



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CAMPUS ARAGÓN

INSTITUTO DE INGENIERÍA

ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE CONFORME AL
REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL
DISTRITO FEDERAL VIGENTE, DEL MÉTODO
RÁPIDO PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO DE
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

VELAZQUEZ ZARCO OVETH EMMANUEL

TUTOR:

DR. JOSÉ ALBERTO ESCOBAR SÁNCHEZ



MÉXICO 2016

Nezahualcóyotl, Edo. de México



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

JURADO ASIGNADO:

| | |
|-----------------------------|---|
| Presidente: | M. en I. KARLA IVONNE GUTIÉRREZ VÁZQUEZ |
| Secretario: | DR. JOSÉ ALBERTO ESCOBAR SÁNCHEZ |
| Vocal: | ING. RICARDO HERAS CRUZ |
| 1 ^{er} . Suplente: | ING. ARTURO MACÍAS FERREIRA |
| 2 ^{do} . Suplente: | M. en I. MARIO SOSA RODRÍGUEZ |

Lugar donde se realizó la tesis:

INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM.

TUTOR DE TESIS:

José Alberto Escobar Sánchez

DEDICATORIA

A mi madre y padre, que han brindado todo su apoyo, comprensión y amor, que me enseñaron los valores e ideales en los que hoy creo y me han llevado a ser quien hoy soy.

A mis hermanos con los que desde su nacimiento he compartido esta aventura llamada vida y que al igual que mis padres han estado conmigo a cada paso.

A Sandra, en quien he encontrado mi inspiración, mi fuerza y coraje, quien me ha enseñado a seguir siempre hacía delante y con quien he compartido momentos llenos de amor y felicidad.

A toda mi familia que siempre ha creído en mí, me ha demostrado su aprecio y cariño.

A mis amigos, Pamela, Marco, Gerardo, Arturo, Daniel y Ricardo, con quienes compartí grandes momentos durante la carrera y que perdurarán a través de los años, al igual que nuestra amistad.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que desde la preparatoria me ha dado el placer de ser parte de la máxima casa de estudios y de desarrollarme como un individuo capaz de aportar beneficios a su país.

A la Facultad de Estudios Superiores Aragón, por volverse mi segunda casa y darme una formación profesional de calidad, inculcando siempre ejercer la profesión de Ingeniero Civil con ética y responsabilidad.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM que me brindó las herramientas necesarias para el desarrollo de este trabajo y complementar mis conocimientos adquiridos en la licenciatura.

Al Doctor José Alberto Escobar Sánchez, por su amistad, por todos sus conocimientos transmitidos, y por el tiempo y empeño que brindó para dirigir este trabajo.

A todos y cada uno de mis profesores en la FES Aragón, que con tanta dedicación y esfuerzo transmiten sus conocimientos y pasión por la carrera de Ingeniería Civil a sus alumnos.

A mi compañero y amigo, el M. en I. Víctor Cecilio Romoaldo, por sus comentarios y apoyo en la elaboración de este trabajo.

**ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE CONFORME AL REGLAMENTO DE
CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL VIGENTE,
DEL MÉTODO RÁPIDO PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO DE
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA**

RESUMEN

El trabajo presente retoma el Método Rápido para el análisis de estructuras de mampostería, MR-88, propuesto por Rascón y Brito en 1988. El MR-88 está basado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1987 (RCDF-87) y sus Normas Técnicas Complementarias (NTC-87) correspondientes. Ya que el RCDF-87 ha sufrido modificaciones, es necesario actualizar el MR-88 conforme al RCDF vigente (RCDF-04). El principal objetivo de este método consiste en contar con un método de análisis de estructuras de mampostería que no sea tan laborioso como los incluidos en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo-2004 (NTCDS-04). Si bien, con este método no se pretende sustituir el Método Simplificado ni el Método Estático, se pretende que sea un método de diseño preliminar para este tipo de estructuras.

El MR-04 tiene sus fundamentos en el Método Simplificado de análisis de las NTCDS-04. Se parte del principio de que la resistencia de las construcciones debe ser mayor que las fuerzas que actúan en ellas. Al emplear el MR-04 se debe verificar que las restricciones que tiene el Método Simplificado en las NTCDS-04 se cumplan.

En las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM-04) del RCDF-04 se establecen los aspectos que se deben considerar para el diseño de estructuras de mampostería que se aplican en el MR.

Los métodos de análisis estructural disminuyen su exactitud yendo de lo particular a lo general. El método que es más detallado es también el más exacto, hablando así de los métodos de análisis dinámico que se enfocan en cada elemento resistente de la estructura. El Método Estático puede reducirse al análisis por marcos planos. El Método Simplificado revisa por pisos las fuerzas actuantes y las resistentes. Así, yendo a lo más general, el MR analiza la estructura completa. Se revisa sólo el primer piso que es sobre el que actúan todas las fuerzas de la estructura y en la dirección en que la longitud en planta del edificio sea menor ya que se considera la más crítica.

Para revisar la efectividad del método se estudiaron diferentes modelos que se analizan por los Métodos de Análisis Estático, Simplificado y Rápido. Se obtiene la resistencia de los muros de los modelos y se calculan niveles de seguridad a partir de la relación con los Métodos Estático y Simplificado.

CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | v |
| CONTENIDO | vi |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPITULO 1 FUERZAS SÍSMICAS Y SUS EFECTOS EN LAS ESTRUCTURAS | 3 |
| 1.1 MECANISMOS DE LOS SISMOS | 3 |
| 1.2 PRINCIPALES EFECTOS DE LOS SISMOS EN LAS ESTRUCTURAS | 4 |
| 1.3 TORSIÓN DEBIDA AL SISMO | 4 |
| CAPÍTULO 2 MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO EN EL RCDF..... | 7 |
| 2.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS DINÁMICO | 7 |
| 2.1.1 Análisis Modal Espectral | 7 |
| 2.1.2 Análisis Paso a Paso..... | 7 |
| 2.2 MÉTODO DE ANÁLISIS ESTÁTICO | 8 |
| 2.3 MÉTODO SIMPLIFICADO DE ANÁLISIS..... | 8 |
| CAPITULO 3 ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA Y SU DISEÑO CONFORME AL RCDF | 9 |
| 3.1 MAMPOSTERÍA | 9 |
| 3.2 ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA..... | 10 |
| 3.3 DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA..... | 10 |
| 3.3.1 Determinación de las fuerzas laterales..... | 11 |
| 3.3.1.1 Análisis de cargas laterales empleando el Método Simplificado..... | 11 |
| 3.3.2 Diseño de estructuras de mampostería confinada | 12 |
| CAPÍTULO 4 MÉTODO RÁPIDO PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA | 13 |
| 4.1 EL MÉTODO RÁPIDO DE ANÁLISIS DE 1988..... | 13 |
| 4.2 ACTUALIZACIÓN DEL MÉTODO RÁPIDO DE ANÁLISIS | 16 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 5 MODELOS ESTUDIADOS..... | 19 |
| 5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS | 19 |
| 5.2 RESULTADOS | 21 |
| CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 25 |
| 6.1 CONCLUSIONES | 25 |
| 6.2 RECOMENDACIONES PARA EL MÉTODO DE ANÁLISIS RÁPIDO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA..... | 26 |
| REFERENCIAS | 27 |

INTRODUCCIÓN

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente (RCDF-04) y las Normas Técnicas Complementarias correspondientes (NTC-04), rigen el diseño y construcción de las estructuras en el Distrito Federal. Estas normas tienen como principal objetivo conservar la integridad de los ciudadanos así como de las estructura. Teóricamente, toda ejecución de obra, ya sea vivienda o infraestructura, está regulada por este reglamento. Por desgracia, en México frecuentemente se recurre a la autoconstrucción de casas habitación ya que el propietario trata de prescindir de los servicios de un especialista de la construcción. Eventualmente se lleva a cabo un diseño estructural sin considerar los efectos sísmicos. Efectos que en México son muy desfavorables, particularmente en la zona Centro y Sur del país.

