

Estrategias para la rehabilitación de edificios multifamiliares de interés social tipo INFONAVIT

Roberto Arroyo Matus¹, Alfredo Guzmán Salmerón¹, Raziel Barragán Trinidad¹,
Alberto Salgado Rodríguez¹, Rogelio Guinto Herrera¹,
Hugo Acevedo Morales¹

RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio desarrollado para determinar los índices de resistencia de los edificios multifamiliares tipo INFONAVIT a nivel nacional. Además, se obtienen curvas de capacidad lateral de los elementos portantes y se comparan con las solicitaciones producidas por sismo. También se definen estrategias económicas de refuerzo y rehabilitación para los muros críticos.

ABSTRACT

In order to define earthquake strength pointers of INFONAVIT multistoried Mexican public buildings, an extensive research project is presented. Lateral capacity strength curves are also obtained and then compared with the acting seismic loading. Economical retrofitting and strengthening techniques for critic masonry walls are also proposed.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, no menos del 85% de los edificios está constituido por edificaciones de mampostería, ya sea de tabique de arcilla recocida o de bloques de concreto. Posiblemente la mayoría de estos edificios no satisfacen la normatividad sísmica y, por tanto, su nivel de sismo-resistencia

Palabras clave: Mampostería, rehabilitación, sismo-resistencia, mitigación, prevención de desastres.

Key words: Masonry, retrofitting, earthquake resistance, mitigation, disasters prevention.

Recibido: 14 de abril de 2009, aceptado: 2 de junio de 2009

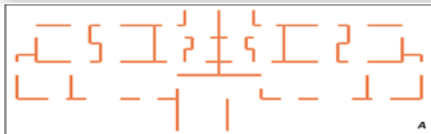
¹ Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero, arroyomatus@hotmail.com

probablemente es mínimo o prácticamente nulo. Por lo tanto, gran parte de este tipo de construcciones no satisface las especificaciones actuales que aseguren la integridad de sus ocupantes. En los desastres sísmicos de la última década, la mayor parte de las pérdidas humanas asociadas a este tipo de eventos han sido producidas por fallas estructurales en edificaciones de mampostería con refuerzo inapropiado aún cuando la magnitud del fenómeno sísmico haya sido baja (Velásquez-Dimas *et al.*, 1998). México presenta un elevado peligro sísmico a lo largo de la zona costera sur debido a la subducción de la Placa de Cocos bajo la de Norteamérica. Por ejemplo, en la brecha sísmica de Guerrero, la cual cuenta con una longitud de aproximadamente 230 km, existe una elevada probabilidad de que ocurra un gran sismo en los próximos años (Singh *et al.*, 1981). Ante este panorama, existe incertidumbre en el comportamiento estructural y el grado de daño que un sismo de gran magnitud pudiese causar en las edificaciones de tipo popular, especialmente, en conjuntos habitacionales con edificios multifamiliares de interés social tipo INFONAVIT. En algunos estados del sur del país como Guerrero, este tipo de edificios son comunes y concentran un porcentaje muy importante de la población de sus principales centros urbanos (Isidro, 2003). Desafortunadamente, hay evidencias de que muchos de ellos no han presentado un comportamiento estructural apropiado, denotado principalmente por fenómenos no necesariamente sísmicos, como desplomos y hundimientos diferenciales así como agrietamientos en los muros (Isidro, 2003; Chávez, 2002).

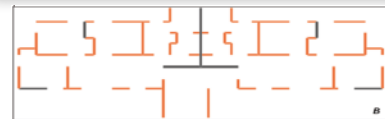
Con el fin de conocer el estado actual en el que se encuentran este tipo de edificios, inicialmente se procuró reunir información documental

de los proyectos arquitectónicos y estructurales de los edificios mencionados, logrando obtenerse copia de planos estructurales completos de los tres tipos de inmuebles que predominan en la región sur del país, los cuales fueron proporcionados por delegaciones estatales del INFONAVIT. Por otro lado, se efectuaron diversas visitas técnicas a los desarrollos habitacionales en ciudades con un alto peligro sísmico tales como Morelia, Acapulco, Zihuatanejo, Chilpancingo, Oaxaca y Tuxtla Gutiérrez; pudiéndose constatar *in-situ* pequeñas diferencias entre lo proyectado y lo realmente construido, pero sobre todo, graves deficiencias estructurales causadas por los mismos inquilinos, quienes han realizado modificaciones arquitectónicas y estructurales sin supervisión técnica alguna. Adicionalmente, la falta de mantenimiento de estas edificaciones contribuye al de-

