

**INFORME RÁPIDO AL EERI, SMIS, CENAPRED Y GIIS SOBRE EL SISMO DE
COLIMA, MÉXICO
21 DE ENERO 2003**

Equipo EERI

Richard E. Klingner, The University of Texas at Austin
Paul J. Flores, ABS Consulting
Anna F. Lang, Tipping-Mar & Associates
Adrián Rodríguez-Marek, Washington State University

Equipo CENAPRED / SMIS

Sergio Alcocer, Director de Investigación
Roberto Durán Hernández, Investigador
Leonardo Flores Corona, Investigador
Carlos Reyes Salinas, Subdirector de
Ingeniería Estructural y Geotecnia

Equipo GIIS / SMIS

Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
Hugón Juárez García, Profesor Titular
Emilio Sordo Zabay, Jefe del Departamento de Materiales
José Juan Guerrero Correa, Jefe del Área de Estructuras
Mario S. Ramírez Centeno, Profesor Titular
Alonso Gómez Bernal, Profesor Titular
Tiziano Perea Olvera, Profesor Asociado
Eduardo Arellano Méndez, Profesor Asociado

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente
Rafael Martín del Campo, Profesor

Universidad Autónoma del Estado de México
Horacio Ramírez de Alba, Profesor
Raúl Vera Noguez, Profesor
Sandra Miranda Navarro

Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo
José Manuel Jara Guerrero, Profesor

Prefacio

El martes 21 de enero 2003, a las 8:06 de la noche (hora local), la región costera mexicana cercana a Manzanillo fue sacudida por un sismo fuerte. Al enterarse del hecho, el EERI (Earthquake Engineering Research Institute), el CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), la SMIS (Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica), y el GIIS (Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica), en forma individual primero, y en forma conjunta después, comenzaron las labores de reconocimiento.

En el CENAPRED, el día miércoles 22 de enero, se formó un grupo integrado por cuatro investigadores del CENAPRED. El grupo se encabezó por el Dr. Sergio Alcocer (Director de Investigación), e incluyó también a Roberto Durán Hernández (Investigador), Leonardo Flores Corona (Investigador) y Carlos Reyes Salinas (Subdirector de Ingeniería Estructural). Este equipo

representó también a la SMIS. En la mañana del día 22, el grupo se trasladó a la ciudad de Colima, y comenzó los trabajos de reconocimiento y evaluación de daños.

En el EERI, el día miércoles 22 de enero, se comenzaron los preparativos para el envío de un equipo de reconocimiento. El equipo lo encabezó el Prof. Richard E. Klingner (University of Texas at Austin, especialista en estructuras), y se integró por el Lic. Paul J. Flores (ABS Consulting, Los Ángeles, California, especialista en mitigación de desastres), la Ing. Anna F. Lang (Tipping – Mar & Associates, Berkeley, California, especialista en estructuras), y el Prof. Adrián Rodríguez-Marek (Washington State University, especialista en geotecnia). Klingner, Flores y Lang llegaron a Colima por la noche del jueves 23 de enero; Rodríguez-Marek llegó por la mañana del domingo 26 de enero. Al llegar, el equipo de EERI se puso en contacto con el equipo del CENAPRED/SMIS, y se unieron al trabajo conjunto.

El miércoles 22 de enero, el Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica (GIIS) realizó los preparativos, y nombró un equipo encabezado por el Prof. Hugón Juárez (Universidad Autónoma Metropolitana de Azcapotzalco). El equipo llegó el jueves 23 a Colima, Col. El equipo del GIIS visitó los municipios de Colima, Villa de Álvarez, Comala, Tecomán y Aremería, en el estado de Colima. En Jalisco, visitó, entre otros, las localidades de Ciudad Guzmán, Melaque, Barra de Navidad y Cihuatlán, poblados que resultaron dañados en el sismo de 1995. Los resultados de las observaciones serán incorporadas en el informe extenso que se preparará conjuntamente entre la SMIS y el EERI.

Al llegar a Colima, se notaron de inmediato algunos efectos del sismo (Figura 1).



Figura 1 Daños a las cruces de la Catedral, Colima

En los días siguientes, los equipos llevaron a cabo un reconocimiento básico de los efectos del sismo, concentrándose en la respuesta de estructuras y suelos, y también en el funcionamiento de los medios de respuesta, en varios niveles, del gobierno mexicano. Se visitaron los municipios de

Colima, Manzanillo, Comala, Coquimatlán, Villa de Álvarez, Ixtlahuacán, Tecomán y Armería, que se indican en la Figura 2.

