



Volumen 5, Número 2. Abril-Junio 2014

Título del artículo.

**Diagnóstico del comportamiento observado en edificaciones durante el sismo de Zumpango, Guerrero, México, (Mw =6.5) del 11 de Diciembre de 2011 y propuestas para reducir la vulnerabilidad estructural**

Título del artículo en idioma Inglés.

**Diagnosis of behavior seen in buildings during the earthquake at Zumpango, Guerrero, Mexico (Mw = 6.5), December, 11<sup>th</sup> 2011, and proposals to reduce structural vulnerability**

Autores.

Roberto Arroyo Matus  
Sulpicio Sánchez Tizapa  
Celia Patricia Téllez Tapia  
Esteban Rogelio Guinto Herrera

Referencia bibliográfica:

MLA

Arroyo-Matus, Roberto, Sulpicio Sánchez Tizapa, Celia Patricia Téllez Tapia y Esteban Rogelio Guinto Herrera. " Diagnóstico del comportamiento observado en edificaciones durante el sismo de Zumpango, Guerrero, México, (Mw =6.5) del 11 de Diciembre de 2011 y propuestas para reducir la vulnerabilidad estructural." *Tlamati*. 5.2 (2014): 22-30. Print.

APA

Arroyo-Matus, R., Sánchez-Tizapa, S., Téllez-Tapia, C. y Guinto-Herrera, R. E. (2014). Diagnóstico del comportamiento observado en edificaciones durante el sismo de Zumpango, Guerrero, México, (Mw =6.5) del 11 de Diciembre de 2011 y propuestas para reducir la vulnerabilidad estructural. *Tlamati*, 5(2), 22-30.

---

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 29 de Junio del 2014.

© 2014 Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección General de Posgrado e Investigación

Dirección de Investigación

*TLAMATI*, es una publicación trimestral de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Dirección de Investigación de la UAG. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos previa cita de nuestra publicación.



## Diagnóstico del comportamiento observado en edificaciones durante el sismo de Zumpango, Guerrero, México, (Mw =6.5) del 11 de Diciembre de 2011 y propuestas para reducir la vulnerabilidad estructural

Roberto Arroyo Matus<sup>1\*</sup>  
Sulpicio Sánchez Tizapa<sup>1</sup>  
Celia Patricia Téllez Tapia<sup>2</sup>  
Esteban Rogelio Guinto Herrera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica de Ingeniería. Universidad Autónoma de Guerrero, Cd. Universitaria, Chilpancingo, Guerrero, C. P. 39001, Tel. 01 747 47 1 20 87, Ext. 114.

<sup>2</sup>Área Estructural, Sistema Estatal de Protección Civil, Secretaría de Seguridad Pública y Protección Civil, Gobierno del estado de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero 39022

\*Autor de correspondencia  
arroyomatus@hotmail.com

### Resumen

En este artículo se presenta una revisión del comportamiento observado en edificaciones durante el sismo del 11 de diciembre de 2011 en Guerrero, México (Mw =6.5) que afectó sus regiones Central y Norte, incluyendo centros urbanos importantes pero principalmente poblaciones rurales aledañas al epicentro. Aun cuando la magnitud del sismo puede ser considerada como mediana, se produjo daño estructural severo en algunas edificaciones históricas, en viviendas de adobe y sobre todo, en edificaciones recientes. Se establece la imperiosa necesidad de instituir un programa de rehabilitación y refuerzo, tanto en zonas urbanas como en zonas rurales de alto nivel de rezago social; así como la implementación de acciones en las obras en proceso de construcción.

Palabras Clave: Sismo-resistencia, diseño estructural, terremotos.

### Abstract

This article reviews observed behavior in buildings during the earthquake of December 11, 2011 at State of Guerrero, Mexico (Mw = 6.5). This earthquake affected Central and Northern regions of State of Guerrero, including major urban centers, but mainly rural populations surrounding earthquake's epicenter. Although magnitude of earthquake can be considered medium, there were severe structural damages to some historic buildings constructed with adobe bricks, and specifically in newly constructed buildings. There is an urgent need to institute a program of rehabilitation and strengthening of urban, and rural areas, and areas of high social gap. In the same way, an implementation of actions focused on strengthening works under construction is required

Key Words: Earthquake-proof structures, structural design, earthquakes.