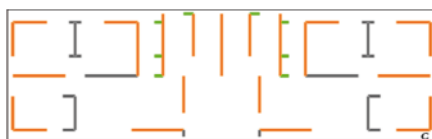
terioro de su sismo-resistencia. Los modelos arquitectónicos estudiados se muestran en las figuras 1 y 2, edificios que representan a los existentes en los estados en los que se llevó a cabo el estudio. Para su elección se consideró su antigüedad, la importancia que tienen en sus respectivas ciudades así como su densidad poblacional. Las características que tienen en común las siguientes: La relación largo/ancho en planta excede ligeramente 2.5; la superficie en planta es de 136 m²; la altura total es de 13 m, con cinco entrepisos. La separación menor entre los edificios es de 10 cm. Para el caso de la losa de azotea, ésta es de 10 cm de espesor a dos aguas, con inclinación de 20°. Una porción central horizontal permite soportar cuatro tinacos de 1.1 m³ cada uno. Los tipos son:



Modelo A: Con cimentación a base de zapatas corridas y profundidad de desplante de 1.50 m. Muros de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior. Losa de azotea maciza e inclinada y la de entrepiso a base de viga y bovedilla. La distribución arquitectónica en planta presenta entrantes y salientes. Este tipo de edificios se considera el primero en su género, habiéndose iniciado su construcción antes de 1985 y concluyéndose al entrar en vigor el reglamento de 1987.



Modelo B: Con una cimentación y superestructura de características físicas muy similares a las del modelo A, sólo que en este caso, seis muros de mampostería fueron sustituidos por muros de concreto reforzado. Sin embargo, el emplazamiento concéntrico de dos de ellos, marcados como una T invertida en el centro, no mejora su comportamiento pues se han observado fisuras en varios muros de algunos edificios. El diseño estructural de este tipo de edificios está basado en el reglamento de 1987. Se dejaron de construir al entrar en vigor el reglamento de 1989.



Modelo C: Éste se empleó para sustituir a los tipos A y B. Se desplanta sobre una losa de cimentación. Posee una distribución arquitectónica distinta que evita las entrantes y salientes. El sistema es sustentado por un conjunto de muros de concreto reforzado y de mampostería de piezas macizas confinadas. Posee varios muros de concreto transversales que limitan la torsión. Su diseño estructural se basó en las especificaciones del código de 1989, habiéndose descontinuado en 1995.

Figura 1 y 2. Imágenes y croquis de los modelos estudiados (A, B y C).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo de investigación establece un procedimiento que considera las experiencias de informes relacionados a las evaluaciones estructurales previas efectuadas en edificaciones de mampostería (Isidro, 2003; Chávez, 2002). Cabe señalar que esta investigación está basada en el empleo de herramientas de análisis exclusivamente en el intervalo elástico. Lo anterior puede tener fuertes limitaciones en los resultados debido a que la respuesta no lineal de este tipo de edificación ante sismos fuertes, no necesariamente se

puede extrapolar de la respuesta lineal. Por este motivo, los resultados pueden considerarse apropiados a condición de que las demandas en los edificios no sobrepasen las distorsiones permisibles sugeridas por el respectivo reglamento de construcción. Dicha evaluación cumplió los requisitos del reglamento de construcciones local vigente, así como las disposiciones de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto y las de Mampostería. A continuación se describen, de forma resumida, las etapas consecutivas que se formularon en:

Etapas 1. Selección de prototipos. Inspección física de los inmuebles. Selección de los prototipos valorando la importancia que tienen los conjuntos habitacionales para su respectivo municipio, densidad poblacional, existencia de prototipos similares en otras ciudades, distribución arquitectónica, cantidad de edificios y número de viviendas de interés social que contienen. Se consideró la antigüedad de las construcciones y el tipo de normatividad aplicada.