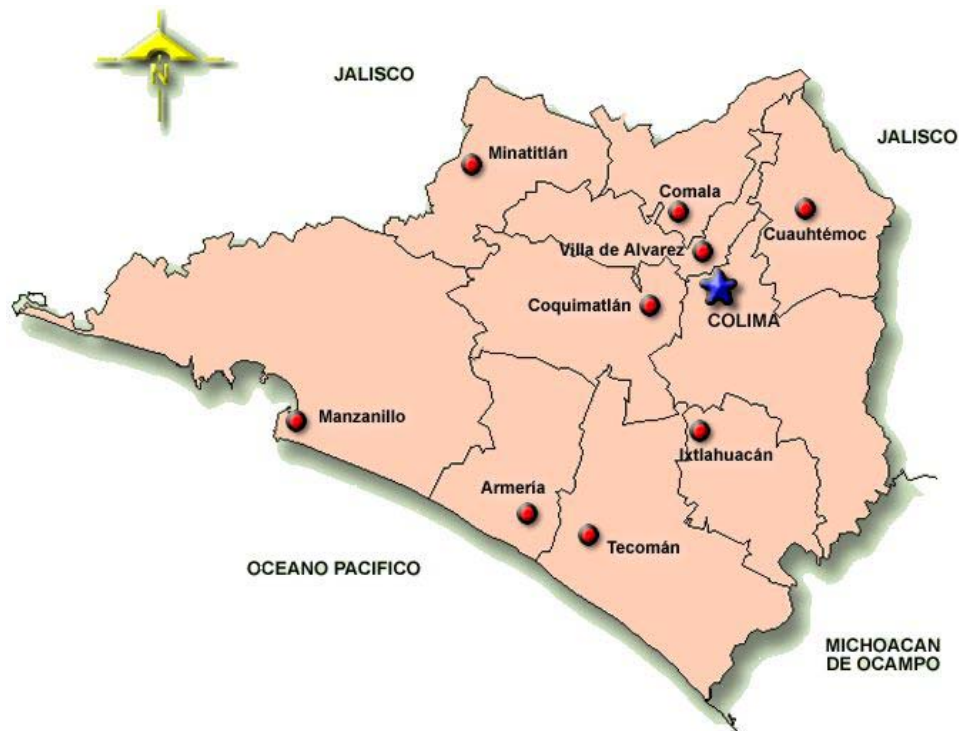


Figura 2 Mapa general de la región visitada (sitio Web, INEGI)

El almacenamiento, respaldo e intercambio de datos se agilizaron mediante un sistema uniforme de organización de archivos. Luego de comparar reflexiones preliminares sobre lo observado por los miembros de los equipos combinados, se identificaron varios asuntos esenciales, que podrían servir de puntos de enfoque para la difusión posterior del significado técnico del sismo. Los asuntos esenciales fueron los siguientes:

- el contraste aparente entre la elevada magnitud del sismo, y el nivel general de daños;
- los efectos locales por las condiciones del subsuelo;
- una jerarquía evidente de la vulnerabilidad estructural, con base en material de construcción, configuración estructural, y ubicación;
- una jerarquía evidente de métodos de construcción, con su correspondiente jerarquía de daños estructurales;
- una coherencia evidente en la respuesta organizada de los varios niveles del gobierno mexicano, por cuantificar los efectos del terremoto, y tomar medidas iniciales de mitigar los efectos de ello sobre la población afectada;

Al reflexionarse más, se le ocurrió también al equipo, la importancia de dos asuntos más, que se presentaron en forma de preguntas:

- ¿Cuál sería la mejor manera de combinar lecciones anteriormente aprendidas, con las nuevas lecciones aprendidas de este sismo, y aplicarlas al proceso de reconstrucción y rehabilitación sísmica de estructuras dañadas?
- ¿Cuál sería la mejor manera de identificar las nuevas lecciones aprendidas de este sismo, y transferir la subyacente tecnología correspondiente, a las entidades responsables en los EEUU y en México?

Los propósitos de este informe rápido son presentar los puntos esenciales, y algunas reflexiones preliminares sobre ellos, y sentar las bases para un informe conjunto de mayor alcance y profundidad, por publicarse en el futuro no lejano. Este informe rápido fue escrito en forma conjunta por los miembros de los equipos combinados de CENAPRED / SMIS, GIIS / SMIS y del EERI. En apoyo al convenio recién firmado entre el EERI y el SMIS, se dirige a los dos entes en dos versiones idénticas, una en inglés, y la otra en castellano.

Datos Básicos (USGS NEIC)

Fecha y hora: 2003-01-22, 02:06:31 UTC (hora universal)
2003-01-21, 20:06:31 hora local

Magnitud: M_w 7.8, M_s 7.6 (SSN-UNAM)

Referencias: 60 km al sur-sur-oeste de Colima, Colima, México
60 km al este-sur-este de Manzanillo, Colima, México
110 km al sur-sur-oeste de Ciudad Guzmán, Jalisco, México
500 km al oeste de México, DF, México

Las ubicaciones epicentrales del evento mayor y de las réplicas principales se indican en forma gruesa en la Figura 3. Se nota la ubicación dentro de una brecha sísmica carente de sismos en años recientes.

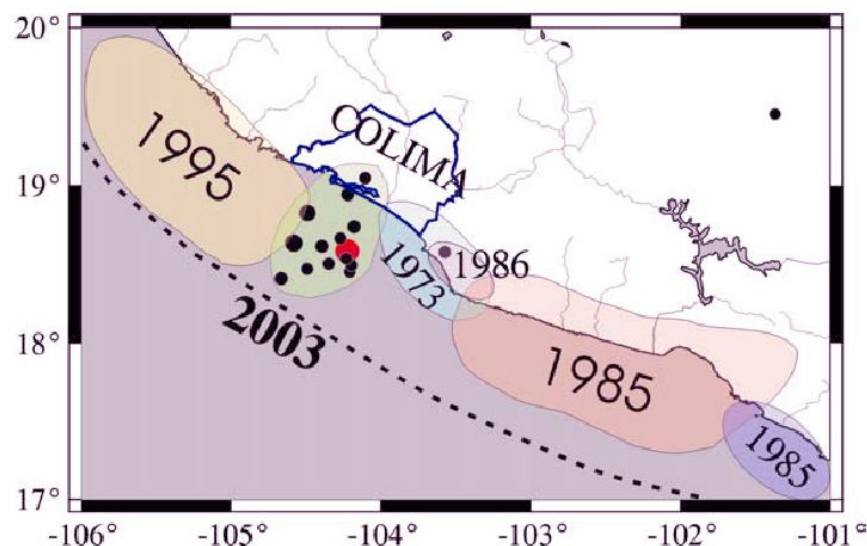


Figura 3 Ubicaciones epicentrales del evento mayor y réplicas principales (sitio Web, Servicio Sismológico Nacional, UNAM)