Tomando en cuenta lo anterior, se retomó el llamado “Método Rápido para el análisis sísmico en estructuras de mampostería” desarrollado por Rascón y Brito en 1988 (MR-88). Ya que el MR-88 está basado en el Método Simplificado de análisis del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1987 (RCDF- 87). En el presente trabajo se actualizó el MR-88 aplicando el RCDF-04. Al realizarse las correspondientes actualizaciones se modificaron algunos aspectos del método, proponiendo así el “MR para el Análisis Sísmico de Estructuras de Mampostería actualizado (MR-04)”. Con el objetivo de probar el alcance del MR-04 y establecer sus limitaciones y algunas recomendaciones, se analizaron tres modelos de estructuras en los que se aplicaron los métodos de análisis Estático, Simplificado y Rápido para dos zonas sísmicas.

CAPITULO 1

FUERZAS SÍSMICAS Y SUS EFECTOS EN LAS ESTRUCTURAS

1.1 MECANISMOS DE LOS SISMOS

Los sismos, terremotos o también conocidos como temblores de tierra, son vibraciones de la corteza terrestre, generadas por distintos fenómenos. Algunos de estos fenómenos pueden ser la actividad volcánica, la caída de techos de cavernas subterráneas y hasta por explosiones. Los sismos más severos y los más importantes, desde el punto de vista de la ingeniería, son los provocados por el movimiento y choque de las placas tectónicas.

Este movimiento es producto de las grandes presiones que se generan en la corteza debido a los flujos de magma provenientes del interior de la Tierra. Las presiones vencen la fricción generada entre las placas tectónicas con lo que se producen caídas de esfuerzo y liberación de enormes cantidades de energía en forma de ondas vibratorias que se desplazan a través de la corteza, figura 1.1.

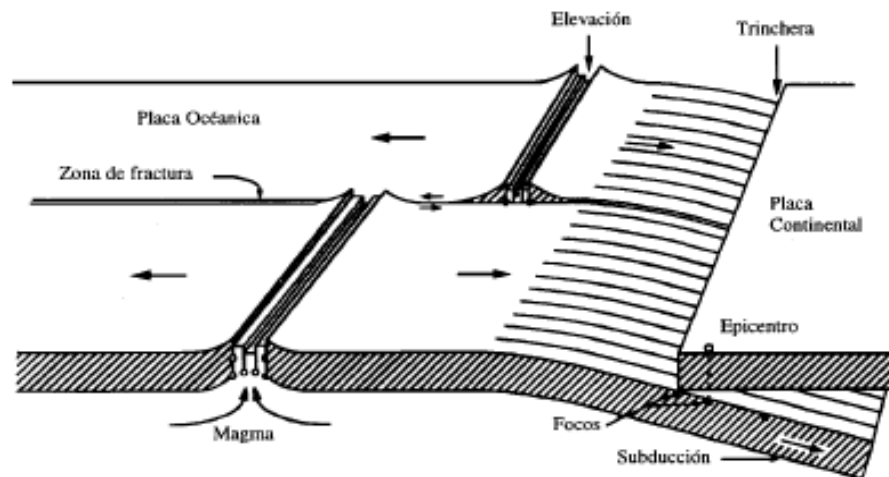


Figura 1.1 Movimiento de placas y generación de sismos

Esta vibración de la corteza terrestre es la que pone en peligro la integridad de las edificaciones al ser solicitadas por el movimiento de su base. Los movimientos vibratorios de las masas de los edificios generan fuerzas de inercia que inducen esfuerzos importantes. Los elementos de la estructura pueden sufrir daño e inclusive se puede llegar a la falla por sismo (Bazán y Meli, 2002).

1.2 PRINCIPALES EFECTOS DE LOS SISMOS EN LAS ESTRUCTURAS

Las causas más frecuentes de colapso en edificios es la resistencia insuficiente a carga lateral de los elementos verticales de soporte de la estructura como son los muros y columnas. El flujo de las fuerzas de inercia que va de la parte superior de la estructura hacia la cimentación, genera fuerzas cortantes crecientes hacia los pisos inferiores que deben ser resistidas por los elementos verticales. Un requisito básico para una resistencia adecuada a los efectos de los sismo es la existencia de un área transversal de muros o columnas para soportar dichas cortantes.

Para un comportamiento sísmico correcto no sólo es importante la resistencia, también es la capacidad de deformación o mejor conocida como ductilidad. La ductilidad es una propiedad que puede salvar un edificio del colapso. El detallado de las secciones para evitar una falla frágil y proporcionar capacidad de deformación es un aspecto básico del diseño. El detallado del refuerzo longitudinal y transversal es fundamental para el comportamiento correcto de las estructuras ya que de éste depende en gran parte la ductilidad de las estructuras.

Las conexiones entre los elementos estructurales que tienen la función de resistir las fuerzas sísmicas son zonas críticas para la estabilidad de la construcción. En ellas se presentan con frecuencia concentraciones elevadas y condiciones complejas de esfuerzos, que han dado lugar a numerosos casos de falla. Particularmente críticas son las conexiones entre muros y losas en estructuras a base de paneles, y entre vigas y columnas en estructuras de marcos.

Para la estabilidad del edificio la liga de la estructura con su cimentación y la de ésta en el suelo son aspectos fundamentales. Los casos de volteo de un edificio por efectos sísmicos son escasos, pero pueden ocurrir en estructuras esbeltas.

La configuración inadecuada del sistema estructural puede producir una respuesta desfavorable de la estructura o un flujo de fuerzas que puede generar concentraciones de esfuerzos y posibles fallas locales. Por otra parte, la asimetría en la distribución en planta de los elementos resistentes puede causar una vibración torsional de la estructura y generar fuerzas elevadas en algunos elementos. Son numerosos los casos de fallas en los que, al menos parcialmente, se pueden atribuir a la torsión, este fenómeno se explica con mayor detalle más adelante en éste trabajo.

Una situación fuertemente ignorada, pero que ha dado lugar a daños severos en edificios construidos sobre los suelos blandos del valle de México, es el golpeo entre edificios adyacentes que vibran de manera diferente y entre los que no se ha dejado una separación suficiente entre ellos.

La interacción de elementos que no fueron diseñados como elementos estructurales (tal es el caso de muros divisorios de mampostería), y las columnas de marcos de concreto, producen concentraciones de fuerzas cortantes en los extremos libres de las columnas (columnas cortas o cautivas) las cuales tienden a fallar por cortante en forma frágil (Bazán y Meli, 2002).

1.3 TORSIÓN DEBIDA AL SISMO

Desde el punto de vista de equilibrio, la fuerza actuante por sismo en cada piso está situada en el centro de masa. La fuerza resistente está localizada en el centro de torsión, es decir, donde se ubica la resultante de las fuerzas laterales que resiste cada uno de los elementos. Si entre esos dos puntos (centro de masa y centro de torsión) existe una excentricidad, la acción en cada entrepiso estará constituida por una fuerza cortante más un momento torsionante cuyo efecto debe tomarse en cuenta en el diseño.

En pocas palabras, se le conoce como efecto torsionante al momento que se produce debido a la excentricidad estática, e_s . Dicha excentricidad es la diferencia entre la posición del centro de masa, CM, y la del centro de torsión, CT, para la e_s de piso o entre la posición del centro de cortantes, CC, y la del centro de rigideces, CR, para la e_s de entrepiso, figura 1.2.

Cuando no se lleve a cabo un análisis dinámico de la estructura que incluya los efectos de torsión a través de la consideración de un grado de libertad de rotación alrededor de un eje vertical en cada uno de los pisos, el efecto de la torsión se suele considerar de manera estática superponiendo sus resultados a los de un análisis estático, de los efectos de translación calculados de manera independiente (Bazán y Meli, 2002).