Etapas 2. Investigación documental y confirmación de su validez en campo. Investigación de la documentación existente (planos y permisos autorizados) y su representatividad respecto a lo realmente construido. Definición de los coeficientes sísmicos en función de la regionalización sísmica del país y del tipo de suelo.

Etapas 3. Cálculo de las acciones y respuesta de la estructura. Se consideraron la geometría de la estructura, las secciones de los elementos, las cargas verticales actuantes y los espectros de diseño sísmico correspondiente al tipo de suelo de la región estudiada. Con ayuda de los programas informáticos SAP 2000 y ANEMgcW se aplicó un análisis sísmico por el método dinámico modal espectral considerando un comportamiento elástico lineal y se compararon los resultados.

Etapas 4. Cálculo de la resistencia de elementos estructurales. Cálculo de las resistencias por carga vertical, fuerza horizontal y momentos de volteo de los elementos verticales de soporte, con base en la información de los planos estructurales y aplicando los lineamientos que marcan las normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería y concreto.

Etapas 5. Cálculo de refuerzo estructural. Definición de los índices de resistencia de las estructuras estudiadas, obtención de los elementos deficientes y establecimiento del grado de vulnerabilidad de los prototipos. Establecimiento de las propuestas estratégicas de refuerzo. Los índices de resistencia son propuestos a partir de la razón existente entre la fuerza cortante actuante y la resistente en cada muro estructural.

Figura 3. Metodología empleada en el estudio.

RESULTADOS

En las figuras 4, 5 y 6 se muestra una comparación entre la fuerza horizontal actuante y la resistencia que ofrecen respectivamente los modelos A, B y C obtenida con el programa SAP 2000. En ellas se observa claramente que, de forma global, los prototipos poseen suficiente capacidad para resistir las solicitaciones por sismo. Sin embargo, es necesario realizar un análisis individual de cada

elemento de soporte con el fin de verificar si éstos se encuentran en una situación de riesgo.

En el caso del modelo B, en los ejes X y Y, entre los niveles 3 y 4, se observa una disminución considerable de la resistencia debido al cambio brusco de rigidez introducido por la ausencia de muros de concreto a partir del nivel 3.

Este efecto altera ligeramente la pendiente de la curva en la gráfica de desplazamientos (figura 7). Respecto al modelo C, el comportamiento de la curva en la figura 6, entre los pisos 3 y 4, refleja una ligera disminución de la resistencia al cortante en la dirección estudiada. Este comportamiento se atribuye a la disminución del diámetro del refuerzo transversal de los muros de concreto 13 y 14, en los que se pasa de estribos de 5/16" a 1/4". Observando el comportamiento de los tres modelos puede apreciarse que, respecto a los modelos A y B, el prototipo C se somete a cargas laterales menores. Esto se debe a que posee una masa más baja, pues posee una densidad de muros menor y, además, se encuentra distribuida apropiadamente en planta.

La figura 7 muestra los desplazamientos laterales máximos bajo la combinación crítica por efectos sísmicos y gravitacionales, obtenidos con el programa ANEMgcW. Puede observarse, por ejemplo, en la dirección X del modelo A, que el desplazamiento relativo de entrepiso promedio es de 0.6 cm, mientras que el desplazamiento global es de 2.60 cm. De acuerdo a la norma vigente, el desplazamiento máximo permisible, en este caso, es de 8 cm. Por este motivo puede afirmarse que se cumple de manera satisfactoria la recomendación del reglamento, además de que la separación mínima existente entre edificios es de 10 cm. Los índices de resistencia son propuestos a