Hasta la fecha, no se ha podido averiguar sobre la existencia de registros locales de aceleraciones. Había una red de sismógrafos bajo la supervisión de especialistas de la Universidad de Colima, pero aparentemente se usaban solamente para monitorear el Volcán Colima. En la fecha de este informe rápido, no se dispone de registros cercanos.

Bosquejo de Efectos Regionales del Sismo

Para el 25 de enero 2003, los efectos del sismo pueden desglosarse como siguen:

- 17 muertos confirmados
- Al menos 500 lesionados (esta cifra es muy incierta, pues no ha sido recopilada sistemáticamente ni revisada). En el Municipio de Tecomán, el Presidente Municipal nos indicó tener datos específicos de los lesionados por el tipo y causa de lesión.
- En todo el estado de Colima, se han reportado 13,493 estructuras residenciales con algún nivel de daño. Los informes provienen de una inspección rápida visual, y entonces sirven de base para la asignatura de inspectores organizados y entrenados por el Colegio de Arquitectos e Ingenieros Civiles en Colima.
- De las 13,493 estructuras, 11,008 han sido inspeccionadas, con los siguientes resultados oficiales:
 - 2,728 daño total
 - 4,150 daño parcial
 - 4,131 idóneas para uso continuado
- Los militares han establecido 56 puestos de emergencia para dotar de comida, auxilios médicos e información pública.
- 600 estructuras en donde funcionaban negocios pequeños a medianos, sufrieron algún nivel de daño.

Las cifras de arriba fueron confirmadas por las autoridades del Sistema Estatal de Protección Civil, quienes notaron que tal vez, el número de estructuras dañadas aumentará, a medida que los colegios de profesionistas avancen en las inspecciones. Varias poblaciones no han sido inspeccionadas todavía.

Contraste Aparente entre Magnitud e Intensidad

A simple vista, se deberían esperar más daños de un sismo de magnitud M_w 7.8. Sin embargo, la relación de atenuación de Youngs *et al.* sugiere aceleraciones pico entre el 0.10 y el 0.15 g para un evento con distancias epicentrales de unos 60 km. y una profundidad focal de unos 10 km. Tal nivel de aceleraciones es compatible en general con el nivel de daños observados.

Observaciones Geotécnicas

En Manzanillo, se notó asentamiento general de suelo en el estacionamiento cerca del viejo Muelle Fiscal (Figura 4). Según las autoridades locales, el suelo había sido compactado originalmente. Informes de posibles daños al Puente Coahuayana, al sur-este de Manzanillo, no se habían confirmado para la fecha de este informe.



Figura 4 Asentamiento en estacionamiento, Muelle Municipal, Manzanillo

En la autopista que va entre Manzanillo y Colima, hubo derrumbes (Figura 5).



Figura 5 Derrumbes en Autopista 110 entre Manzanillo y Colima

En la salida del autopista hacia Colima, el puente a desnivel sufrió daños en los topes sísmicos que limitaban el movimiento transversal de las vigas del puente con respecto a sus apoyos (Figura 6).



Figura 6 Daños a puente

En Villa de Álvarez, una zona residencial al nor-oeste del casco urbano de Colima, se presentaron asentamientos y huecos, que podrían deberse a causas naturales, o, según los vecinos, a la presencia de viejas minas de arena en el área (Figura 7, Figura 13).



Figura 7 Asentamiento local de suelos, Villa de Álvarez

Jerarquía de Vulnerabilidad Estructural

En nuestro informe siguiente, se reportará sobre daños a estructuras específicas. Para el propósito de este informe rápido, el daño ha sido clasificado según el material de construcción: acero; concreto reforzado; mampostería confinada; mampostería no reforzada; y adobe. En esta sección, el comportamiento general de cada tipo de construcción se describe. Las observaciones de los daños se usan para extraer conclusiones generales sobre la vulnerabilidad estructural.

Desempeño de Estructuras de Acero

Se observó solamente una estructura de acero en Colima: una área grande de almacenamiento, la mitad de la cual se cubría de un techo apoyado sobre perfiles de acero, y la otra mitad, por armaduras pesadas de madera. Debido a un corto circuito después del sismo, la parte del techo apoyado sobre armaduras se quemó y se vino abajo. La parte apoyada por perfiles pareció sin daños.

Desempeño de Estructuras de Concreto Reforzado

Se hicieron las siguientes observaciones sobre estructuras de concreto reforzado en y alrededor de Colima:

- Estructuras comunes de concreto reforzado tienen cuatro pisos como máximo, tal vez debido a requisitos por instalación de ascensores en edificios con más pisos.
- Se desconoce el nivel de detallado dúctil.
- Fachadas con aplanado y azulejos son más comunes, y se adhieren a la estructura subyacente con mortero, sin anclaje mecánico.
- La práctica común es colocar muros diafragma de tabique no reforzado dentro de las crujías de los marcos. Es característico que los tabiques no tengan refuerzo ni una conexión mecánica al marco que los rodea.