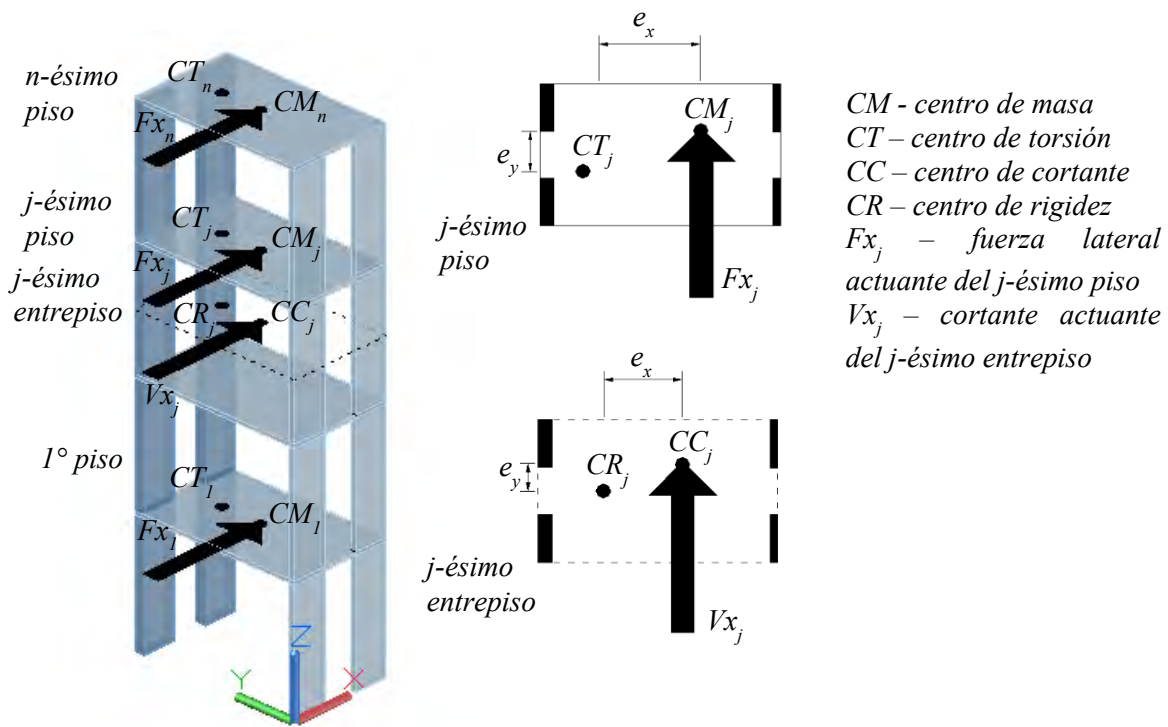


Figura 1.2 Coordenadas y parámetros, para el análisis sísmico de estructuras (Cecilio, 2011).

CAPÍTULO 2

MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO EN EL RCDF

De acuerdo con la filosofía de diseño sísmico actual, las estructuras al ser sometidas a sismos intensos deberán permitir deformaciones inelásticas importantes sin perder su capacidad de carga. Cuando se habla de edificios asimétricos estas deformaciones son, en su mayoría, debidas a la traslación y rotación de sus entrepisos. Partiendo de este punto de vista, el comportamiento de dichas estructuras además de no exceder los límites establecidos para desplazamientos laterales, tiene que controlar los desplazamientos debidos a la torsión dentro de los límites permisibles de desplazamiento para cada entrepiso.

En la actualidad los reglamentos de construcción permiten analizar las estructuras de edificios considerando sólo el desplazamiento por traslación de los entrepisos. La torsión sísmica se adiciona distribuyendo la fuerza cortante al considerar un momento de torsión en cada entrepiso, entre los elementos resistentes de los mismos, y del producto de la fuerza cortante sísmica en ambas direcciones del análisis y de dos valores de excentricidad de diseño, (Escobar, Mendoza y Gómez, 2004).

Según las características de la estructura que se trate, podrá analizarse por sismo mediante uno de los métodos dinámicos, el Método Estático o el Método Simplificado que se escriben en las NTCDS-04.

2.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS DINÁMICO

Como métodos de análisis dinámico, el RCDF-04 acepta al análisis modal espectral y el análisis paso a paso de respuestas ante sismos específicos. La principal ventaja de estos métodos es que se pueden analizar tanto estructuras regulares como irregulares (NTCDS -04).

2.1.1 Análisis Modal Espectral

El concepto fundamental consiste en que, en un instante determinado, los desplazamientos de las masas de un sistema de varios grados de libertad pueden ser expresados como la suma de los desplazamientos debidos a la participación de cada uno de los modos naturales, puesto que los mismos constituyen un conjunto completo (Bazán y Meli, 2002).

2.1.2 Análisis Paso a Paso

En este método se pueden utilizar acelerogramas de temblores reales o de movimientos simulados, o combinaciones de éstos. Será aplicable siempre que se usen no menos de cuatro movimientos representativos, independientes entre sí. Sus intensidades deben ser compatibles con los demás criterios que consignan las NTCDS-04. Se tomarán en cuenta el comportamiento no lineal de la estructura y las incertidumbres, que haya en cuanto a los parámetros que rigen dicho comportamiento.

2.2 MÉTODO DE ANÁLISIS ESTÁTICO

El RCDF-04, a través de sus NTCDS-04, permite realizar un análisis estático de las estructuras de edificios. Considera que las fuerzas sísmicas actúan en el centro de masas de cada uno de sus pisos, y que los momentos de torsión correspondientes se distribuyen entre los elementos resistentes. Pero las solicitaciones que se obtienen de este análisis estático son diferentes a las obtenidas del método dinámico tridimensional. Este considera el acoplamiento entre vibraciones torsionales y traslacionales, lo que principalmente puede producir una amplificación dinámica de los momentos de torsión. En el estudio de estructuras con comportamiento elástico es muy claro este efecto, en especial cuando la relación entre frecuencias desacopladas (torsión/traslación) es cercana a la unidad. Para tomar en cuenta este efecto, se utiliza un factor de amplificación de la excentricidad estática que incrementa las fuerzas de diseño mediante un momento de diseño cuyo valor es mayor que el calculado estáticamente. (Escobar et al., 2004).

2.3 MÉTODO SIMPLIFICADO DE ANÁLISIS

El Método Simplificado de análisis sísmico descrito en las NTCDS-04, se deriva del Método Estático y se limita a estructuras que funcionan a base de muros de carga, de altura menor a 13 m, planta regular, con distribución de muros sensiblemente simétrica, y en los pisos tienen suficiente rigidez para transmitir las fuerzas sísmicas a los muros paralelos a la dirección del movimiento del terreno. Los muros de carga pueden ser de mampostería, concreto o de madera. La aplicación más común de este método es en casas habitación, en las que los muros suelen ser de bloques de concreto y mampostería y los sistemas de piso y techo, losas de concreto coladas en sitio o parcialmente prefabricadas (Bazán y Meli, 2002).

En resumen, este método hace caso omiso de los desplazamientos horizontales, torsiones y momentos de volteo. La revisión se basa en verificar únicamente que en cada entrepiso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga, proyectados en la dirección en que se considera la aceleración, sea cuando menos igual a la fuerza cortante total que obra en dicho entrepiso (NTCDS-04).

CAPITULO 3

ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA Y SU DISEÑO CONFORME AL RCDF

La gama de materiales que pueden llegar a emplearse con fines estructurales es muy amplia. Los materiales pétreos naturales y artificiales fueron, al igual que la madera, los primeros utilizados por el hombre en sus construcciones. Se caracterizan por tener resistencia y módulo de elasticidad en compresión relativamente altos y por una baja resistencia en tensión. La falla es de carácter frágil tanto en compresión como a tensión (Meli, 1985).

3.1 MAMPOSTERÍA

El material formado por un conjunto de piedras naturales o artificiales unidas o sobrepuestas se denomina mampostería. Las zonas de contacto entre las piezas o piedras individuales constituyen planos de debilidad para la transmisión de esfuerzos de tensión y de cortante. La unión entre las piedras individuales se realiza normalmente por medio de juntas de morteros. La mampostería de piedras artificiales está formada por piezas de tamaño pequeño comparadas con las dimensiones del elemento constructivo que con ellas se forma. Las piezas pueden tener una gran variedad de formas y de materiales constitutivos; entre los más comunes se encuentran el tabique macizo o hueco de barro fabricado de manera artesanal o industrializada, el bloque hueco de concreto y el tabique macizo del mismo material, así como el tabique sílico-calcáreo (Meli, 1985).