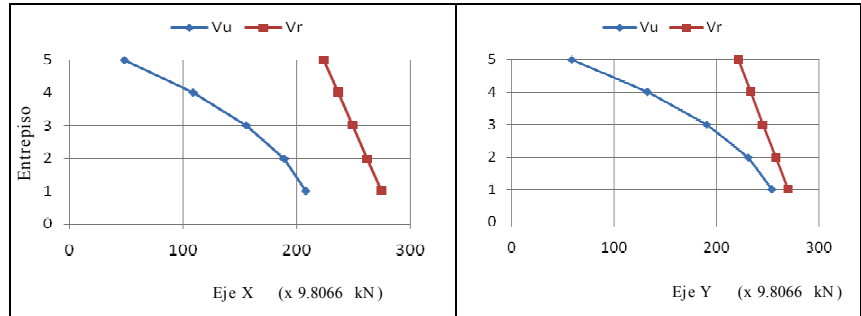


Figura 4. Acciones (Vu) y resistencias (Vr) del Modelo A (Programa SAP 2000).

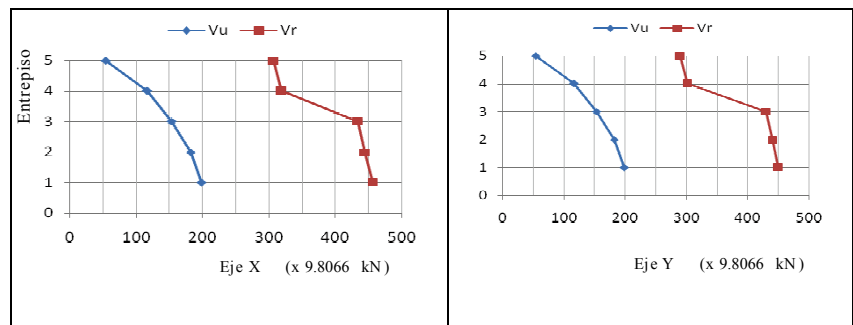


Figura 5. Acciones (Vu) y resistencias (Vr) del Modelo B (Programa SAP 2000).

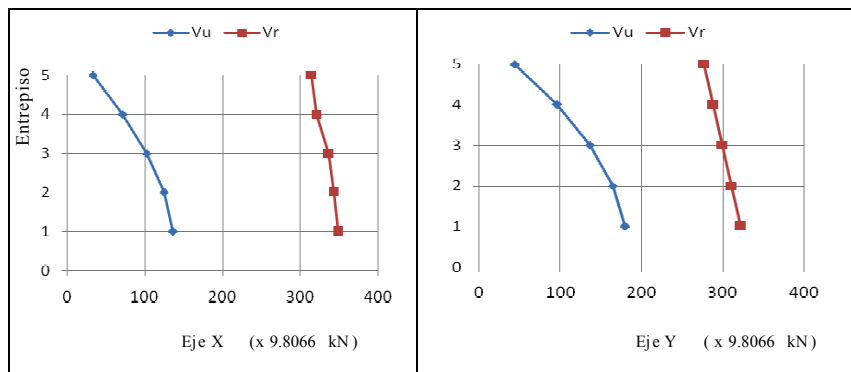


Figura 6. Acciones (Vu) y resistencias (Vr) del Modelo C (Programa SAP 2000).

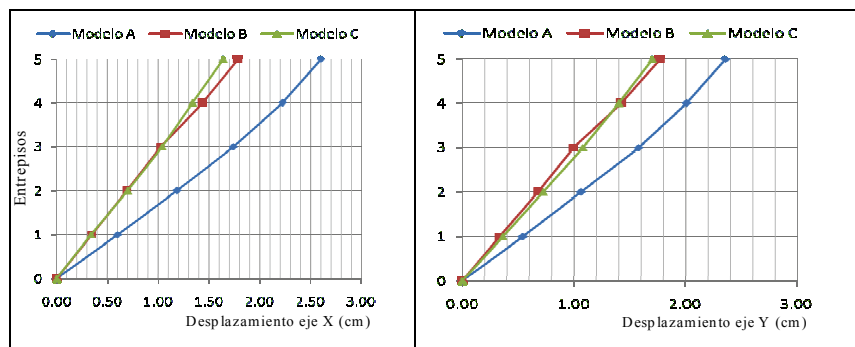


Figura 7. Desplazamientos laterales en modelos A, B y C (Programa SAP 2000).