Los daños globales en estructuras de concreto reforzado fueron menores. El daño más comúnmente observado fueron fisuras por cortante de ancho reducido en muros, y desconchamiento en conexiones viga-columna. La mayoría de estos edificios eran instalaciones públicas, y por lo tanto, posiblemente fueron construidas con un nivel más alto de supervisión en el diseño y la construcción. La mayoría de estos edificios parecía ser reparable.

Desempeño de Estructuras de Mampostería

La mayoría de las estructuras de mampostería fueron hechas con piezas sólidas de arcilla cocida, aunque unas pocas usaban piezas sólidas de concreto (*tabicón*). No se observaron piezas huecas de concreto del tipo que se usa en los EEUU, ni tampoco piezas huecas de arcilla cocida, con perforaciones horizontales, ni verticales (extruidas).

Las estructuras comunes de mampostería se construyen de la siguiente manera:

- Los muros son simples o dobles (sin cavidad intermedia), con 20-100 mm (1-4 pulg.) de mortero entre hiladas.
- Los muros se recubren con aplanados de aproximadamente 30 mm (1 pulg.) de mortero o yeso en las dos caras, aplicado directamente a la mampostería sin milla ni anclaje mecánico.
- La mampostería se coloca con un aparejo cuatrapeado, sin piezas transversales en el caso de muros dobles (es decir, los paños de los muros están adosados).
- Las dalas de cerramiento generalmente no se encuentran en el nivel de los diafragmas horizontales, pero elementos de madera se usan de vez en cuando para este propósito.
- Los dinteles sobre aberturas generalmente son de madera, aunque a veces se usan arcos de mampostería.
- En viviendas de un piso los techos generalmente se construyen de troncos o ramas medianas de madera. Ramas adicionales se usan para apoyar tejas de arcilla cocida o láminas metálicas. Los elementos del techo normalmente no se conectan a las dalas ni a los muros de carga. En viviendas de más de un piso se usan losas de concreto reforzado, macizas o prefabricadas.
- La cimentación es una zapata continua desplantada unos 0.4 m bajo la superficie, y con escarpe. Consiste de mampostería ciclópea (piedra grande, en una matriz de piedras pequeñas, arena y cemento portland).

Estructuras de Mampostería Confinada

La mampostería, tal y como se usa comúnmente en la América Latina, consiste de tableros de mampostería no reforzada, que típicamente miden 1 a 2 metros en cada dirección, y que se unen por elementos horizontales y verticales de concreto reforzado, que se cuelan en sitio después de colocar la mampostería. Tales elementos confinantes generalmente son cuadrados en sección, con dimensiones iguales al espesor de la mampostería. Normalmente se refuerzan con cuatro barras #3 (9 mm), y refuerzo transversal de alambón (alambre grueso). La continuidad estructural entre la mampostería y los elementos confinantes normalmente se obtiene mediante trabazón mecánica entre la mampostería y el concreto colado en sitio. Los elementos confinantes sirven al mismo propósito que las vigas continuas de amarre y las celdas verticales que se usan en la mampostería reforzada en los EEUU. Generalmente se colocan horizontalmente arriba y debajo de aberturas, y verticalmente en intersecciones de muros y en el perímetro de aberturas. Los muros confinados de mampostería normalmente se construyen con elementos horizontales de concreto reforzado en sus bordes inferiores y superiores. Los bordes normalmente no se conectan mecánicamente a la cimentación ni al techo, respectivamente, y se anclan a la mampostería solamente a través de las conexiones entre los elementos confinantes horizontales y verticales. La fisuración era común entre la mampostería y estos elementos confinantes.

Estructuras de mampostería confinada se comportaron mejor en el sismo que las de mampostería no confinada y las de adobe. A menudo se observaron fisuras entre la mampostería y los elementos confinantes, y estos a veces fallaron cuando el número y la disposición de dichos elementos no era adecuada.

Estructuras de Mampostería No Reforzada

Las estructuras de mampostería no reforzada se construyen sin elementos confinantes ni horizontales ni verticales. Pueden tener dinteles de concreto reforzado colados en sitio, pero la madera es más común. La resistencia y rigidez inicial de tales estructuras, puede aumentarse por aplanados.

Los daños observados en estructuras de mampostería no reforzada pueden describirse de forma siguiente (Figura 8):

- Muros que fallaron fuera de plano debido a la falta de conexión mecánica entre el borde superior del muro y el diafragma del techo o piso elevado, en combinación con una resistencia inadecuada fuera de plano debido a la falta de refuerzo.
- Fallas por corte en el plano podrían ocurrir por separado, o en combinación con fallas fuera de plano. Los aumentos en rigidez y resistencia en el plano debido a los aplanados de mortero se pierden a medida que el aplanado se desconchaba por falta de anclaje mecánico. Debido a la ausencia de refuerzo, fallas combinadas en y fuera del plano condujeron, a menudo, al colapso de muros y estructuras.



