, y también se puede ver el detalle del refuerzo.

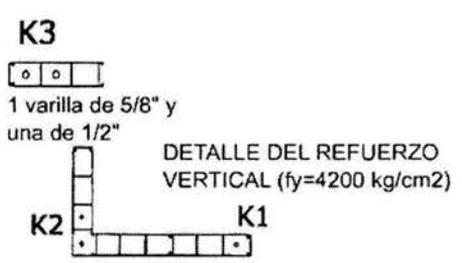
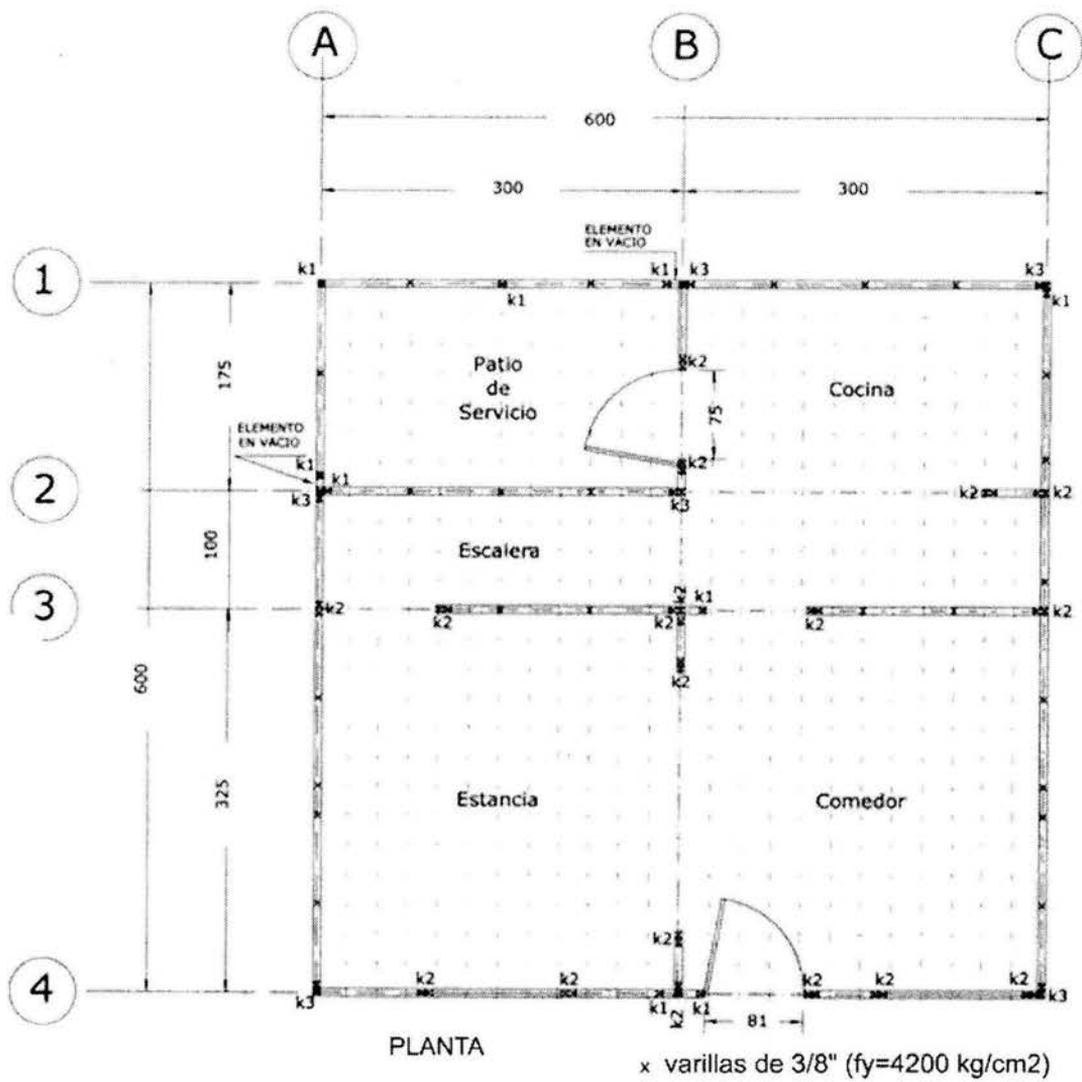