Las propiedades mecánicas de la mampostería varían en un intervalo muy grande que depende de las propiedades de las piezas y del mortero que las une, así como del proceso constructivo. Por lo que estas propiedades deben ser determinadas mediante ensayos con los materiales y con las técnicas constructivas de cada caso.

En términos generales la resistencia en tensión es muy baja, la falla es frágil y la curva esfuerzo-deformación en compresión es prácticamente lineal hasta la falla.

La resistencia en compresión del conjunto piezas-mortero pueden variar de 20 a 30 kg/cm² para piezas débiles de barro o de cemento fabricadas artesanalmente, hasta 200 kg/cm², o más, para piezas de alta calidad producidas industrialmente. El módulo de elasticidad (E), para cargas de corta duración varía entre 600 y 1000 veces la resistencia en compresión. El módulo de rigidez al cortante (G) es cercano al 40 por ciento de E.

La resistencia a cortante (tensión diagonal) es una característica muy importante en el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería. Este es muy variable, principalmente por las propiedades del mortero en las juntas. En las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM-04), se incluyeron tablas con valores representativos de las propiedades mecánicas de la mampostería.

El comportamiento ante cargas alternadas de elementos de mampostería no reforzada es esencialmente frágil, especialmente cuando los muros son formados por piezas huecas cuyas paredes se destruyen progresivamente. Para evitar tal comportamiento se emplea acero de refuerzo en el interior de los muros o en elementos de confinamiento (Bazán y Meli, 2004).

3.2 ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Desde el punto de vista de su comportamiento ante cargas sísmicas, la mampostería tiene una mala reputación en varios países. Esto es debido, principalmente, a la falla de estructuras con material de mala calidad y sin los elementos adecuados de unión entre los muros y de éstos con los pisos y techos. Entre las principales fallas se encuentra el volteo de muros en dirección normal a su plano y a cortante de muros no reforzados o con grandes huecos.

En construcciones modernas, y con los elementos de liga y refuerzo adecuados, se ha obtenido un excelente desempeño de la mampostería dentro de ciertos límites de altura de la construcción y de cantidad y distribución de muros.

Cuando la fuerza cortante sobre los muros de mampostería excede su resistencia se forman grietas diagonales en ellos. Para evitar esto los muros de mampostería pueden colocarse como paredes de relleno en crujeas de marcos de concreto o acero formando muros diafragma. Los muros diafragma tienen un comportamiento dúctil y la capacidad para disipar la energía, siempre que la resistencia en cortante de los extremos de las columnas sea suficiente para contener la grieta diagonal en los muros. Aún en este caso si se utilizan piezas de mampostería huecas con paredes delgadas, tendrá un comportamiento frágil y una degradación.

En México y algunos países de Latinoamérica la modalidad más común de muros de mampostería es la llamada mampostería confinada. En esta se colocan en los extremos de los muros y en las intersecciones, elementos delgados de concreto reforzado (dadas y castillos), que tienen la función de ligar los muros y de evitar el colapso de los mismos cuando éstos se agrietan diagonalmente. El comportamiento ante ciclos de carga repetida muestra una disipación de energía limitada, pero dista de ser un comportamiento frágil. Esto se ve en la figura 3.1 en donde en el eje de las ordenadas se tienen las cargas (fuerza cortante) y en el eje de las abscisas su deformación.

También existe otra modalidad de refuerzo en los muros de mampostería para zonas sísmicas, en la cual se coloca refuerzo en el interior de los muros, en las juntas y en los huecos de las piezas, se logra un comportamiento similar al de los muros de concreto reforzado. Para lo que se deben rellenar todos los huecos de las piezas con mezcla de concreto de alto revenimiento y que el refuerzo esté perfectamente anclado y que sea continuo (Bazán y Meli, 2004).

3.3 DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Las estructuras con muros de carga de mampostería basan su seguridad sísmica en la resistencia a carga lateral proporcionada por una gran área transversal de muros en cada dirección. No puede contarse en este caso con grandes deformaciones inelásticas de la estructura para disipar la energía introducida por el sismo. Por tanto, los factores de comportamiento sísmico que permiten reducir las fuerzas elásticas son bastante reducidos (Bazán y Meli, 2004).

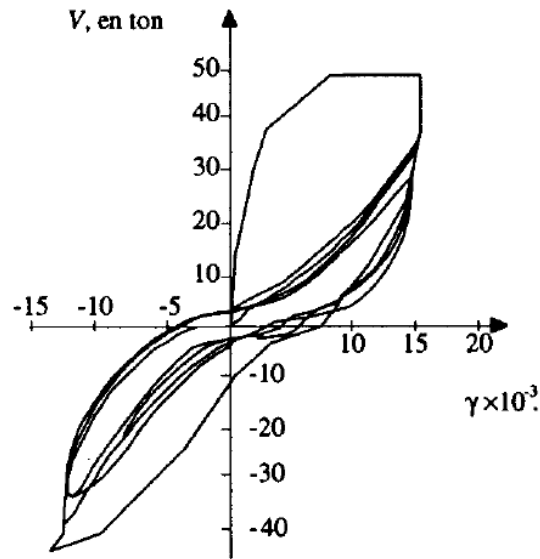


Figura 3.1. Ciclos de histéresis para muros de mampostería confinada (Bazán y Meli, 2002)

3.3.1 Determinación de las fuerzas laterales

La determinación de las fuerzas y momentos internos de los muros se hará, en general, por medio de un análisis elástico de primer orden. Se tomarán en cuenta las propiedades elásticas de los muros. Se considera que la mampostería no resiste tensiones en dirección normal a las juntas y se deben emplear, por lo tanto, las propiedades de las secciones agrietadas y transformadas cuando aparezcan estas tensiones.

La resistencia a cargas laterales será proporcionada por la mampostería. Se acepta que parte de la fuerza cortante sea resistida por acero de refuerzo horizontal o por mallas de alambre electro-soldado. Cuando la carga vertical sobre el muro sea de tensión se aceptará que el acero de refuerzo resista la totalidad de la carga lateral. No se considerará incremento alguno de la fuerza cortante resistente por efecto de las dalas y los castillos de muros confinados.

Para determinar las fuerzas y momentos internos que actúan en los muros de una estructura de mampostería se podrán utilizar métodos dinámicos o estáticos o bien, el Método Simplificado de análisis incluido en las NTCDS-04. Se deberá considerar el efecto de aberturas en la rigidez y resistencia laterales.

3.3.1.1 Análisis de cargas laterales empleando el Método Simplificado

Será admisible considerar que la fuerza cortante que toma cada muro o segmento es proporcional a su área transversal. También se podrán ignorar los efectos de torsión, de momento de volteo y de flexibilidad de diafragma al emplear el método de diseño sísmico especificado en las NTCDS-04.

3.3.2 Diseño de estructuras de mampostería confinada

Para el diseño sísmico de la mampostería confinada, se usará un factor de comportamiento sísmico (Q) igual a 2. Lo anterior cuando las piezas sean macizas o multiperforadas con refuerzo horizontal con al menos la cuantía mínima y los muros estén confinados con castillos exteriores. Se usará $Q= 1.5$ para cualquier otro caso como se menciona en las NTCM-04.

Cuando se use el Método Simplificado de análisis la resistencia a fuerza cortante de los muros se afectará por el factor de área efectiva de los muros de carga (F_{AE}), ecuación (3.1). También será afectado por el factor de resistencia (F_R) igual a 0.7. Ambos factores están señalados en las NTCM-04.

$$\begin{aligned}
 F_{AE} &= 1; & \text{si } \frac{H}{L} &\leq 1.33 \\
 F_{AE} &= \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2; & \text{si } \frac{H}{L} &\geq 1.33
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

La fuerza cortante de diseño resistida por la mampostería se calcula de acuerdo con las NTCM-04 con la ecuación (3.2):

$$V_{mR} = F_R(0.5v_m * A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R v_m * A_T \tag{3.2}$$

donde:

V_{mR} , es el cortante que toma la mampostería; P , carga axial (positiva a compresión); A_T , área bruta de la sección transversal del muro o segmento del muro, que incluye a los castillos (sin transformar el área transversal); F_R , factor de resistencia; y v_m , resistencia de diseño a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta a lo largo de la diagonal paralela a la carga.