partir de la razón existente entre la fuerza cortante actuante y la resistente en cada muro estructural y dependen naturalmente del porcentaje o razón de muros que podrían fallar respecto al total existente en un entrepiso y en una dirección determinada. Las gráficas de la figura 8 muestran dichos índices y puede apreciarse un comportamiento similar y paralelo de los modelos A y C. El prototipo B refleja un decremento de resistencia entre los niveles 3 y 4 debido a la reducción de rigidez en dichos niveles. Además, el área utilizada por los elementos de soporte con respecto al total en planta de cada piso juega un papel muy importante en la resistencia estructural ante cargas laterales (Tejeda *et al.*, 2004). La variación de las características estructurales en la altura de este tipo de edificaciones puede amplificar la respuesta estructural y debe ser estudiada de forma más extensa.

Asimismo, se analizó el comportamiento estructural resistente de los modelos en estudio referenciados por sus índices de resistencia para cada entrepiso y dirección. La figura 9 muestra el

porcentaje de muros que fallan debido a la acción del sismo. Por sollicitación vertical sólo el modelo A presentó problemas, estableciéndose que el 23% y el 19% de sus elementos en los entrepisos 1 y 2 presentan sollicitaciones inadmisibles. Por carga lateral, el modelo C tiene complicaciones en el 23, 19, 14 y 2% de sus muros (entrepisos 1, 2, 3 y 4, respectivamente). Por flexocompresión, los tres modelos presentaron serias irregularidades; por ejemplo, en el entrepiso 5 del modelo A, todos los elementos portantes tuvieron problemas; el edificio C tuvo el 18%; mientras que el edificio B tuvo el 40%.

Los elementos portantes que tienen problemas en el modelo C corresponden a muros de poca longitud y gran esbeltez. En este caso, dichos muros deben transformarse en divisorios y ser desligados de la estructura para evitar que se presenten fisuras. Respecto a los modelos A y B, el resultado es poco favorable y deben buscarse soluciones efectivas que favorezcan una adecuada resistencia ante sollicitaciones sísmicas.

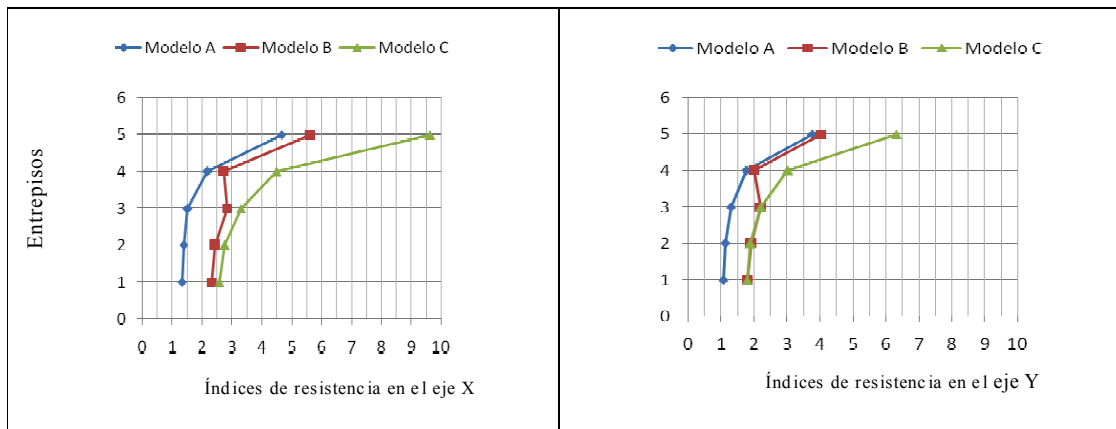


Figura 8. Índices de resistencia global por carga lateral (Programa ANEMgcW).