Fig. 6.1. Planta baja y detalle de refuerzo vertical de la "Vivienda Tolteca" de dos niveles

Refuerzo vertical para muros de 6.4 cm  
varillas de 3/8" @ 75 cm ( $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ )

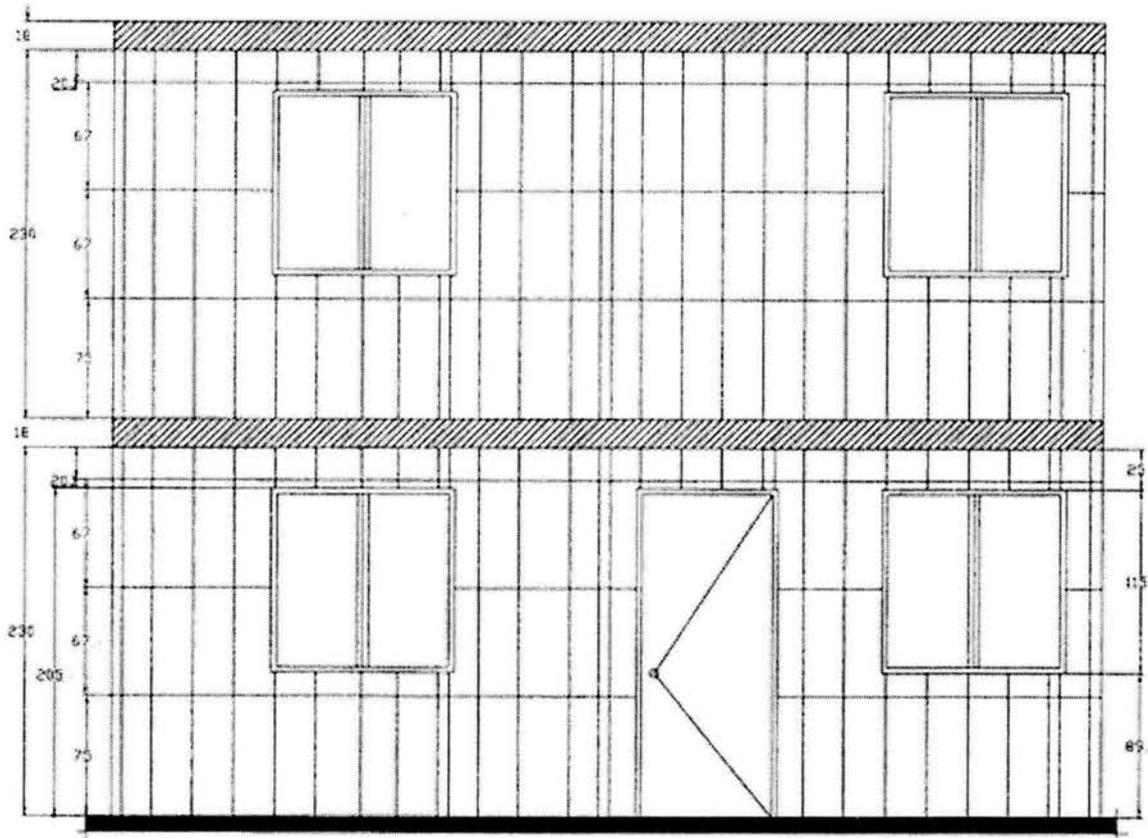


Fig. 6.2. Fachada principal y detalle de refuerzo horizontal de la "Vivienda Tolteca" de dos niveles

### **Capacidad de carga**

#### *Falla por inestabilidad*

En la Fig. 6.3, se muestra que el muro de 4.25 m de longitud (localizado sobre el eje A comprendido entre los ejes 4 y 2, Fig. 6.1), necesita bordes extremos de 15.5x42 cm. Debido a que esta estructura no cuenta con los atiesadores necesarios podría tener problemas de estabilidad.

Para evitar riesgos en la estructura, se sugiere agregar los elementos extremos necesarios para cada muro y, posteriormente, seguir con la revisión de la capacidad de carga de la estructura.