Las consideraciones para diseño de estructuras de mampostería confinada, descritas en este capítulo, se tomarán en cuenta al actualizar el MR-88. La ecuación (2.12) se sustituyó por la ecuación (3.2) ya que esta ecuación ha cambiado respecto a la estipulada en el RCDF-87 como se explica en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4

MÉTODO RÁPIDO PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

4.1 EL MÉTODO RÁPIDO DE ANÁLISIS DE 1988

En 1988, Rascón y Brito, propusieron un método de análisis rápido, MR-88. Este método rápido está basado en el Método Simplificado que se describe en las NTCDS-87. El MR-88. Básicamente consiste, primero, en que todos los niveles son iguales en cuanto a:

- Distribución de los elementos resistentes (muros).
- Área en planta de cada uno de los pisos.
- Altura de cada entrepiso.
- Peso de cada piso a excepción de la azotea.

Segundo, en el método rápido se verifica solamente que los muros de la planta baja resistan la fuerza cortante sísmica en cada una de las direcciones de análisis. Esta revisión consiste únicamente en medir el largo y ancho de la planta del edificio (a y a' respectivamente). También se medirá la longitud total de los muros en cada dirección, L_T , y el ancho, d , de los muros de los entrepisos que cumplan con la condición $H/L \leq 1.33$ (o $L > 0.75 H$) donde H es la altura del entrepiso y L la longitud del muro.

En el procedimiento desarrollado por Rascón y Brito en 1988 se obtiene el cortante basal actuante en el primer piso con la ecuación (4.1).

$$V_1 = c \sum_{j=1}^n W_j \quad (4.1)$$

donde V_1 , es el cortante basal actuante en el primer piso; c , coeficiente sísmico reducido para el Método Simplificado obtenido del espectro de diseño para el sitio donde se va a desplantar la estructura; W_j , peso en el j -ésimo piso; y n , número de pisos de la estructura.

Es conveniente calcular el peso permanente (carga muerta), W_P , y el peso temporal (carga viva), W_T , de la estructura por separado. El peso permanente de cada piso a excepción de la azotea, se obtiene por medio de la ecuación (4.2)

$$W_1 = W_2 = \dots W_{n-1} = W = W_L + W_m \quad (4.2)$$

donde W , es el peso de cada entrepiso excepto la azotea; W_L , peso de la losa en cada piso; y W_m , peso de los muros en cada piso

El peso de cada entrepiso W , considera el peso del muro del entrepiso bajo la losa más la mitad del peso del muro del entrepiso que se encuentra sobre la losa del piso que se analiza, más el peso de la losa del piso analizado. Ya que la altura de cada entrepiso, el área en planta de cada uno de los pisos y la distribución de los muros en todos los entrepisos es igual, se puede considerar que todos los entrepisos a excepción de la azotea, tienen un peso W .

El peso permanente de la azotea está dado por la ecuación (4.3) (Rascón y Brito, 1988).

$$W_n = 1.35W_L + 0.5W_m \quad (4.3)$$

donde W_n , es el peso de la azotea.

En Rascón y Brito, 1988, se considera que el peso de la losa se multiplica por 1.35 (35% del peso adicional respecto al peso por piso) debido a que sobre la losa de las azoteas suele haber peso extra producido por algunos elementos que son permanentes. Ejemplos del peso extra pueden ser los sistemas para servicios como los tanques de gas y agua, calentadores de agua, aire acondicionado, etc. Otros ejemplos pueden ser el peso producido por los materiales con los que se le da la pendiente que es común encontrar sobre la azotea para evitar encharcamientos e incluso el peso debido a efectos ambientales. Generalmente sobre las azoteas no hay muros, esta es la razón por la que sólo se considera la mitad del muro que se encuentra por debajo de la losa del último piso.

Para obtener el peso total de todos los pisos exceptuando el peso de la azotea ($W_p - W_n$), se multiplica el peso W , obtenido anteriormente por el número de pisos menos uno (azotea), ecuación (4.4).

$$W_p - W_n = W(n - 1) = (W_L + W_m)(n - 1) \quad (4.4)$$

donde W_p , es el peso permanente total de la estructura.

Después, se suman algebraicamente las ecuaciones (4.3) y (4.4) como se muestra en la ecuación (4.5).

$$W_p = W(n - 1) + (W_n) = (W_L + W_m)(n - 1) + (1.35W_L + 0.5W_m) \quad (4.5)$$

Resolviendo las operaciones algebraicas y simplificando la ecuación (4.5) se obtiene la ecuación (4.8).

$$W_p = (n - 1)W_L + (n - 1)W_m + 1.35W_L + 0.5W_m \quad (4.6)$$

$$W_p = (n - 1 + 1.35)(W_L) + (n - 1 + 0.5)(W_m) \quad (4.7)$$

$$W_p = (n + 0.35) W_L + (n - 0.5)W_m \quad (4.8)$$

El peso temporal se obtiene con la ecuación (4.9) al multiplicar el peso temporal de cada piso por el número de pisos en la estructura.

$$W_T = nW' \quad (4.9)$$

donde W' , es el peso temporal en cada piso; W_T , peso temporal total en la estructura.

Después de obtener el peso permanente total de la estructura y el peso temporal total en ella, se sumaron y se obtuvo la suma de los pesos en el j -ésimo piso, $\sum_{j=1}^n W_j$, esto es:

$$(W_P + W_T) = \sum_{j=1}^n W_j \quad (4.10)$$

Entonces, se puede sustituir $\sum_{j=1}^n W_j$ por $(W_P + W_T)$ en la ecuación (4.1) y obtener la ecuación (4.11).

$$V_1 = c(W_P + W_T) \quad (4.11)$$

El cortante basal resistente es el propuesto en el RCDF-87 se expresa como:

$$V_R = vA_T + 0.12P = vL_T d + 0.12P \leq 3vAT \quad (4.12)$$

donde P es la carga total en los muros de la planta baja de la estructura y es igual a $(W_P + W_T)$; V_R , es el cortante basal resistente; v, es la resistencia al esfuerzo cortante del material del muro; A_T , área bruta de la sección transversal del muro o segmento de muro en cm; L_T , longitud total de muros, en la dirección cuyo valor sea la menor de las longitudes en ambas direcciones (x o y) en cm y d, ancho total del muro sin tomar en cuenta el recubrimiento en cm.

Las NTCDS-87 establecen en el Método Simplificado que se deberá verificar únicamente que la resistencia total al corte de cada piso, en la dirección en que se analiza sea cuando menos igual a la fuerza cortante que actúa en el piso que se revisa. Se debe satisfacer la ecuación (4.13):

$$V_R \geq V_1 \quad (4.13)$$

Si se sustituyen las ecuaciones de (4.11) y (4.12) en la ecuación (4.13) se obtiene:

$$vL_T d + 0.12P \geq c(W_P + W_T) \quad (4.14)$$

Al dividir ambos miembros de la ecuación anterior entre el área en planta de la estructura, se obtiene finalmente la ecuación (4.15).

$$\frac{L_T}{aa'} \geq \frac{w(aa'c - 0.12)}{vdaa'} \quad (4.15)$$

donde

$$w = \frac{W_P + W_T}{aa'} = \frac{P}{aa'}$$

w, es el peso por unidad de área; a, largo en planta de la estructura; a', ancho en planta de la estructura.

Así el primer miembro de la ecuación (4.15) se puede definir como la densidad de muros existente, l.

$$\frac{L_T}{aa'} = l$$

y el segundo miembro de la ecuación (4.15) como la densidad de muros requerida, r.

$$\frac{w(aa'c - 0.12)}{vdaa'} = r$$

Para fines de estudio, en este trabajo se emplearon los métodos de análisis Estático, Simplificado y Rápido con el objetivo de comparar resultados. Como referencia se tomaron los resultados obtenidos del Método Estático. El Método de Análisis Simplificado fue empleado para corroborar el Método Estático. Además, se usó para observar el comportamiento de los resultados con un análisis que tiene menor precisión que el Método Estático.

Por último, después de actualizar el MR-88 y hacer los ajustes pertinentes se comparó el nivel de seguridad en cada modelo con el de los otros dos métodos de análisis.