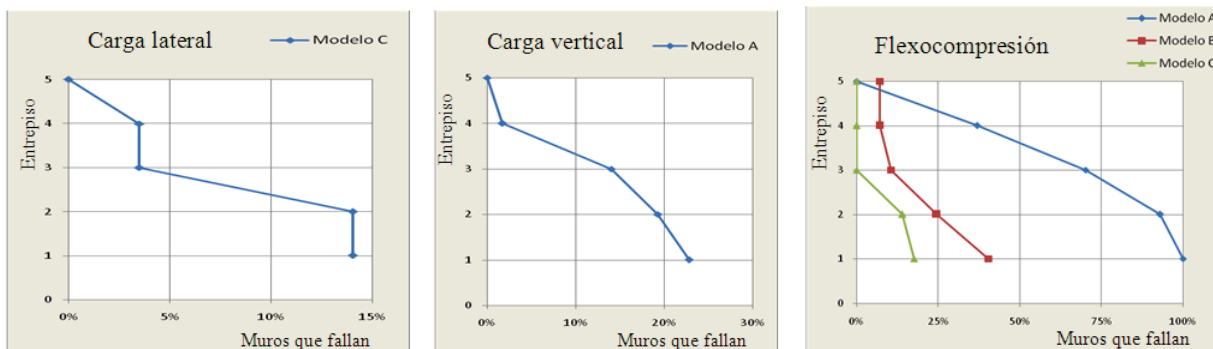


Figura 9. Muros con índices de resistencia menor que la unidad (Programa ANEMgcW).

DISCUSIÓN

El procedimiento para el refuerzo de estructuras ante la acción sísmica depende de los espectros sísmicos del sitio, así como de los resultados de la evaluación de la capacidad de los elementos verticales de soporte. En consecuencia, la propuesta de refuerzo debe brindar una respuesta estructural satisfactoria ante sismos futuros. Con el fin de garantizar que los muros divisorios sean realmente no estructurales, se deberán aislar de forma apropiada. Además, deberá garantizarse, que el muro quede adherido a los muros transver-

sales o perpendiculares a fin de lograr en éstos últimos la disminución del riesgo de deformaciones o de pandeo lateral. Las propuestas presentadas en la figuras 10, 11 y 12 corresponden a las propuestas de refuerzo óptimas para cada caso. Obtenidas a través de varios análisis realizados con arreglos de muros que no alteraran la configuración geométrica de los edificios. Por otro lado, el emplazamiento definitivo de los muros mostrados evita la concentración de esfuerzos en la cimentación original. Las propuestas de refuerzo se muestran en las figuras siguientes:

Modelo A

Se propone un procedimiento que incremente la rigidez global hasta que los elementos existentes sean suficientemente resistentes y que la reacción en el terreno en los que éstos sean desplantados no modifique el diseño de la cimentación. Después de varias iteraciones de análisis sísmico con diferentes propuestas estructurales, se concluyó adicionar muros de concreto reforzado

en las esquinas del edificio y sustituir, por otro lado, los elementos de mampostería existentes 1, 2, 34 y 35 por concreto reforzado. Con esta propuesta de refuerzo estructural se intentó mantener la simetría entre los elementos adicionados y se incrementó el plano horizontal de la losa entre los límites de los muros 17, 38, 58 y 60. De esta forma se puede dar una mejor continuidad al diafragma rígido del entrepiso y se podría transmitir más adecuadamente la acción sísmica a los elementos verticales. También se propone unir con travesaños los muros 1-3, 2-4, 34-36-58 y 35-37-59.