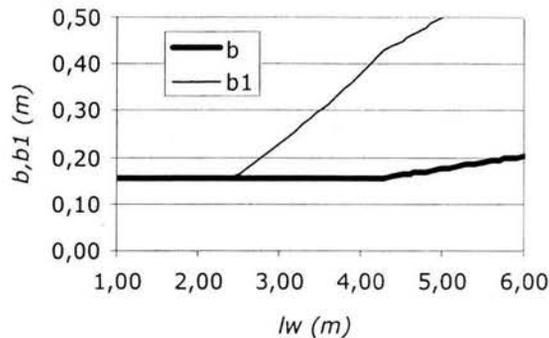


Fig. 6.3. Dimensiones mínimas de atiesadores en función de la longitud, para muros con altura  $h_w = 4.96$  m,  $h_1 = 2.48$  m con una sola capa de refuerzo, espesor de 6.4 cm y  $\mu_d = 2$ .

#### *Evaluación con las NTCM del RCDF*

La separación máxima que permiten las NTCM para el refuerzo vertical es de 6 veces el espesor del muro ( $s = 6 \times 6.4 = 38.4$  cm) que es mucho menor que los 75 cm que se aprecian en las figuras.

Tampoco se cumple con la relación altura/espesor  $< 30$  (NTCM, 1994), pues para los muros de esta estructura  $H/b = 2.48/6.4 = 38.75$ .

Con lo anterior se concluye que la estructura no cumple con los requisitos de espesor y separación del refuerzo vertical que establecen las NTCM, lo que hace inferir que la estructura podría presentar problemas bajo alguna combinación de cargas.

#### *Evaluación con las NTCC del RCDF*

No se cumplen las cuantías de refuerzo horizontal y vertical, ya que lo mínimo que se establece en las NTCC es de 0.0025 en ambas direcciones a una separación no mayor de 35 cm.

El espesor mínimo que permiten las NTCC para construcciones de no más de dos niveles es de 10 cm. Por lo tanto, esta estructura tampoco cumple con este requisito.

Se recomienda incrementar el espesor de los muros a mínimo 10 cm y, además, que se cumpla con los requisitos mínimos de refuerzo en las

direcciones horizontal y vertical.

#### *Evaluación con las ecuaciones del Dr. Hernández*

El Dr. Hernández (Hernández, 1994) sugiere que si no se cumple con las cuantías mínimas de refuerzo, se reduzca el factor de resistencia a 0.4, lo cual reduce la capacidad de carga de una estructura hecha con el sistema RBS prácticamente a la mitad. Sin embargo, con las ecuaciones de diseño que propone, sí se puede calcular la capacidad a cortante y a flexión de los muros de 6.4 cm de espesor. Así mismo, recomienda utilizar concreto de resistencia a la compresión  $f'_c=150 \text{ kg/cm}^2$  cuando un estructura cumpla con el porcentaje mínimo de refuerzo (0.0025) y de  $f'_c=200 \text{ kg/cm}^2$  en caso contrario. Pese a esta recomendación, en la "Vivienda Tolteca" de 2 niveles, a pesar de que no se cumple con el mínimo refuerzo, se utiliza un concreto de  $f'_c=150 \text{ kg/cm}^2$ , cuando debería utilizarse concreto de  $f'_c=200 \text{ kg/cm}^2$ .

## **6.2. "Vivienda Tolteca" de tres niveles**

Se evalúa la capacidad de carga de los muros de una estructura de 3 niveles hechos a base de concreto reforzado encamisados con paneles de PVC de 6.4 cm de espesor para las siguientes características proporcionadas por RBS (RBS-3, 2001):

- Estructura Grupo B
- Zona sísmica B
- Suelo tipo III
- $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , agregado máximo de 1 cm y revenimiento de 18 a 22 cm
- $f_y \text{ PVC} = 404 \text{ kg/cm}^2$
- $f_c \text{ PVC} = 707 \text{ kg/cm}^2$
- Área de construcción =  $36.77 \text{ m}^2$
- Claros máximos de 3.25 m
- Vientos hasta de 220 km/h
- Capacidad de carga de terreno =  $4 \text{ ton/m}^2$

En las Figs. 6.4 y 6.5, se muestran la planta baja y fachada principal, y también se puede ver el detalle del refuerzo.