Figura 8 Daños comunes en la mampostería no reforzada

Desempeño de Estructuras de Adobe

La construcción de adobe es muy semejante a la de mampostería no reforzada. La cimentación corrida se construye unos 0.5 m bajo la superficie, y consiste en mampostería ciclópea (piedra grande, en una matriz de piedras pequeñas, arena y cemento portland). En lugar de una viga de cimentación de concreto armado (como en el caso de la mampostería no reforzada), los adobes se colocan directamente encima de un lecho de mortero, sin refuerzo ni anclaje. Las estructuras de

adobe comúnmente tienen dinteles de madera, y pueden tener elementos confinantes horizontales y verticales de madera.

En algunos lugares, tales como Villa de Álvarez, los daños en estructuras de adobe fueron severos. Como en la mampostería no reforzada, los daños en estructuras de adobe tomaron la forma de separación de muros de diafragmas de techo y plantas elevadas, y fisuración por cortante en el plano combinada con fallas fuera de plano. Debido a la ausencia de refuerzo, tales fallas combinadas a menudo condujeron al colapso de muros y estructuras.

El volcamiento fuera de plano de muros voladizos de adobe fue muy común.

Conviene mencionar que las viviendas dañadas y con colapsos parciales o totales, de adobe o de mampostería simple, ubicadas en localidades urbanas, son edificaciones antiguas, de varias décadas de edad. En efecto, la vasta mayoría de las viviendas de adobe y mampostería simple se construyeron en la actualidad en las zonas rurales, especialmente deprimidas económicamente.

Desempeño de Monumentos Históricos

De la visita ocular efectuada a diferentes municipios del estado de Colima, se encontró que los monumentos históricos (iglesias) sufrieron daños menores, tales como caída de recubrimientos y elementos no estructurales, así como fisuras en algunos de sus muros que no ponen en peligro la estabilidad de las construcciones. No es el caso de la Iglesia de San Pedro ubicada en el municipio de Coquimatlán, la cual sufrió daño severo en todo el cuerpo, incluso la caída de la torre sur que cayó en el patio de las instalaciones de la Presidencia Municipal. La otra torre sufrió daño en las columnas del campanario y quedó girada sobre una de sus columnas. Por lo que corresponde al cuerpo de la iglesia, prácticamente todos los muros están severamente dañados, así como todas las cúpulas; incluso una de ellas (la ubicada sobre el altar) sufrió colapso parcial. Sin embargo, a pesar de todos estos daños se considera que la estructura se puede reparar.

Resumen del Desempeño Estructural según el Material

- Generalmente, el acero estructural y el concreto reforzado sufrieron pocos daños. Si las aceleraciones sísmicas hubieran sido mayores, daños a tales estructuras habrían podido ser mayores también.
- Generalmente, las estructuras de mampostería confinada sufrieron daños menores. Si las aceleraciones sísmicas hubieran sido mayores, daños a tales estructuras habrían podido ser mayores también. Los daños disminuían a medida que se aumentaban el número y tamaño de los elementos confinantes, y también a medida que los edificios se mejoraban de configuración. Asuntos generales de configuración se describen a continuación.
- Mientras los daños a estructuras de mampostería no reforzada variaban según ubicación, en las áreas de daños relativamente severos, los daños se concentraron en estructuras de mampostería no reforzada y de adobe. Los daños se debieron a conexiones inadecuadas entre muros y diafragmas horizontales, y entre muros, así como al colapso de muros bajo cargas combinadas en y fuera del plano.

Resumen del Desempeño Estructural según la Configuración

Independientemente del material, el desempeño estructural claramente se mejoró por aspectos de la configuración estructural, tales como los siguientes:

- Presencia y ubicación de muros. La resistencia lateral de estructuras tipo muro depende completamente de la existencia de un sistema de muros. Para lograr una adecuada resistencia en todas direcciones, los muros deben orientarse en las dos direcciones principales de la planta. Para una mayor redundancia, varios muros deben colocarse en cada dirección principal. Para control de torsión en planta, los muros deben colocarse simétricamente alrededor de la periferia de la planta. Para una resistencia adecuada, la estructura debe tener una mínima densidad de muros (razón de área de muros al área total en planta) en cada dirección principal de la planta.
- Presencia y ubicación de aberturas en muros. Muchos edificios tienen aberturas grandes en los muros de la planta baja para negocios, y aberturas más pequeñas en unidades residenciales en pisos superiores. Las aberturas crean un piso blando paralelo a la dirección de la calle, y conducen a daños severos a los elementos cortantes en la frente del edificio, que resisten las fuerzas laterales paralelas a la calle.
- Muros diafragma: Es común que la contribución de los muros divisorios no sea considerada en el diseño. No obstante el intento del calculista, tales elementos pueden tener alta rigidez inicial, y pueden provocar que la estructura responda de una forma no anticipada. La discontinuidad de los muros, ya sean estructurales o no estructurales, pueden degradar el desempeño estructural.
- Ubicación dentro de una cuadra. Los edificios de esquina parecieron sufrir daños relativamente severos, debido a una combinación de los efectos de aberturas en muros, y la excentricidad en planta entre el centro de masa (generalmente ubicado cerca del centro en planta del edificio) y el centro de rigidez (generalmente ubicado cerca de la esquina interior de la planta del edificio). Esta excentricidad en planta provocó daños severos en los elementos resistentes a corte en las fachadas de esquina del edificio, y a veces dieron lugar al colapso de los muros exteriores de esquina (Figura 9).