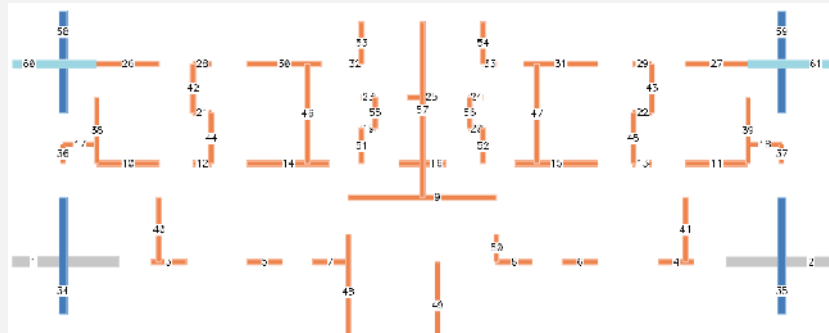


Figura 10. Propuesta de refuerzo del modelo A.

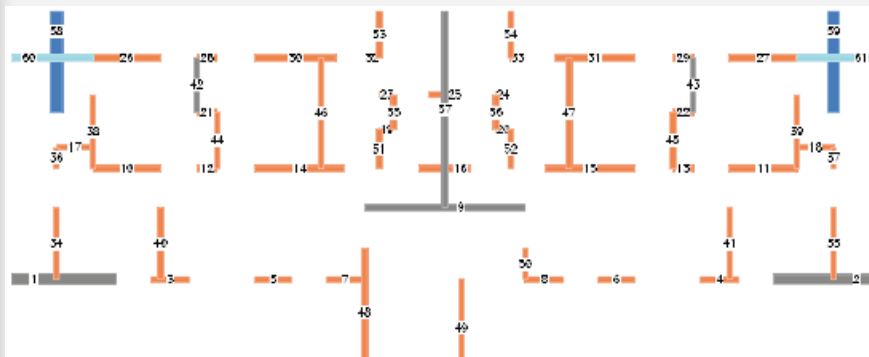


Figura 11. Propuesta de refuerzo del modelo B.

Modelo B

Al igual que el modelo A, el B se reforzó con cuatro elementos nuevos (58, 59, 60 y 61) de concreto reforzado, colocados en las dos esquinas extremas de la parte superior, como se muestra en la figura 11. Para el caso de las esquinas de la parte inferior, se ampliaron los muros existentes 1 y 2. La cara vertical de estos seis miembros tiene una forma trapezoidal y sus salientes al exterior son inapreciables.

Modelo C

De acuerdo a los resultados del estudio de los índices de resistencia, en el modelo C se encontraron deficiencias por carga vertical y flexocompresión. La solución estructural óptima se presenta en la figura 12. En esta propuesta se eliminaron los muros no confinados ni reforzados (15, 16, 17, 18, 25, 26, 27 y 28) por lo que el área tributaria se redistribuyó en los muros vecinos. De esta manera, la estructura presentó una respuesta favorable y el 100% de los elementos verticales soportaron satisfactoriamente las acciones sísmicas.

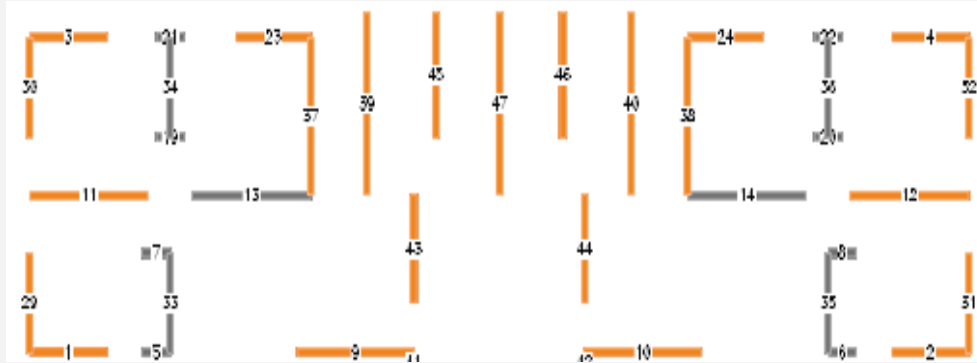


Figura 12. Propuesta de refuerzo del modelo C.