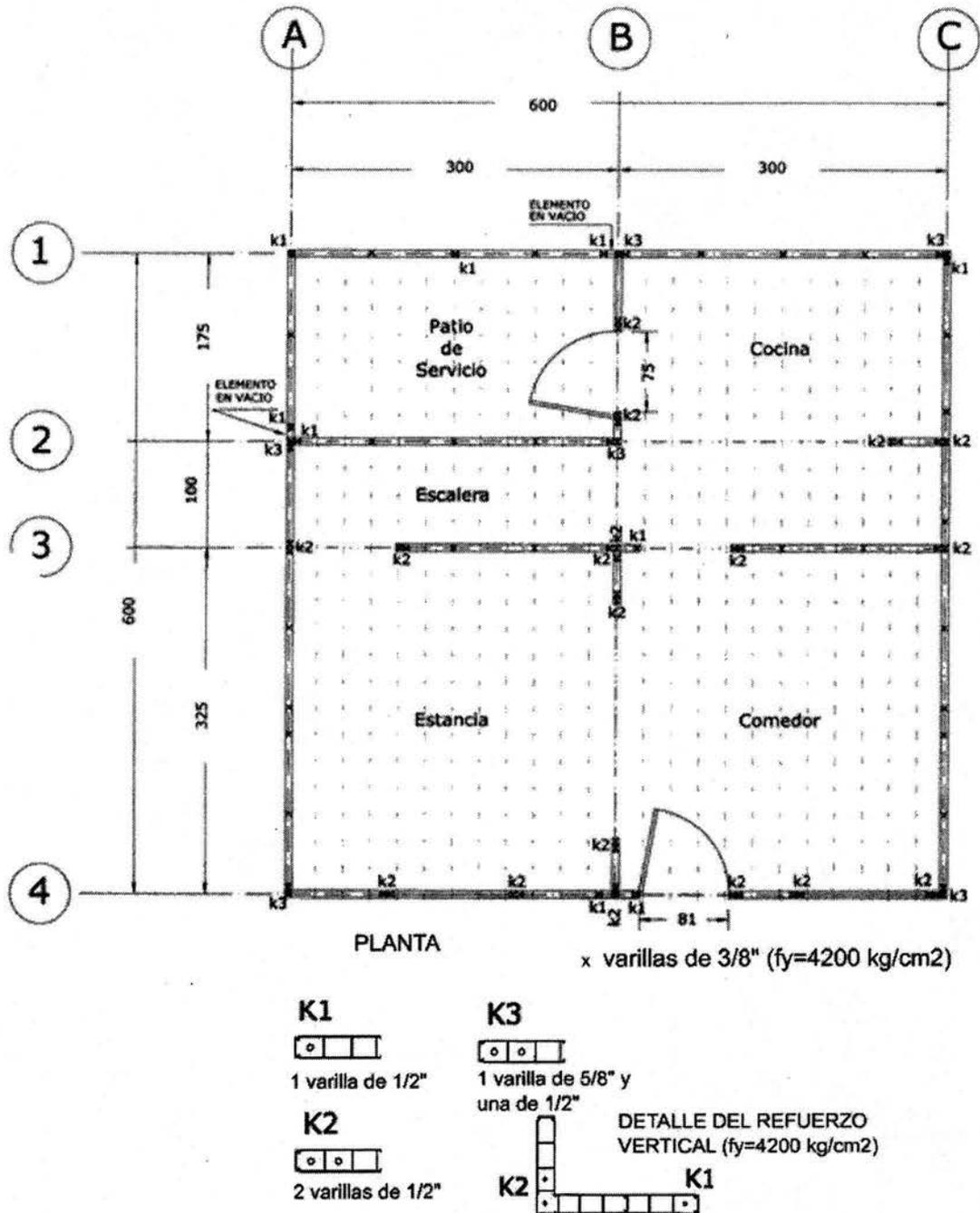


Fig. 6.4. Planta baja y detalle de refuerzo vertical de la "Vivienda Tolteca" de tres niveles

Refuerzo horizontal para estructuras a base de muros  
 RBS de 6.4 cm de espesor  
 Vanillas de 3/8" @ 75 cm ( $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ )

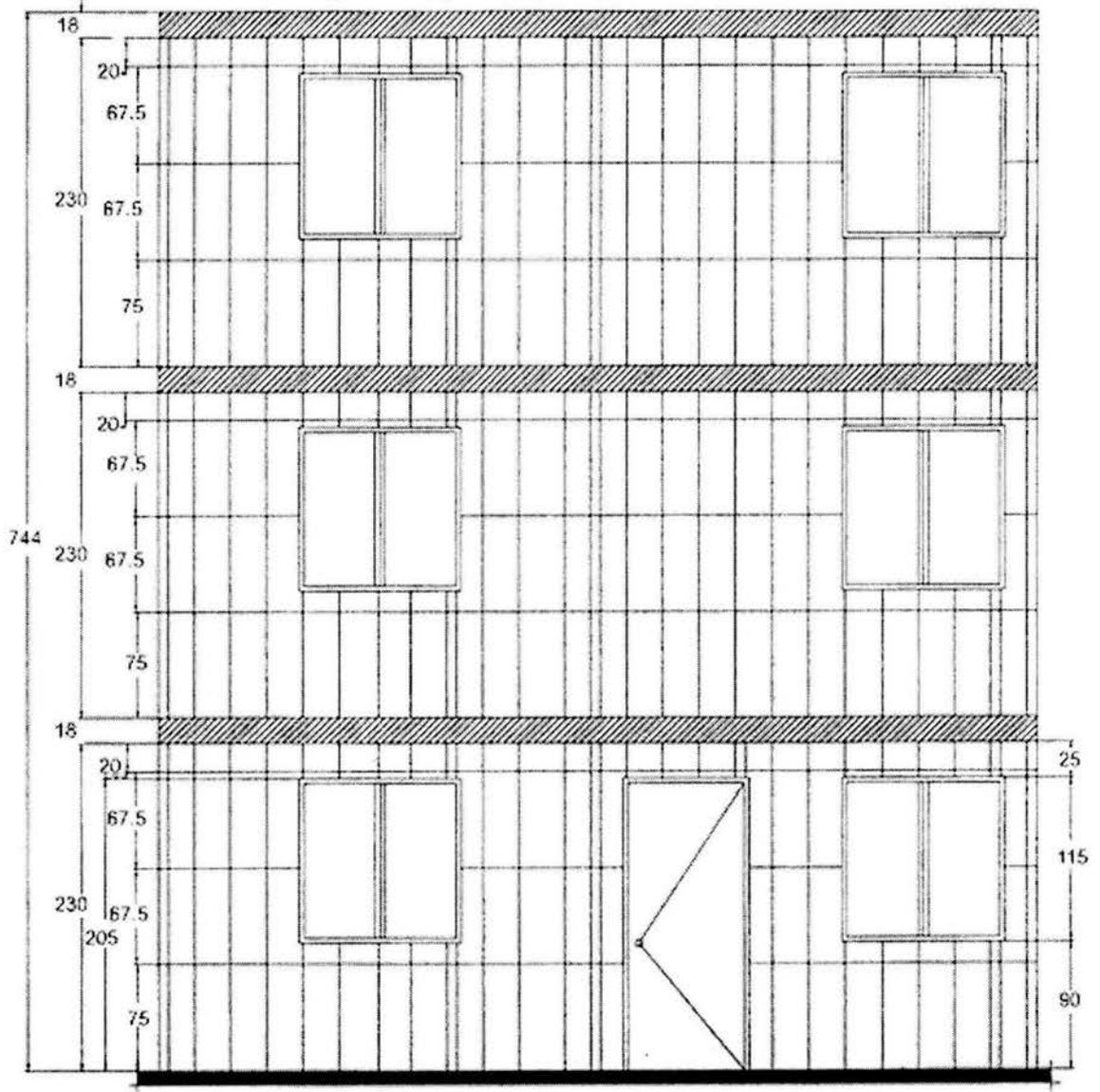


Fig. 6.5. Fachada principal y detalle de refuerzo horizontal de la "Vivienda Tolteca" de tres niveles

### **Capacidad de carga**

#### *Falla por inestabilidad*

En la Fig. 6.6, se muestra que el muro de 4.25 m de longitud (localizado sobre el eje A comprendido entre los ejes 4 y 2, Fig. 6.4), necesita bordes extremos de 17x42.5 cm. Debido a que esta estructura no cuenta con los atiesadores

necesarios, se podría tener problemas de inestabilidad.