### Como citar el artículo:

Arroyo-Matus, R., Sánchez-Tizapa, S., Téllez-Tapia, C. y Guinto-Herrera, R. E. (2014). Diagnóstico del comportamiento observado en edificaciones durante el sismo de Zumpango, Guerrero, México, (Mw =6.5) del 11 de Diciembre de 2011 y propuestas para reducir la vulnerabilidad estructural. *Tlamati*, 5(2), 22-30.

## Introducción

Por su ubicación geográfica en una de las brechas sísmicas de mayor peligro a nivel mundial, el estado de Guerrero se considera uno de los estados mexicanos con gran potencial de liberar súbitamente la energía sísmica acumulada por más de un siglo. Dicho estado se encuentra expuesto a sismos no sólo por la subducción debido al movimiento relativo de la placa de Cocos por debajo de la placa Norteamericana, sino también a sismos corticales de pequeña y mediana profundidad. De acuerdo a Hanks y Kanamori (1979), la escala sísmológica de magnitud de momento ( $M_w$ ) es una escala logarítmica usada para medir y comparar sismos y está basada en la medición de la energía total que se libera en un terremoto. En un lapso de 60 años, los sismos del 28 de julio de 1957 ( $M_w = 7.7$ ), 14 de marzo

de 1979 ( $M_w = 7.6$ ), 25 de octubre de 1981 ( $M_w = 7.4$ ), 7 de junio de 1982 ( $M_w = 7.7$ ), 21 de septiembre de 1985 ( $M_w = 7.6$ ) y 14 de septiembre de 1995 ( $M_w = 7.4$ ), ocurrieron dentro del territorio guerrerense, todos con magnitudes de momento ( $M_w$ ) superiores a 7.

Una de las poblaciones urbanas que presenta el mayor riesgo sísmico es precisamente Chilpancingo, Guerrero, México con coordenadas  $17^{\circ}09'25''N$   $99^{\circ}22'16''$ , en donde las aceleraciones del terreno se esperan pudieran ser superiores al 70% de la aceleración de la gravedad (Comisión Federal de Electricidad [CFE], 2008) y en la que se ha detectado vulnerabilidad estructural elevada (Arroyo Matus, 2011). Históricamente, el sismo que provocó los mayores daños en esta ciudad fue el del año de 1957 (véase figura 1).



Figura 1. Edificios colapsados en Chilpancingo, Guerrero tras el sismo de 1957. Fuente: Fototeca UAGro, 2011