4.2 ACTUALIZACIÓN DEL MÉTODO RÁPIDO DE ANÁLISIS

En 1988 Rascón y Brito presentan su método rápido para analizar la seguridad de las estructuras de mampostería de forma rápida que se basa en el RCDF de 1987. Ya que el RCDF ha cambiado a la fecha, en el presente trabajo se actualizó el método rápido para el análisis de estructuras de mampostería. Se revisaron las consideraciones y restricciones que tiene el Método Simplificado en las NTCDS-04, del que parte dicho método rápido. Este sólo tiene pequeñas diferencias, siendo la principal la restricción que dice que la excentricidad torsional no debe ser mayor al 10% de la dimensión en planta medida paralelamente a dicha excentricidad.

También ha cambiado la ecuación (4.12) para obtener la fuerza cortante resistente de diseño de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de 1987 (NTCM-1987) por la ecuación (3.2).

Al sustituir la ecuación (3.2) en la ecuación (4.14) se tuvieron que realizar las operaciones algebraicas nuevamente para obtener las densidades mencionadas en la sección 4.1. La ecuación obtenida difería de la presentada en el trabajo de método rápido de análisis de estructuras de mampostería de Rascón y Brito de 1988. Así, se decidió revisar las operaciones algebraicas paso por paso en la publicación de 1988 de Rascón y Brito. A continuación se muestran las operaciones a partir de la ecuación (4.14):

$$VL_Td + 0.12P \geq c(W_P + W_T) \quad (4.14)$$

$$\frac{(VL_Td + 0.12P)}{a'a} \geq \frac{c(W_P + W_T)}{a'a} \quad (4.16)$$

$$\frac{VL_Td}{a'a} + 0.12w \geq cw \quad (4.17)$$

$$\frac{VL_Td}{a'a} \geq cw - 0.12w \quad (4.18)$$

$$\frac{L_T}{a'a} \geq \frac{(cw - 0.12w)}{Vd} \quad (4.19)$$

$$\frac{L_T}{a'a} \geq \frac{w(c - 0.12)}{Vd} \quad (4.20)$$

donde

$$\frac{w(c - 0.12)}{Vd} = R$$

R , se define como un factor de densidad requerida de muros (obtenida en el presente trabajo)

En la ecuación (4.21) se muestra que la ecuación (4.20) no es igual a la ecuación (4.15).

$$\frac{L_T}{a'a} \geq \frac{w(c - 0.12)}{Vd} \neq \frac{L_T}{a'a} \geq \frac{w(a'ac - 0.12)}{Vda'a} \quad (4.21)$$

Por lo tanto, se decidió trabajar con la ecuación (4.20). Con esto se actualizó la ecuación (4.14) substituyendo las ecuaciones (4.11) y (3.2) en la ecuación (4.13) esto es:

$$F_R(0.5v_{m*}L_Td + 0.3P) \geq c(W_P + W_T) \quad (4.22)$$

Al dividir ambos miembros de la ecuación (4.22) entre el área en planta de la estructura, $a'a$, y realizar las operaciones algebraicas para obtener la densidad de los muros requerida y la densidad de los muros existente, se obtiene:

$$\frac{F_R(0.5v_{m*}L_Td + 0.3P)}{a'a} \geq \frac{c(W_P + W_T)}{a'a} \quad (4.23)$$

pero

$$\frac{(W_P + W_T)}{a'a} = \frac{P}{a'a} = w$$

Al substituir w en la ecuación (4.23) se obtiene la ecuación (4.24).

$$F_R\left(\frac{0.5v_{m*}L_Td}{a'a} + 0.3w\right) \geq cw \quad (4.24)$$

Haciendo las operaciones algebraicas y despejando la ecuación (4.24) se llega a la ecuación (4.25).

$$\frac{L_T}{a'a} \geq \left(\frac{w}{v_{m*d}}\right) \left(\frac{c}{F_R 0.5} - 0.6\right) \quad (4.25)$$

donde

$$\left(\frac{w}{v_{m*d}}\right) \left(\frac{c}{F_R 0.5} - 0.6\right) = R^*$$

R^* , se define como un coeficiente de densidad de muros requerida (actualizada).

Se analizó el coeficiente de densidad de muros requerida de la ecuación (4.25) y se substituyeron los valores de c y F_R en esta. Para c se usan tres valores que se encuentran en la tabla de coeficientes sísmicos reducidos de las NTCDS-04. Los valores son: a) 0.07, b) 0.19 y c) 0.23. El F_R es 0.7 para estructuras de mampostería confinada cuando se analiza con el Método Simplificado descrito en las

NTCDS-04. La densidad de muros requerida, R^* , para el coeficiente sísmico a) $-0.4 w/(v_m*d)$, para b) $-0.06w/(v_m*d)$ y para c) $0.06w/(v_m*d)$.

Al sustituir los valores de F_R y c en la ecuación para calcular R^* , se observó que los resultados obtenidos son negativos para los coeficientes sísmicos reducidos a) y b).

Partiendo de los resultados obtenidos se observa que los valores negativos de R^* se deben a la contribución a la fuerza cortante producida por la carga axial que actúa en el plano del muro por lo se sabe que de principio la ecuación (4.25) no es aplicable para todos los casos.

Comparando la contribución de la fuerza cortante producida por la carga axial con la resistencia a fuerza cortante total del muro. Se decidió que para fines prácticos en este trabajo dicha contribución puede ser despreciada y entonces la ecuación (3.2) se puede escribir como la expresión (4.26)

$$F_R(0.5v_{m*}L_Td) \geq c(w_P + w_T) \quad (4.26)$$

Al dividir ambos miembros sobre el área en planta de la estructura.

$$\frac{F_R(0.5v_{m*}L_Td)}{a'a} \geq \frac{c(w_P + w_T)}{a'a} \quad (4.27)$$

Haciendo las operaciones algebraicas correspondientes se obtiene:

$$F_R\left(\frac{0.5v_{m*}L_Td}{a'a}\right) \geq cW \quad (4.28)$$

$$\frac{0.5v_{m*}L_Td}{a'a} \geq \frac{cW}{F_R} \quad (4.29)$$

Finalmente se llega a la ecuación (4.30).

$$\frac{L_T}{a'a} \geq \frac{cW}{F_R 0.5v_{m*}d} \quad (4.30)$$

donde

$$\frac{cW}{F_R 0.5v_{m*}d} = R^{**}$$

R^{**} , factor de densidad de muros requerida (actualizada y modificada).

La ecuación (4.30) es la que se propone para el MR-04 en el presente trabajo, en el capítulo posterior se empleará para analizar tres modelos y comprobar los alcances y la efectividad de este método en diferentes zonas sísmicas.

CAPÍTULO 5

MODELOS ESTUDIADOS

Se presentan 3 modelos de estructuras de mampostería. Fueron pensados para casa habitación, asignándoles las propiedades correspondientes apegándose al RCDF-04. Se buscó la diversidad e incluso en que uno de ellos no cumpliera algunas de las restricciones del Método Simplificado para probar los alcances del método.

Ya modeladas las estructuras se realizó el análisis sísmico por el Método Estático, el Método Simplificado y el MR-04 para después realizar una tabla para comparar los resultados en cada uno de los modelos.

5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS

Los modelos son estructuras de mampostería confinada no reforzada interiormente. Es decir, sólo es enmarcada por dadas y castillos de los cuales no se considera contribución alguna a la resistencia a la fuerza cortante, siendo la mampostería la que se encarga de resistir la fuerza cortante, como se menciona en las NTCM-04. Se considera que la mampostería es de piezas macizas de barro recocido con dimensiones de 7x14x28 cm y pegadas con mortero, cemento-arena.

La resistencia a fuerzas laterales estará suministrada por losas planas de concreto reforzado, se desea que el sistema de muros y losas se comporte como un diafragma por lo que las losas se considerarán infinitamente rígidas.

Se asignó un concreto clase I con $f'c$ de 250 kg/cm², E_c de 221359.44 kg/cm² y G de 92233.1 kg/cm². Para la mampostería de tabique de barro recocido con mortero clase I, f_m^* de 15 kg/cm², el V_m^* es 3.5 kg/cm², E_m de 9000 kg/cm² y el G_m igual a 3600 kg/cm².