CONCLUSIONES

La investigación realizada permitió definir los índices de resistencia de tres modelos diferentes de edificios multifamiliares tipo INFONAVIT. Además, se identificaron los elementos de soporte deficientes y se definieron propuestas estratégicas de refuerzo para incrementar la resistencia de la estructura, principalmente bajo solicitaciones sísmicas. Se procuró no afectar en exceso la cimentación de los prototipos estudiados a fin de abatir los costos de la rehabilitación. Los resultados de este estudio muestran la urgencia de emprender programas de gobierno para rehabilitar este tipo de edificios.

El procedimiento descrito en este trabajo debe afinarse a fin de optimizar el proceso de cálculo, el cual puede ser aplicado, inclusive, a estructuras similares de vivienda del estado o particulares. A reserva de mejorar la propuesta, los índices de resistencia podrían eventualmente

utilizarse como guías en la generación de propuestas de refuerzo de edificaciones, o bien, para aplicarlos como criterios de base para la formulación de reportes o dictámenes técnicos de seguridad estructural.

Los resultados del presente estudio también se han estado difundiendo no sólo ante las autoridades competentes, sino también de forma simplificada entre los inquilinos de dichas estructuras a fin de concientizarlos sobre la urgencia de implementar programas de rehabilitación y refuerzo que les ofrezcan mejores condiciones de seguridad para proteger a sus bienes, pero sobre todo, a sus familias.

Se pretende aplicar las propuestas refuerzo en cinco edificios de la unidad habitacional "El Coloso" en la ciudad de Acapulco. Dichos trabajos serán financiados por los propios inquilinos e iniciarán en julio del 2009.

REFERENCIAS

- ALCOCER, S. *et al.* *Comportamiento Dinámico de Muros de Mampostería Confinada*. Series del Instituto de Ingeniería no. 616, México, 1999.
- CORONA, G. *Programa ANEMgcW Versión 3.6*. Análisis y revisión de edificios de mampostería. G. C. Ingeniería y Diseño, S. C. Puebla, Puebla, pp. 1-24, México, 2006.
- CHÁVEZ, C. *Evaluación de la Capacidad Sismoresistente en estructuras de Mampostería Confinada de la Ciudad de Chilpancingo, Gro.* XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Puebla, Puebla. México, 2002.
- Gobierno del Distrito Federal. *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto*. Gaceta Oficial. México, D.F., 2004.
- Gobierno del Distrito Federal. *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*. Gaceta Oficial. México, D.F., 2004.
- Gobierno del Distrito Federal. *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo*. Gaceta Oficial. México, D.F., 2004.
- Gobierno del Estado de Guerrero. *Normas Técnicas Complementarias al Reglamento de Construcciones* *Diseño y construcción de estructuras de mampostería y Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo*. Periódico oficial, Chilpancingo, Guerrero, México, 1989.
- Gobierno del Estado de Guerrero. *Reglamento de Construcción para los Municipios del Estado de Guerrero*. Periódico oficial, Chilpancingo, Guerrero, México, 1994.
- ISIDRO, R. *Vulnerabilidad sísmica de unidades habitacionales en la ciudad de Chilpancingo, Gro.* Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Gro. México: pp. 96-105, 2003.
- SINGH, S. K. *et al.* *Seismic gaps and earthquakes along the Mexican Subduction zone. A reexamination* Bulletin Seismic Society of America, no. 71, USA, 1981.
- TEJEDA J. *et al.* *Evaluación del comportamiento estructural de la vivienda económica, en la zona conurbada Colima-Villa de Álvarez, durante el sismo de enero del 2003*. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Guerrero, México, 2004.
- VELAZQUEZ-DIMAS, J. I. *et al.* *Cyclic Behavior of Retrofitted URM Walls*. Second International Conference on Composites in Infrastructure, USA:, Tucson, Arizona, pp. 328-340, 1998.