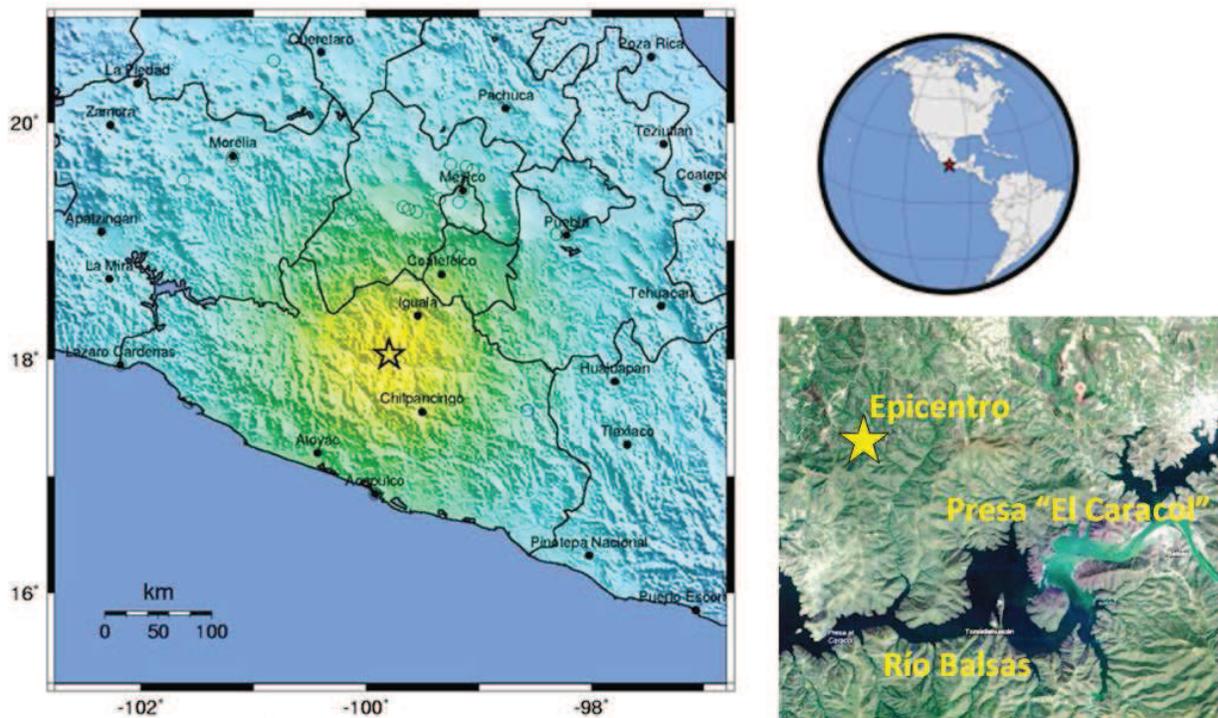


Figura 2. Ubicación del evento principal del sismo del 11 de diciembre de 2011 (USGC, 2011)

Tabla 1

Estimación de daños en la infraestructura física del Estado de Guerrero (SEPC, 2012)

| Sector                | Afectaciones  | Costo de la reconstrucción <sup>1</sup><br>(Miles de pesos) | Aportación federal (%) | Aportación estatal (%) | Observaciones                    |
|-----------------------|---|---|------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Vivienda              | 685   | \$18,600  | 50                     | 50                     | Cuenta con seguro para desastres |
| Educativo             | 30 escuelas federales y 10 estatales                  | \$9,400   | 95.74                  | 4.26                   | No está asegurado                |
| Salud                 | 9 unidades médicas, 5 centros de salud y 4 hospitales | \$16,000  | 50                     | 50                     | No está asegurado                |
| Monumentos Históricos | 3 Museos y 33 templos                                 | \$26,000 <sup>2</sup>                                       | 100                    | 0                      | 60% no está asegurado            |

<sup>1</sup> Monto estimado<sup>2</sup> Los proyectos ejecutivos y presupuestos continúan en proceso de elaboración.

El día sábado 10 de diciembre de 2011, a las 19:47:26 hora local (UTC-6) ocurrió un sismo en los alrededores de la hidroeléctrica “El Caracol” ubicada a 62 km al noroeste de Chilpancingo, Guerrero, México (véase figura 2).

De acuerdo con la Agencia Geológica de los Estados Unidos [United States Geological Survey] (USGS, 2011), el epicentro se ubicó a 18.04° latitud norte y 99.80° longitud oeste, teniendo una profundidad focal de 64.9 km con una magnitud sísmica (Mw) de 6.5 (sismo de magnitud mediana). De acuerdo al Sistema Estatal de Protección Civil (SEPC, 2012), este sismo produjo la muerte de 4 personas. Además, de un total de 81 municipios, 22 presentaron afectaciones de infraestructura en los sectores de vivienda, educativo, salud y monumentos históricos (véase tabla 1).

El costo estimado de las reconstrucciones ascendió a 70 millones de pesos (SEPC, 2012). En el caso de Chil-

pancingo, los daños moderados y severos se concentraron principalmente a lo largo de una franja de zonas aledañas al cauce del Huacapa, río que atraviesa la ciudad del noroeste al sureste (véase figura 3).