A continuación se presentan los modelos, figuras 5.1, 5.2 y 5.3; y los resultados de los diferentes métodos de análisis para cada modelo en zona sísmica I y zona sísmica IIIb (II y III para el Análisis Simplificado).

Modelo 1

En la figura 5.1 se muestra la planta de un edificio de dos pisos, de 3 m de alto cada uno, dando una altura total de 6 m. En planta el edificio tiene un área de 120 m².

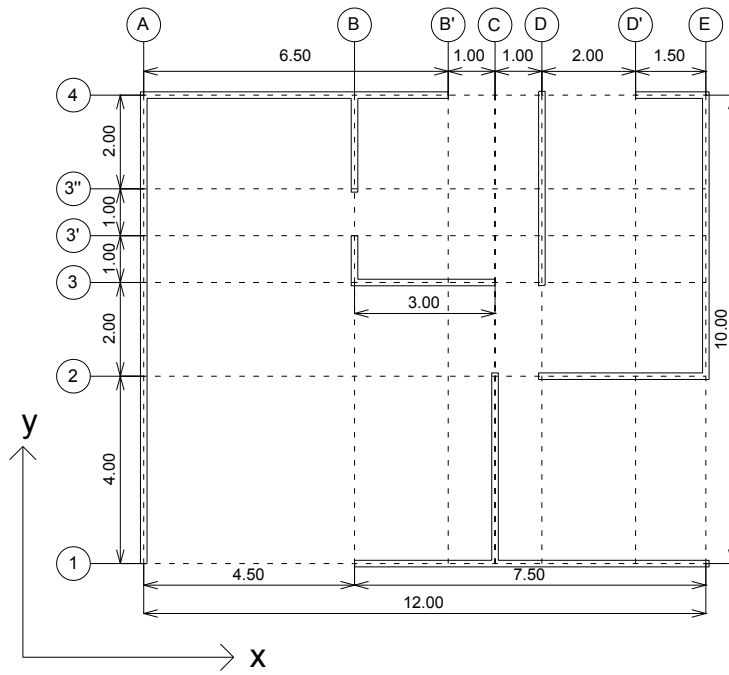


Figura 5.1. Planta del modelo 1

Modelo 2

En la Figura 5.2 se muestra la planta de un edificio de tres pisos, de 3 m de alto cada uno, dando una altura total de 9 m. En planta el edificio tiene un área de 100 m².

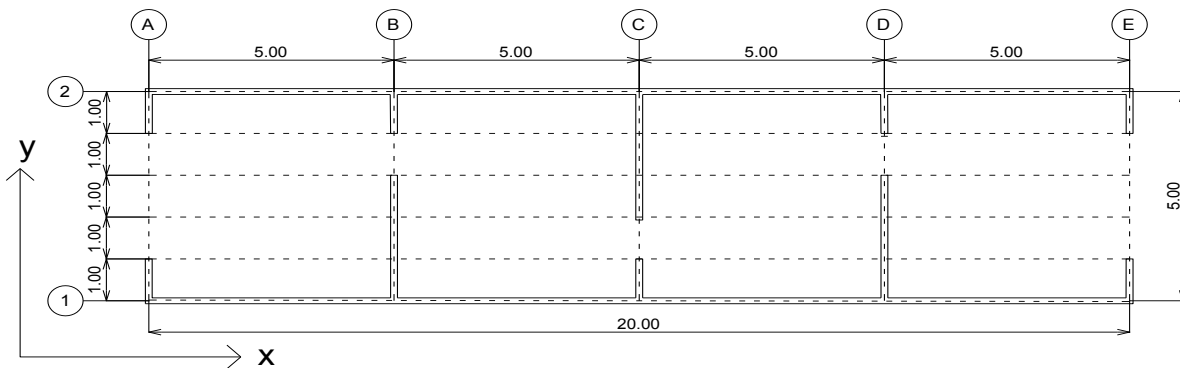


Figura 5.2. Planta del modelo 2

Modelo 3

En la figura 5.3 se muestra la planta de un edificio de dos pisos, de 3 m de alto cada uno, dando una altura total de 6 m. En planta el edificio tiene un área de 130 m².

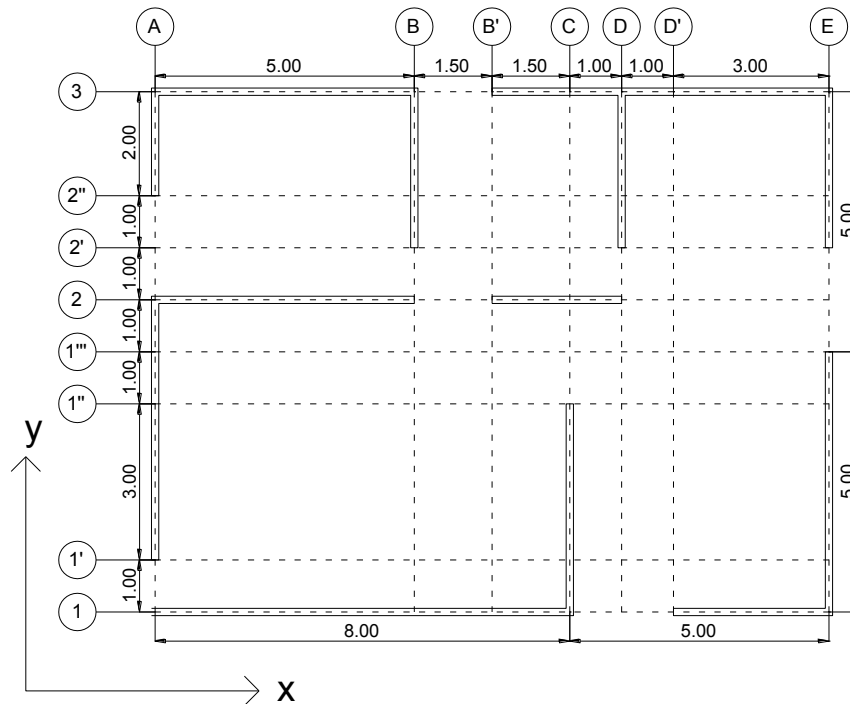


Figura 5.3. Planta del modelo 3

5.2 RESULTADOS

Se hizo el análisis sísmico de los 3 modelos para las zona sísmica I y la zona sísmica IIIb (II y III para Análisis Simplificado) aplicando el MR-04 propuesto en este trabajo. Con el MR sólo se analizó el primer piso de las estructuras ya que este es el más crítico debido a que las fuerzas de los pisos superiores se concentran en él. De igual modo sólo se analizó en la dirección con la longitud total de muros menor, por ser esta la que tiene una menor capacidad para resistir las fuerzas actuantes. Así, para ambas zonas sísmicas, el modelo 1 (figura 5.1), se analizó en la dirección “x” y los modelos 2 y 3 (figuras 5.2 y 5.3 respectivamente) se analizaron en la dirección “y”. En la tabla (5.1) se muestran los factores de densidad de muros existente, I , de densidad de muros requerida, R^{**} y el Nivel de Seguridad calculado de cada modelo. El Nivel de Seguridad está dado por la relación entre el factor de densidad de muros existente, I , y el factor de densidad de muros requerida, R^{**} . Para que una estructura pueda considerarse segura la resistencia debe ser mayor que la demanda. De este modo el Nivel de Seguridad debe ser mayor que 1.

Tabla 5.1. Nivel de Seguridad para el MR-04 en los tres modelos estudiados

| Modelo estudiado | Método | I | R** | Nivel de Seguridad |
|--------------------------|--------|-------|-------|--------------------|
| 1- Zona sísmica I | MR-04 | 17.08 | 6.60 | 2.59 |
| 1- Zona sísmica II y III | MR-04 | 17.08 | 13.19 | 1.29 |
| 2- Zona sísmica I | MR-04 | 9.00 | 9.98 | 0.90 |
| 2- Zona sísmica II y III | MR-04 | 9.00 | 23.71 | 0.38 |
| 3- Zona sísmica I | MR-04 | 17.69 | 6.07 | 2.91 |
| 3- Zona sísmica II y III | MR-04 | 17.69 | 12.15 | 1.46 |

En la tabla 5.1 se observa que para el modelo 2, en ambas zonas sísmicas el Nivel de Seguridad es menor a 1 por lo que la estructura puede considerarse insegura.