Para evitar riesgos en la estructura, se sugiere agregar los elementos extremos necesarios para cada muro y, posteriormente, seguir con la revisión de la capacidad de caga de la estructura.

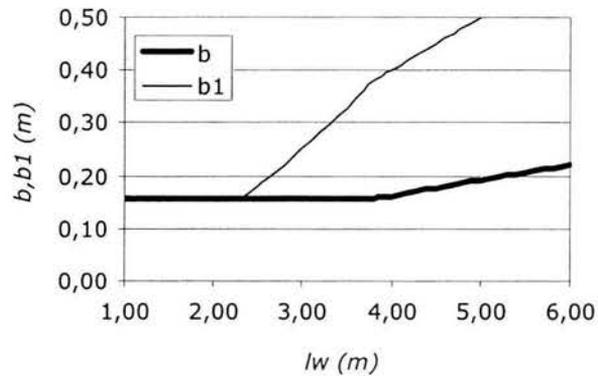


Fig. 6.6. Dimensiones mínimas de atiesadores en función de la longitud, para muros con altura  $h_w = 7.44$  m,  $h_t = 2.48$  m con una sola capa de refuerzo, espesor de 6.4 cm y  $\mu_d = 2$ .

#### *Evaluación con las NTCM del RCDF*

La separación máxima que permiten las NTCM para el refuerzo vertical es de 6 veces el espesor del muro. Para RBS 64mm se tendrá que  $s = 6 \times 6.4 = 38.4$  cm que es mucho menor que los 75 cm que se aprecian en las figuras.

También podemos ver que no se cumple con la relación altura/espesor  $< 30$  (NTCM, 1994), pues para los muros de esta estructura  $H/b = 248/6.4 = 38.75$ .

Con lo anterior se concluye que la estructura no cumple con los requisitos de espesor y separación del refuerzo vertical que establecen las NTCM, lo que nos hace inferir que la estructura podría fallar bajo alguna combinación de cargas.

#### *Evaluación con las NTCC del RCDF*

No se cumplen las cuantías de refuerzo horizontal y vertical, ya que lo mínimo que solicitan las NTCC es de 0.0025 en ambas direcciones a una separación no mayor de 35 cm.

El espesor mínimo que se permite es de 13 cm (NTCC, 1994). Por lo tanto,

esta estructura tampoco cumple con este requisito.

Se recomienda que se cumpla con los requisitos mínimos de refuerzo en las direcciones horizontal y vertical.

#### *Evaluación con las ecuaciones del Dr. Hernández*

La capacidad a cortante y flexión puede ser calculada con las ecuaciones que propone el Dr. Hernández para diseño de estructuras a base de muros hechos con el sistema RBS, sin restricciones para un espesor mínimo. Sin embargo, el concreto utilizado no es el adecuado, pues la resistencia del concreto para estructuras de más de dos niveles debería ser  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  y no  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$  (Hernández, 1994).

### **6.3. Edificio de departamentos de cinco niveles**

Se evalúa la capacidad de carga de los muros de una estructura de 5 niveles hechos a base de concreto reforzado encamisados con paneles de PVC de 10 cm de espesor para las siguientes características (RBS-1, 2001):

- Estructura Grupo B
- Uso de la estructura: departamentos
- Zona sísmica D,  $C = 0.86$  y  $Q = 2$
- Suelo tipo III con capacidad de carga =  $12 \text{ ton/m}^2$
- $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , agregado máximo de 1 cm y revenimiento de 18 a 22 cm
- $v^* = 20.02 \text{ kg/cm}^2$
- $f_y_{\text{PVC}} = 404 \text{ kg/cm}^2$
- $f_c_{\text{PVC}} = 707 \text{ kg/cm}^2$
- Área de construcción =  $15.33 \times 10 \text{ m}^2$
- Altura total = 13 m

En la Fig. 6.7 se muestra la planta tipo de esta estructura con la numeración de muros.