### Metodología

A raíz de este sismo, diversos grupos de investigadores, técnicos e ingenieros de la práctica del estado de Guerrero, realizaron visitas de campo durante el mes de diciembre de 2011 a febrero de 2012 para evaluar el comportamiento de varias estructuras después del evento. Los tipos de daños que se presentan a continuación, corresponden a registros efectuados en la región centro y norte del estado de Guerrero, México (Chilpancingo, Apaxtla, Zumpango e Iguala), así como comunidades rurales aledañas al epicentro. En el desarrollo de este trabajo se aplicó una metodología mixta en la que se empleó la observación directa, el análisis

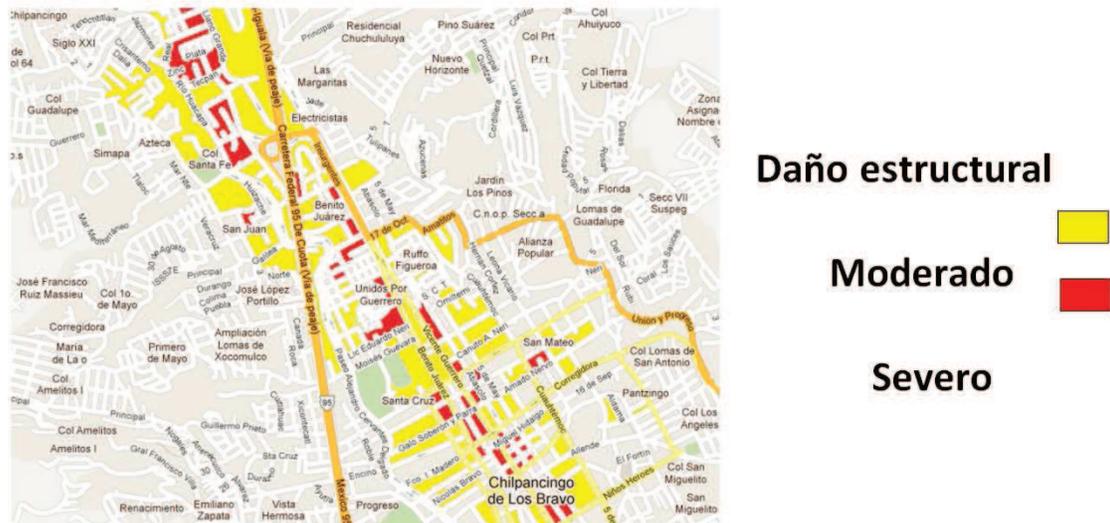


Figura 3. Manzanas en las que las edificaciones presentaron daño estructural moderado y severo en la Ciudad de Chilpancingo, Guerrero (Arroyo Matus, 2011)

sis y síntesis de la información así como la búsqueda de la convergencia y la corroboración de los resultados obtenidos.

### Resultados

En la comunidad de Apaxtla de Castrejón, Gro; con coordenadas 18°08' 00"N 99°56' 05"O y situada a 20 km del epicentro, se detectaron daños severos en 5 viviendas de mampostería y 63 viviendas de adobe. De estas últimas, 35% presentó agrietamiento en esquinas debido al amarre deficiente entre los muros, con grietas desde el techo hasta la cimentación (véase figura 4a). Además, 24% presentó grietas en esquinas de aberturas (véase figura 4b). El 9% tuvo grietas verticales en el centro de los muros (véase figura 4c).

El edificio del Museo Regional de Chilpancingo, de un

solo entrepiso, posee una escasa densidad de muros en la dirección norte-sur, y un terremoto en 1906 provocó el colapso parcial de la unión que conforma la esquina noroeste; en el encuentro de las alas norte y poniente (véanse figuras 5a y 5b).

Tras el recorrido de las instalaciones del museo, se pudo corroborar daño significativo en esta zona (véase figura 6a), pero también algunos graves en otras partes del edificio (véanse figuras 6b y 6c).