Para tener un punto de referencia sobre la eficacia del MR-04 se hizo el análisis de los tres modelos localizados en la zona sísmica I y en la IIIb (II y III para el análisis Simplificado) por el Método Estático y el Método Simplificado. Para cada modelo se obtuvo el cortante actuante en la base, $V_{tm\acute{a}x}$, para el Método Estático y V_j , para el Método Simplificado, ambos en la dirección más crítica. Con la relación de la fuerza cortante de los muros, v_{mr} , entre la fuerza cortante del Método Estático y el Método Simplificado, se obtuvieron los Niveles de Seguridad para cada caso. Ahora se pueden considerar a $V_{tm\acute{a}x}$ y V_j como la demanda de resistencia del entrepiso y como la resistencia de los entrepisos a v_{mr} . De igual forma el Nivel de Seguridad debe ser mayor a 1 para considerar la estructura como segura. Los resultados se presentan en la tabla 2.

Tabla 5.2. Niveles de Seguridad para el Método Estático y el Método Simplificado

| Modelo estudiado | Dirección de análisis | $V_{tm\acute{a}x}$ | V_j | v_{mr} | Nivel de Seguridad Estático | Nivel de Seguridad Simplificado |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------|-------|----------|-----------------------------|---------------------------------|
| 1-Zona sísmica I | x | 18.04 | 16.06 | 27.92 | 1.55 | 1.74 |
| 1- Zona sísmica II y III (IIIb) | x | 48.49 | 32.11 | 27.92 | 0.58 | 0.87 |
| 2- Zona sísmica I | y | 20.47 | 18.12 | 18.44 | 0.90 | 1.02 |
| 2- Zona sísmica II y III (IIIb) | y | 57.72 | 43.03 | 18.44 | 0.32 | 0.43 |
| 3- Zona sísmica I | y | 11.69 | 10.48 | 28.49 | 2.44 | 2.72 |
| 3- Zona sísmica II y III (IIIb) | y | 33.38 | 20.96 | 28.49 | 0.85 | 1.36 |

En la tabla 5.2 se puede observar que los Niveles de Seguridad para el Método Estático y el Método Simplificado difieren de forma variable. La mayor diferencia se presenta en el modelo 3 cuando se analiza la zona sísmica IIIb (II y III para el análisis Simplificado y Rápido).

Después de aplicar los 3 métodos de análisis, Estático, Simplificado y MR-04, se elaboró la tabla 5.3, que integra los Niveles de Seguridad obtenidos para cada modelo en las dos zonas sísmicas que se analizaron y en la dirección más desfavorable.

Tabla 5.3. Niveles de Seguridad obtenidos con los tres métodos de análisis

| Modelo | Método Estático | Método Simplificado | MR-04 |
|---|-----------------|---------------------|-------|
| 1-Zona sísmica I, análisis en x | 1.55 | 1.74 | 2.59 |
| 1- Zona sísmicas II y III (IIIb), análisis en x | 0.58 | 0.87 | 1.29 |
| 2 Zona sísmica I, análisis en y | 0.90 | 1.02 | 0.90 |
| 2- Zona sísmicas II y III (IIIb), análisis en y | 0.32 | 0.43 | 0.38 |
| 3 Zonas sísmica I, análisis en y | 2.44 | 2.72 | 2.91 |
| 3 Zonas sísmicas II y III (IIIb), análisis en y | 0.85 | 1.36 | 1.46 |

Comparando los Niveles de Seguridad obtenidos de los tres métodos de análisis para cada modelo se puede observar que en ningún caso el Nivel de Seguridad del MR-04 es menor que el resultante de aplicar el Método Estático. En el caso del Método Simplificado se observa que el Nivel de Seguridad del MR-04 sólo es menor en el modelo 2 para ambas zonas sísmicas.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

En este trabajo se retomó el MR-88 propuesto por Rascón y Brito en 1988 para el análisis de estructuras de mampostería. Al ya no ser vigente el RCDF-87 del que se toman las consideraciones necesarias para el diseño de estructuras de mampostería y en el que se incluye el Método Simplificado del que se desprende el MR-88, se propuso una actualización del MR-88, basándose en el RCDF-04. El MR-04 aquí propuesto se aplicó a tres diferentes modelos en dos diferentes zonas sísmicas (zona I y IIb). Para revisar si el MR-04 es confiable también se realizó el análisis de los 3 modelos por el Método Estático y por el Simplificado descrito en las NTCDS-04.

Después de realizar el análisis de cada uno de los modelos por los tres métodos ya mencionados, se tomaron los niveles de seguridad del Método Estático y del Método Simplificado como referencia para revisar qué tan confiable es el MR-04.

En la mayoría de los casos el nivel de seguridad obtenido del MR-04 tiene valores cercanos al de los otros dos métodos aplicados. Sin embargo en algunos casos la diferencia entre los niveles de seguridad del MR-04 y los otros dos métodos de análisis usados varía drásticamente. Considerando lo anterior, el nivel de seguridad para el MR-04 no se puede considerar como un resultado absoluto. En el análisis del modelo 1 para la zona sísmica III se observa lo antes mencionado.

Los niveles de seguridad del MR-04 calculados para los tres modelos son iguales o menores que los obtenidos para el Método Estático. La diferencia entre los resultados del MR-04 y el Método Estático puede ser justificada tomando en cuenta que el Método Estático considera la presencia de efectos que el Método Simplificado y el MR-04 no consideran. De tal forma que la diferencia entre el resultado del Método Estático y el del MR-04 estará en función de las características de la estructura.

A partir de los resultados obtenidos para los modelos estudiados puede concluirse que:

- Entre más general es el método de análisis, se toman en cuenta menos variables al realizarlo. Así, el nivel de seguridad obtenido para el Método Estático es menor debido a que considera más efectos que los otros dos métodos utilizados. El MR-04 tiene un nivel de seguridad mayor ya que no toma en cuenta todos los fenómenos que se presentan en estructuras asimétricas.
- El MR-04 cumple con su objetivo para las estructuras localizadas en las tres zonas sísmicas.
- Se puede aceptar el MR-04 como un método de análisis, siempre y cuando se haga con ciertas reservas y se haga uso de un buen juicio ingenieril.
- Sus resultados serán más confiables cuando la estructura cumpla con todas las restricciones para el Análisis Simplificado y especialmente cuando la distribución de los muros en la estructura sea simétrica en planta.

6.2 RECOMENDACIONES PARA EL MÉTODO DE ANÁLISIS RÁPIDO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Al realizar un análisis empleando el MR-04 aquí presentado se hacen las siguientes recomendaciones:

- Cuando el peso en los pisos no sea igual entre sí, podrá aumentarse ese peso adicional en el peso total.
- Cuando la altura de los entrepisos sea diferente en algún piso se podrá tomar la altura predominante.
- En caso de que la estructura sólo tenga dos entrepisos de diferente altura se tomará la mayor.
- Siempre que la estructura sea asimétrica e irregular o no cumpla con algún requisito de los establecidos en las NTCDS-04 para el Método de Análisis Simplificado, se aplicará un método de análisis más minucioso.

REFERENCIAS

Bazán, E y Meli, R (2002), “Diseño sísmico de edificios”, Limusa, México DF.

Cecilio, V (2011), “Nueva filosofía de diseño por torsión sísmica en estructuras de mampostería”, Tesis de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.

Escobar, J A, Mendoza, A y Gómez, R (2004), “Diseño simplificado por torsión sísmica estática”, *Revista de Ingeniería Sísmica* 70, 77-107.

Meli, R (1985). “Diseño estructural” Limusa, México.

NTCM-04 (2004), “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería”, *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, México.

NTCS-04 (2004), “Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo”, *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, México.

Rascón, O y Brito, R (1988) “Evaluación simple de la seguridad sísmica de edificios de mampostería, de acuerdo al RCDF-87”, Trabajo no publicado, México.

RCDF-87 (1987), “Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal”, *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, México.

RCDF (2004), “Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal”, *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, 6 de octubre, México.