Figura 9 Daños típicos a estructura esquinera de adobe

Observaciones Concluyentes sobre la Vulnerabilidad Estructural

Como se ha notado anteriormente, la vulnerabilidad estructural de una estructura determinada podría clasificarse según una jerarquía de materiales:

- acero y concreto reforzado;
- mampostería confinada;
- mampostería no confinada y no reforzada; o
- adobe.

La vulnerabilidad de cada estructura también podría clasificarse según una jerarquía de configuración:

- estructuras con un buen arreglo de muros, altas densidades de muros, elementos continuos horizontales y verticales, y pocos aberturas en muros.
- estructuras con deficiencias en una o más de las áreas de arriba.

Finalmente, una estructura sería más vulnerable aún si se ubicara en una esquina de una cuadra, o en una área con condiciones desfavorables de suelo.

Como resultado, una estructura sería relativamente poco vulnerable si se encontrara en los niveles altos en las jerarquías de materiales, de configuración, y no estuviera en esquina. En cambio, una

estructura sería relativamente vulnerable si se encontrara baja en las jerarquías de materiales o de configuración, y más vulnerable, en particular, si se ubicara en una esquina de una cuadra.

Coherencia de Respuesta

Respuesta y Recuperación de la Emergencia: Asesoramiento Inicial

Para ayudar al lector a entender mejor la siguiente explicación sobre la respuesta y recuperación de la emergencia, es útil resumir la relación organizacional entre los diferentes grupos que participan en la respuesta. Tal información se presenta gráficamente en la Figura 10.

El primer propósito del Sistema Nacional para la Protección Civil (SINAPROC) es coordinar las operaciones de respuesta a emergencias y de recuperación gubernamental y voluntaria durante desastres. El Secretario de Gobernación es el responsable del SINAPROC. A nivel nacional, el sistema comprende tres elementos principales: La Dirección General de Protección Civil que coordina la atención de emergencias, Apoyo Científico y Técnico, proporcionado por el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED), y el Fondo Nacional para Desastres Naturales (FONDEN), que proporciona los fondos requeridos para las operaciones de respuesta a la emergencia y de recuperación. El sistema confía con los recursos de todo nivel del gobierno, las instituciones académicas, las organizaciones particulares como la Cruz Roja Mexicana, y voluntarios tales como los del Colegio de Arquitectos e Ingenieros la Cámara de la Construcción y los grupos de búsqueda y rescate. Después del desastre, estos grupos se reúnan casi diariamente para coordinar sus esfuerzos (Figura 11).

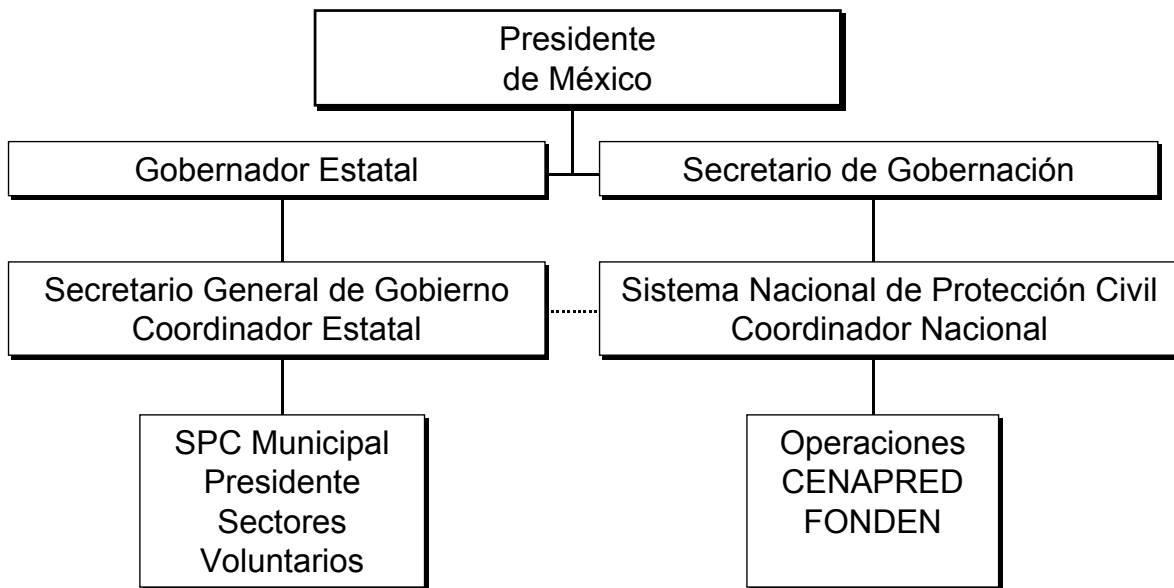


Figura 10 Relación aproximada organizacional entre grupos involucrados en recuperación de desastres



Figura 11 Reunión típica para coordinar la respuesta a la emergencia y la recuperación

La respuesta inicial al sismo del 21 de enero aparentemente fue rápida y bien manejada por el Sistema Estatal de Protección Civil de Colima. Existen varias posibles razones por esta eficacia:

- A pesar de la magnitud del sismo, las largas distancias focales a centros poblados condujeron a que el nivel de daños fuera relativamente menor. Mientras el sismo sí provocó daños significativos en estructuras de adobe, de mampostería no reforzada, y de concreto reforzado de mala calidad, no hubo colapsos de edificios de diseño moderno. Además, hubo apenas daños leves a elementos de infraestructura, tales como carreteras, redes de distribución eléctrica, agua potable, y sistemas de comunicación. Según fuentes no oficiales, la planta termoeléctrica de Manzanillo tiene solamente una de sus seis unidades en funcionamiento. Sin embargo, este dato no ha sido confirmado.
- La demanda por recursos de búsqueda y rescate fue mínima, y el sistema médico fue capaz de tratar, dentro de horas después del sismo, a los lesionados por escombros caídos.
- El Volcán Colima ha estado activo por muchos años, y el Sistema Estatal de Protección Civil ha tenido muchas veces que evacuar pueblos ubicados en las áreas de mayor riesgo. Esta activación frecuente del sistema ha provisto las agencias y personal correspondiente con experiencia práctica en respuesta de emergencia.
- Colima tiene múltiples fuentes de riesgo, incluyendo sismos, inundaciones y huracanes. El Sistema Estatal de Protección Civil ha tomado un papel activo en formar y entrenar equipos especializados a responder a varios eventos. Colima es, además, una de las áreas sísmicas más activas mundialmente, y ha experimentado varios sismos de magnitud grande en el siglo pasado. Aquellos sismos han producido daños significativos, y han causado pérdidas socio-económicas relevantes. Según las autoridades de Protección Civil, mucho se ha aprendido de aquellos acontecimientos, y se ha avanzado de modo importante en mejoras a las normas y procesos constructivos.

- Existe una fuerte presencia militar en el Municipio de Colima, que dispone de varios tipos de recursos que se han utilizado en apoyo a los esfuerzos civiles. Hasta ahora, los militares han usado equipo pesado y personal para proveer alojamiento, demoler edificios severamente dañados, y remover escombros.
- Siendo el Municipio de Colima la cabecera del Estado de Colima, todos los recursos locales fácilmente podrían ponerse a la disposición de las localidades afectadas.



Figura 12 Personal militar en operaciones de demolición

Hasta qué punto cada uno de los factores arriba mencionados habría contribuido a la respuesta aparentemente rápida y eficiente, es un tema por estudiar.

La utilización de tecnología disponible y relativamente barata, tal como Sistemas de Información Geográficos (GIS), habría sido de mucha ayuda al Sistema de Protección Civil en el procesamiento, categorización, y generación de mapas de datos recogidos para varias aplicaciones durante el proceso de recuperación. La utilización y versatilidad de aplicaciones del GIS durante desastres ha sido ampliamente demostrado y documentado. En algunos municipios se está usando esta tecnología en la captura de información.

Recuperación del Desastre

Sólo cinco días después del sismo, se observa que la recuperación inicial del desastre está bien encaminada. Todo nivel de gobierno, el sector privado, y la población, hacen frente a los siguientes asuntos de mayor importancia:

- El asunto de más importancia es la necesidad de seguir con las inspecciones de seguridad de las estructuras dañadas. En unos pueblitos lejanos, prácticamente todas las estructuras de adobe sufrieron daños. Claramente, unas de ellas están ocupados todavía. Esta situación ha provocado inquietud entre muchos moradores, en especial los dueños de casas o negocios que han sufrido daños, pues tienen incertidumbre sobre la seguridad de sus estructuras, y si

deben de seguir viviendo o trabajando en ellos. Actualmente hay solamente 95 inspectores voluntarios, que se organizan y entrenan por la Cámara de la Industria de la Construcción y los Colegios de Arquitectos e Ingenieros. Los datos que recopilan se desglosan en “daño total,” “daño parcial,” y “daño leve.” Estas categorías, se pretende, darán una base para determinar cuáles estructuras ameritan un asesoramiento más detallado, cuáles deben demolerse, y cuáles deben repararse. En esta área, el uso de GIS puede aumentar la productividad y eficiencia de una forma dramática.

- El Sistema de Protección Civil ha encargado al Ejército Mexicano la demolición de las estructuras identificadas como totalmente dañadas, y con la remoción de los escombros de las calles. El equipo observó el proceso de demolición en el Municipio de Villa de Álvarez, que colinda la parte nor-oeste del Municipio de Colima (Figura 13). Esta parte de Villa de Álvarez tenía una alta concentración de casas de adobe totalmente dañadas, combinada con las condiciones desfavorables de suelo anteriormente mencionadas. Después de la demolición, quedarán muchos lotes baldíos. Actualmente es difícil vislumbrar si el Municipio prohibirá la reconstrucción en tales áreas.



Figura 13 Mapa de Colima

Inmediatamente después del terremoto, el Gobernador de Colima ordenó que todas las escuelas se cerraran durante el resto de la semana para que se condujeran inspecciones de seguridad. Hay 703 escuelas primarias y secundarias en el estado de Colima y según informes iniciales, 220 sufrieron algún nivel del daño. Todas las escuelas fueron programadas a estar abiertas para el lunes 27 de enero de 2003. Las escuelas que sufrieron daños mayores continuarían en funcionamiento en instalaciones temporales más seguras.

Los efectos directos económicos del desastre lentamente se hacen aparentes, pero están todavía confusos. Existen discrepancias significativas entre los estimados de diferentes fuentes federales, estatales y municipales. Sin embargo, el gobierno federal de México se ha comprometido de proveer 144.7 millones de pesos, destinados a una variedad de programas de recuperación:

- 42 millones de pesos para la reparación o reconstrucción de viviendas dañadas;
- 79.7 millones de pesos para ayuda al sector privado, primeramente negocios pequeños;
- 20 millones de pesos para ayudar a los desempleados por el desastre; y
- 3 millones de pesos para promover el turismo.