El edificio del Palacio de la Cultura, fue construido a principios de la década de los setenta al poniente del zócalo de la Ciudad de Chilpancingo (véase figura 7a). La estructura original, de estilo modernista, fue concebida con flexibilidad elevada. En 1984 se iniciaron las obras para modificar el estilo arquitectónico original por un estilo romano más robusto y acorde con la arquitectura de los edificios



Figura 4. Agrietamientos: a) esquinas de muros, b) esquinas de vanos, y c) zona central de muros. Fotografías: R. Arroyo Matus

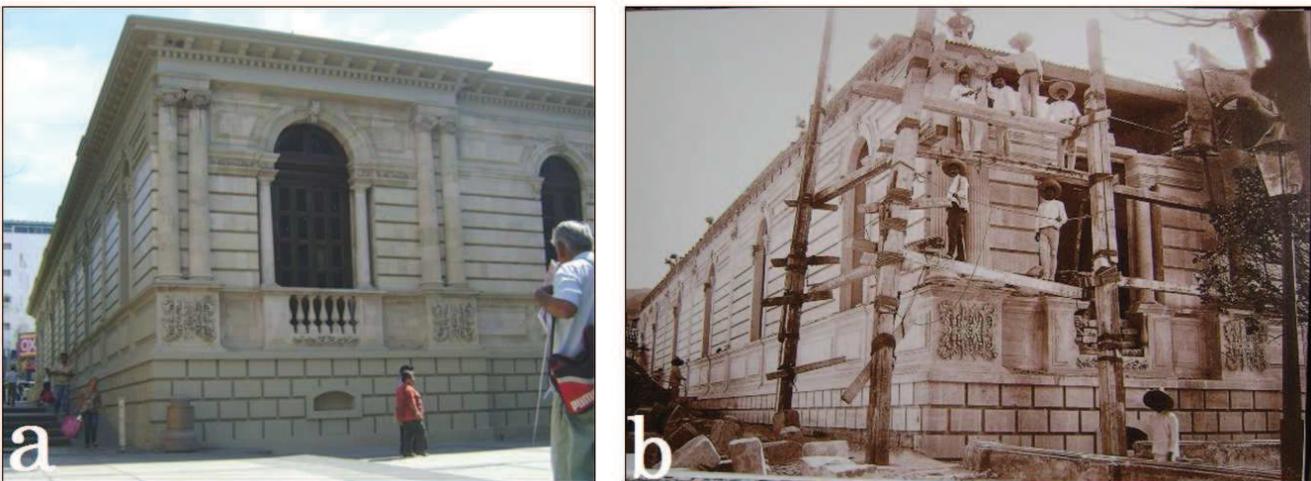


Figura 5. a) Museo Regional de Guerrero, Zócalo de Chilpancingo, Gro. Fotografía: R. Arroyo Matus y b) Obreros participantes en la reconstrucción de la esquina noreste, colapsada parcialmente durante el terremoto de 1906. Fotografía: Exposición temporal de William Niven "Explorador y aventurero", Coordinación Nacional de Antropología, INAH



Figura 6. Daños en el Museo Regional de Guerrero: a) Agrietamiento severo por cortante en dinteles y muros de mampostería. Esquina noreste, muro interior. b) Agrietamiento severo por cortante, con pérdida de recubrimiento, en traveses del corredor noreste, y c) Agrietamiento severo de cortante en la fachada norte, producido por el desacoplamiento de sus alas oriente y norte. Fotografías: R. Arroyo Matus.



Figura 7. Fachada principal del Palacio de la Cultura; a) 1990. Fotografía: H. Suástegui Salmerón, b) 2012. Fotografía: R. Arroyo Matus y c) Agrietamiento por torsión de traveses de la fachada norte, inducidas por la flexión excesiva de losas planas, Palacio de la Cultura. Fotografía: R. Arroyo Matus.