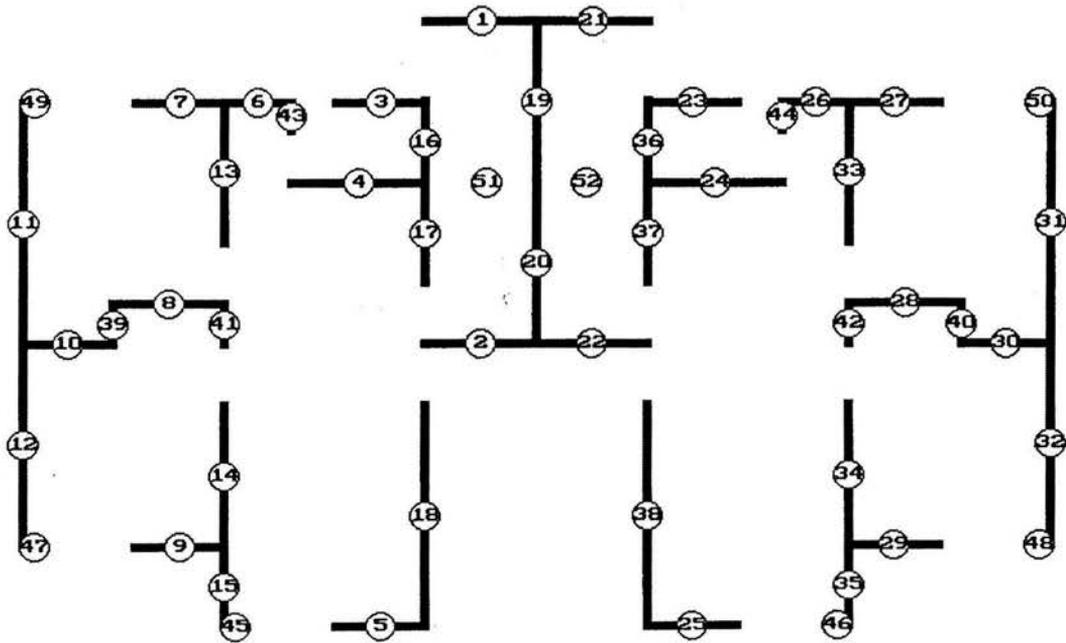


Fig. 6.7. Planta tipo del edificio de departamentos de 5 niveles con numeración de muros

### **Capacidad de carga**

#### *Falla por inestabilidad*

En esta estructura los muros más grandes tienen una longitud de 4.10 m y de acuerdo con la Fig. 4.3.b, se necesitan bordes en sus extremos de 18.7x41 cm.

Debido a que esta estructura no cuenta con los atiesadores necesarios, se concluye que se podría presentar falla por inestabilidad en la estructura.

Para evitar el riesgos en la estructura, se sugiere agregar los elementos extremos necesarios para cada muro y, posteriormente, seguir con la revisión de la capacidad de carga de la estructura.

#### *Evaluación con las NTCM del RCDF*

La separación máxima que permiten las NTCM para el refuerzo vertical es de 6 veces el espesor del muro ( $s = 6 \times 10 = 60 \text{ cm}$ ) que es menor que los 75 cm con los que se cuenta en la estructura.

En este caso sí se cumple con la relación altura/espesor  $< 30$  (NTCM,

1994), pues para los muros de esta estructura  $H/b = 255/10 = 25.5$ .

*Evaluación con las NTCC del RCDF*

No se cumplen las cuantías de refuerzo horizontal y vertical, ya que lo mínimo que establecen las NTCC es de 0.0025 en ambas direcciones a una separación no mayor de 35 cm.

El espesor mínimo que permiten las NTCC es de 13 cm. Por lo tanto, esta estructura tampoco cumple con este requisito.

Se recomienda incrementar el espesor de los muros a 15 cm, pues la empresa RBS sólo genera paneles con espesores de 6.4, 10, 15 y 20 cm. Y también, que se cumpla con los requisitos mínimos de refuerzo en las direcciones horizontal y vertical.

*Evaluación con las ecuaciones del Dr. Hernández*

Al igual que en las estructuras evaluadas anteriormente en este trabajo, la capacidad de cortante y de flexión puede ser calculada con las ecuaciones del Dr. Hernández (Hernández, 1994), sin restricciones para un espesor mínimo.