Mientras esto representa solamente el pago inicial en lo que eventualmente sumará a cientos de millones de dólares EEUU, se considera lo suficiente como para adelantar la recuperación, y esperadamente estimular la recuperación de la economía del estado. Más importante, estas acciones representan un esfuerzo por distribuir fondos lo más pronto posible a los necesitados.

El financiamiento de la recuperación de este desastre pondrá retos mayores al gobierno federal mexicano. Los mecanismos de recuperación de desastres que actualmente aprovecha el gobierno mexicano son complejos y a veces problemáticos. Por ejemplo, en el pasado, los 144.7 millones de pesos que el gobierno mexicano ya ha comprometido en respuesta al desastre, se desviarían de los presupuestos del año federal fiscal, de las agencias claves que promueven el desarrollo socioeconómico del país. Esta re-dirección de recursos corría el riesgo de diferir el progreso hacia esta prioridad de importancia nacional. En reconocimiento de este problema serio, el gobierno mexicano federal creó el FONDEN (Fondo para Desastres Nacionales). A este fondo el gobierno federal mexicano le asigna un presupuesto fijo (aproximadamente 350 millones de dólares EEUU) para financiar la reparación o reemplazo de infraestructura pública no aseguradas, y proveer ayuda de desastre a los sectores más pobres de las poblaciones afectadas. En desastres recientes, el FONDEN ha podido restaurar los fondos re-dirigidos de otras agencias federales, pero en otras ocasiones una serie de desastres nacionales puede llevar el FONDEN a la insolvencia antes del fin del año fiscal. Esto es problemático, pues si se hace imposible la restauración de los fondos originalmente presupuestados para las agencias, y si ocurre otro desastre mayor en el mismo año fiscal, fondos adicionales tendrán a la fuerza que encontrarse.

El FONDEN representa un enfoque único al financiamiento de la recuperación de desastres. Unos aspectos del FONDEN son novedosos, y podrían ser de interés para los EEUU. De hecho existen semejanzas entre este enfoque y los programas federales de ayuda por desastres en los EEUU. Este desastre puede ofrecer oportunidades para la transferencia de conocimientos entre México y los EEUU. Este tema merece más estudio.

¿Como Aplicar lo Aprendido a la Rehabilitación Futura?

La experiencia de este sismo y los ocurridos en 1999 que afectaron los estados de Puebla y Oaxaca, muestran que los patrones de daño son similares en clases de estructuras. Por ejemplo, en las viviendas de adobe se observan grietas en las esquinas de los muros y caída de techos, producto de la débil unión entre ellos; en la vivienda construida con mampostería confinada se aprecia la inadecuada colocación de los castillos y dadas, o bien la ausencia de ello en sitios donde deberían colocarse. En otros casos, los daños son generados por una deficiente supervisión y ejecución de las construcciones. Por tanto, los trabajos de reconstrucción no deben consistir solamente en reponer lo que se ha dañado, sino proponer soluciones que además mejoren las condiciones de vulnerabilidad de las construcciones.

En el caso especial de la vivienda de adobe, que siempre resulta ser la que presenta mayores daños, se deben impulsar esquemas de rehabilitación que permitan fortalecer la unión de los muros y el techo. Algunos de ellos son:

- El uso de malla soldada de alambre y mortero, que mejora sustancialmente el comportamiento en conjunto de los muros; y
- El uso de castillos y dadas que confinen el adobe.

Otro requisito importante para que los trabajos de rehabilitación sean exitosos es involucrar a los propietarios de las viviendas, en programas de autoconstrucción. Para ello también se requiere del apoyo técnico de expertos, proporcionando asesoría y supervisión en la ejecución de los trabajos.

¿Cómo Transferir la Tecnología Correspondiente a los EEUU y a México?

En este informe rápido, se han presentado ejemplos de tecnología, que, de diseminarse y aplicarse en forma apropiada, podría reducir de manera significativa, los efectos de sismos en la población de áreas tales como Colima, y hasta en general en México, los EEUU, y otros países. Ejemplos de aquellas tecnologías son:

- conceptos básicos de la configuración estructural, la densidad de muros, los materiales y la construcción;
- conceptos básicos de la rehabilitación sísmica;
- conceptos básicos de la coordinación de respuestas a desastres, entre distintos niveles de gobierno;
- conceptos básicos de comunicar con, y de involucrar a, poblaciones locales en el proceso de recuperación de un desastre; y
- conceptos básicos de asignar prioridades a necesidades, y de repartir recursos en distintos niveles para hacerle frente a aquellas necesidades.

Por ejemplo, los equipos de investigación vieron muchos moradores reparando sus viviendas de adobe, con el mismo tipo de adobe que ya se había demostrado como inadecuado. ¿Sería posible, nos preguntamos, redactar y distribuir, con cada saco de cemento que se vendiera al menudeo en el Estado de Colima, un simple tríptico con instrucciones tipo caricatura, sobre cómo usar la mampostería confinada para construir viviendas más resistentes a sismos, de lo que es posible con el adobe?

En muchos casos, aquellas tecnologías parecían efectivamente en operación en Colima. En otros casos, no lo están. Trabajos adicionales deben de hacerse para identificar las tecnologías esenciales, y diseminar y aplicarlas en México, los EEUU, y otras partes del mundo. Esto es un asunto abierto.