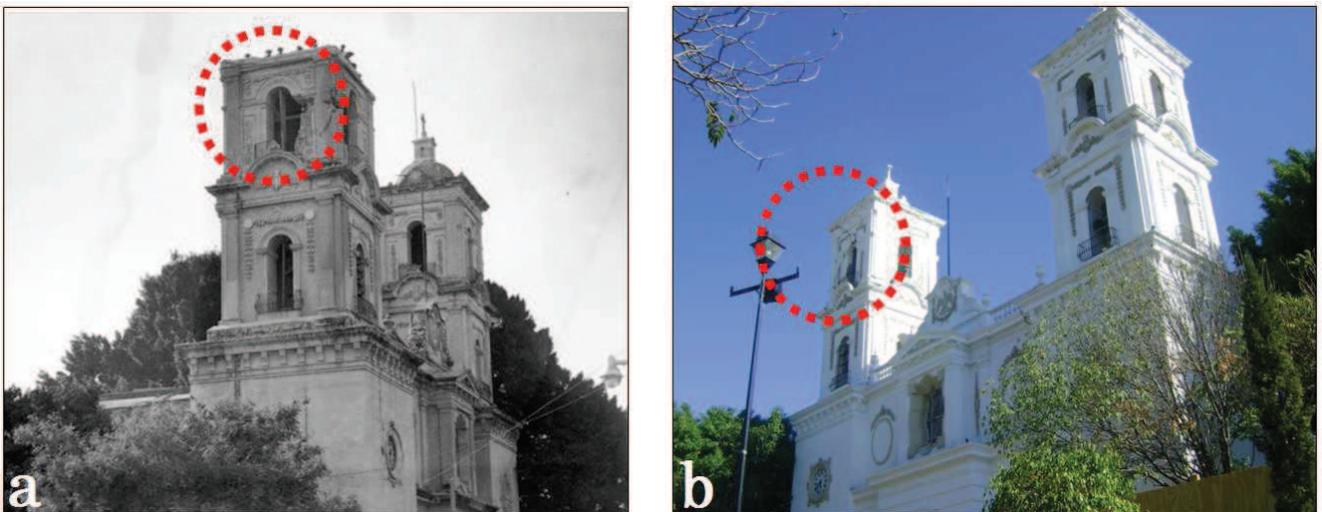


Figura 8. Catedral de Sta. María de la Asunción, en el Zócalo de Chilpancingo, Gro. a) Daños en la torre norte tras los sismos de 1957. Fotografía: Fototeca UAGro, y b) 2011. Fotografía R. Arroyo Matus.

contiguos al zócalo (véase figura 7b). A raíz de los terremotos de 1985 y 1995, y debido a su alta flexibilidad, los daños de la estructura fueron severos, recomendándose la demolición de los tres últimos entresijos y la reparación integral de todos los daños. Sin embargo, aun cuando la masa de la estructura disminuyó drásticamente, el sismo de diciembre de 2011 volvió a evidenciar su vulnerabilidad: Algunas de las traveses principales perimetrales del tercer entresijo experimentaron un daño severo por torsión, con anchos de grietas de entre 0.8 y 2.4 mm (véase figura 7c).

El templo católico de Santa María de la Asunción (véase figura 8), fue construido a mediados del siglo XVI. Tiene un gran valor histórico pues fue sede del Primer Congreso de Anáhuac, encabezado por el Gral. José María Morelos y Pavón. La estructura original, a base de adobe,

se colapsó de manera parcial y se demolió tras el terremoto de 1902. Algunos años después se inició la construcción, en el mismo lugar, del templo (véase figura 8). La torre izquierda se derrumbó parcialmente con el sismo de 1957 y con el sismo de 1985, la torre derecha sufrió daños graves, por lo que fueron reparadas tras esos eventos.

Con el sismo de diciembre de 2011 se presentaron agrietamientos en las bases y en las claves de los arcos de los dos campanarios; severos en la torre derecha y moderados en la torre norte. Aparecieron fuertes agrietamientos en el frontispicio, en la parte superior de los arcos y en la parte frontal de la bóveda de la nave principal (véase figura 9a y 9b). También se presentaron daños graves en la base de las torres de los templos de los barrios de San Antonio y San Mateo, ambos construidos hacia la segunda década del siglo XIX (véase figura 9c).



Figura 9. Templo de la Asunción a) Detalles de daño en los recubrimientos de la torre norte. Fotografía: P. Catalán Quiroz, b) en la cubierta abovedada. Fotografía: R. Arroyo Matus y c) Templo de San Antonio con daño por flexión en la base de las columnas de los arcos. Fotografía: SEPC



Figura 10. Edificio del Palacio de Justicia, a) año 1972. Fotografía: Fototeca UAGro, y b) año 2012. Fotografía: R. Arroyo Matus

El caso del edificio del Palacio de Justicia, localizado en el norte del Zócalo de Chilpancingo es un claro ejemplo, muy representativo, de que edificios similares concebidos a principios de los setenta del siglo pasado, eran y siguen siendo a la fecha muy vulnerables y excesivamente flexibles (véase figura 10a).