El concreto utilizado en esta estructura es de  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ , lo cual es adecuado según lo descrito anteriormente.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

- Según RBS, el sistema de muros encamisados con PVC, resulta un sistema rápido, fácil y económico, lo que puede representar una ventaja en la construcción de vivienda en serie.
- De acuerdo con estudios realizados para RBS, los muros poseen buena resistencia a la intemperie y al fuego. Sin embargo, resultaría de gran ayuda aplicar un recubrimiento sobre el PVC para incrementar la resistencia al fuego y así cumplir con lo establecido en el RCDF en lo referente a prevención contra incendios.
- Los muros de 6.4 cm de espesor no cumplen con lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias vigentes del RCDF en lo que se refiere a la relación altura/espesor. Por lo tanto, se recomienda utilizar sólo muros de 10 cm de espesor en estructuras de no más de dos niveles y de 15 y 20 cm en estructuras mayores.
- En las construcciones realizadas por RBS el espesor mínimo de los muros no es el adecuado según lo establecido en las NTC vigentes. Tampoco cuentan con la cuantía de refuerzo mínima (0.0025), por lo que estas estructuras podrían estar en riesgo de falla.
- Los muros no cuentan con los atiesadores mencionados en el capítulo 4 del presente trabajo, lo cual podría generar falla por pandeo en los muros.
- Se recomienda que las estructuras cumplan con los requisitos mínimos planteados por las NTC del RCDF.
- Para cumplir con la cuantía de refuerzo mínima puede colocarse una barra de acero normal en el centro de los conectores, es decir, a cada 33.3 cm.
- Para evitar falla por inestabilidad se pueden colocar atiesadores de 16x16 cm en los extremos de los muros de 10 y 15 cm de espesor
- Para muros largos (con longitud mayor a la *longitud óptima*) se puede agregar un atiesador de 16x16 cm al centro con la finalidad de evitar poner elementos de borde muy grandes en los extremos.
- La nueva propuesta de NTC del RCDF presentan avances importantes para

el cálculo de los elementos extremos de muros y sus especificaciones.

- En las NTC del RCDF vigentes, no se cubre el tema de muros encamisados, por lo que se sugiere analizar estas estructuras como mampostería reforzada interiormente y concreto reforzado, así como lo sugerido por el Dr. Hernández (Hernández, 1994) y por el Instituto de Ingeniería (II-UNAM, 2001) en sus respectivos trabajos.

## Referencias

- Escobar J. A., Murià D., Loera S., Dyer J. (2003); "Revisión del Sistema RBS formado por muros de concreto reforzado encamisados con PVC"; Instituto de Ingeniería – UNAM; Proyecto 3540.
- Hernández O. (1994), "Evaluación estructural del sistema Royal Building System para su aplicación en la República Mexicana"
- <http://www.rbsdirect.com>
- NTCC (1994), "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto", Gaceta Oficial del Distrito Federal del 7 de noviembre de 1994.
- NTCM (1994), "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería", Gaceta Oficial del Distrito Federal del 7 de noviembre de 1994.
- Paulay, T. y Priestley, M.J.N. (1992), "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", John Wiley and Sons Inc., Nueva York.
- Propuesta NTCC (2001), "Propuesta de Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto".
- Propuesta NTCM (2001), "Propuesta de Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería".
- RBS-1 (2001), "Memoria de cálculo estructural. Fraccionamiento Huacapan. Proyecto: INFONAVIT-Edificio de departamentos. Ubicación Blvd. Lic. Alejandro Cervantes Esq. Moisés Guevara, Chilpancingo, Gro.", Departamento Técnico RBS México, Royal Building Systems de México, S.A. de C.V.
- RBS-2 (2001), "Revisión vivienda Tolteca 64 mm, 2 niveles, Grupo B, Zona sísmica D, suelo tipo III. Pruebas de cortante UNAM. Panel 100 mm. Concreto  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$   $f_{y_{pvc}}=404 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f_{c_{pvc}}=707 \text{ kg/cm}^2$  ", Departamento Técnico RBS México, Royal Buiding Systems de México,

S.A. de C.V.

- RBS-3 (2001), "Revisión vivienda Tolteca 64 mm, 3 niveles, Grupo B, Zona sísmica D, suelo tipo III. Pruebas de cortante UNAM. Panel 100 mm. Concreto  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$   $f_{ypvc}=404 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f_{cpvc}=707 \text{ kg/cm}^2$  ", Departamento Técnico RBS México, Royal Buiding Systems de México, S.A. de C.V.
- RCDF (1993), "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", Diario Oficial de la Federación el día 2 de agosto de 1993.