Aun cuando su apariencia exterior fue modificada a mediados de la década de los ochenta con columnas circulares con el doble del diámetro original, el desempeño de este edificio durante el sismo de diciembre de 2011 no fue satisfactorio pues presentó daños severos. Por otro lado, en varios edificios de Chilpancingo se observaron daños generalmente asociados a entrepisos con baja densidad de muros, principalmente en planta baja; o a entrepisos excesivamente débiles, así como a los efectos del golpeteo entre estructuras colindantes.

Se observan los detalles y se



Figura 11. a) Agrietamientos por cortante en planta baja con baja densidad de muro, b) golpeteo entre estructuras colindantes con separación inadecuada en Chilpancingo. Fotografías: Elidio Hernández, c) y d) daños por cortante y torsión en vivienda en esquina con baja densidad de muros en planta baja en Chilpancingo, Gro. Fotografías: SEPC



Figura 12. a) y b) Daños por cortante en muros de mampostería en vivienda típica de mampostería, y en columnas cortas. Edificio de la Secretaría de Desarrollo Social Federal en la ciudad de Chilpancingo. Fotografías: Elidio Hernández, c) Mampostería deficientemente confinada y d) con instalaciones sanitarias al interior de los castillos, en Chilpancingo, Gro. Fotografías: José Luis Hernández Rodríguez



Figura 13. a) Separaciones de muros divisorios de los marcos de concreto, b) fisuras por cortante, c) Daño moderado por tensión diagonal en muros de mampostería y d) por desprendimiento del extremo superior en muros divisorios, en el Centro de Chilpancingo, Gro. Fotografías: SEPC

muestran algunos daños estructurales detectados en diferentes edificios de Chilpancingo (véase figuras 11 a 16).

### Conclusiones

El análisis de la información recabada permite concluir la urgencia de implementar un programa de tipo social a nivel federal que abata la alta vulnerabilidad de la vivienda de adobe a través de un programa de refuerzo y rehabilitación de bajo costo pero de alta efectividad, que garantice una mayor ductilidad y resistencia en los muros de este tipo de vivienda. El empleo de mallas a base de tela de gallinero y aplanados de alta calidad puede lograr este objetivo. En el caso de las estructuras con elementos de concreto reforzado o a base de mampostería confinada, se detectaron algunas deficiencias estructurales y procesos constructivos deficientes. Por estos motivos, es sumamente importante garantizar que las dependencias municipales encargadas de la autorización de las nuevas construcciones o de la rehabilitación y refuerzo de las existentes, sometan a una revisión estricta a la información técnica que acompaña a las solicitudes de licencia de construcción. En el

caso de las edificaciones existentes, debe aplicarse una evaluación básica preventiva que permita definir su nivel de seguridad estructural actual y la necesidad de emprender o no un proceso de rehabilitación y/o refuerzo. El pobre desempeño sísmico de algunas edificaciones, construidas principalmente de forma reciente, sugiere adecuaciones no precisamente a la normatividad sino a la forma en que ésta se aplica y se le da seguimiento. Entre los cambios necesarios que se proponen se encuentran:

- 1) Acatar, durante el proceso de diseño, análisis, construcción y mantenimiento de las edificaciones, las recomendaciones de la norma de construcción vigente;
- 2) Incorporar, por parte de las autoridades de desarrollo urbano municipal y estatal, la exigencia de una supervisión detallada, registrada en bitácora, durante la construcción de todo tipo de edificación;
- 3) Exigir adicionalmente, al término de una obra -y como requisito para autorizar su ocupación-, una póliza de seguro ante sismo. De esta forma, el personal técnico de las aseguradoras verificaría adicionalmente que la edificación cumpla con estándares de calidad y seguridad estructural mínimos.



Figura 14. a) Acumulación excesiva de material y archivos en entresijos, b) daño en muro de mampostería, y c) junta inadecuada entre piezas de mampostería. Edificio Telecomm, Chilpancingo. Fotografías: Tizoc Calleja



Figura 15. a) y b) Colapso de muro de fachada del cuarto entresijo deficientemente confinado, sobre un vehículo del servicio público. (Fotografías: Wenceslao Hernández, y c) daños en mampostería sin confinar (Fotografía: J. L. Hernández R.

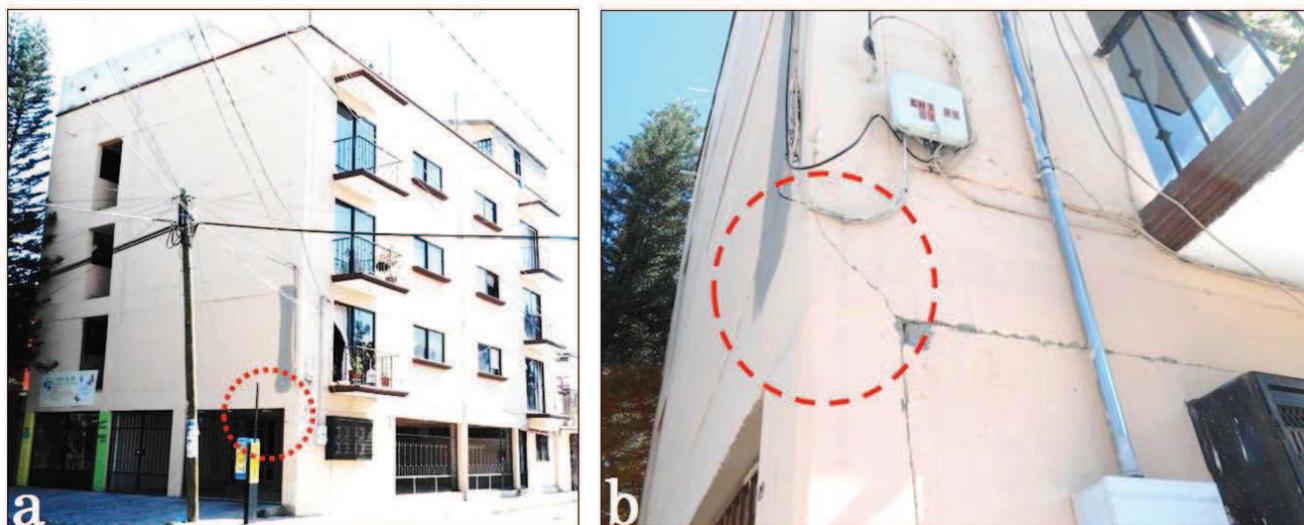


Figura 16. Falla en unión viga columna en edificio reciente con planta baja flexible. Fotografías: Jesús Santos Bautista

### Agradecimientos

Las inspecciones realizadas fueron realizadas de manera conjunta por el Colegio de Ingenieros Civiles Guerrerenses, A. C., profesores de la Unidad Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAI-UAGro) y personal de los sistemas estatal y municipal de Protección Civil de Chilpancingo, Iguala y Acapulco, Guerrero. A todos ellos, expresamos nuestro más sincero agradecimiento.

### Referencias

Arroyo Matus, R. (2011), Reporte preliminar de daños del sismo de Zumpango, Gro. del 10 de diciembre de 2011. *Serie: Reportes internos de investigación*. Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo, México.

Comisión Federal de Electricidad. (2008). *Manual de Obras Civiles. Diseño por sismo*. México.

Hanks, T. C., Kanamori, H. (1979). A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research*. 84(B5), 2348-50

Sistema Estatal de Protección Civil. (2012). *Reporte de daños producidos a la infraestructura del estado de Guerrero por el sismo de Diciembre de 2011*. Sistema Estatal de Protección Civil. Secretaría de Seguridad Pública y Protección Civil, Gobierno del Estado de Guerrero, México.

United States Geological Survey [*Encuesta Geológica de los Estados Unidos de América*]. (2013, Marzo, 2). *Sismo de Zumpango, México 11 de diciembre de 2011*. Obtenido de [http://comcat.cr.usgs.gov/earthquakes/eventpage/pde20111211014725900\\_54#technical](http://comcat.cr.usgs.gov/earthquakes/eventpage/pde20111211014725900_54#technical)