

Capítulo 5. Las primeras horas: retos de la evaluación sísmica tras un evento importante

Raúl González Herrera

(UNICACH)

Robertony Cruz Díaz

(UNACH)

Raúl Vera Noguez

(UAEM)

Cuando se presenta un sismo comienzan un sinnúmero de especulaciones y se presenta una lluvia de información que es confusa y contradictoria. Para evitar lo anterior, el trabajo de los equipos de evaluación en la parte técnica (ingeniería estructural y sísmica) debe empezar antes de un evento con la identificación de los niveles de riesgo de distintas poblaciones. Hace quince años —cuando se presentó el sismo de Villaflores— estos trabajos aún eran incipientes en México, e incluso en muchos países del mundo, y desafortunadamente aún en la actualidad lo siguen siendo en Chiapas, lo que conlleva un número importante de incertidumbres y riesgos en la evaluación de estructuras e infraestructura, según lo señalan Ramírez de Alba y otros (2004), quienes identifican como consecuencia de lo anterior los siguientes problemas:

- En la mayoría de las ciudades no se tienen detectados los inmuebles que pueden sufrir daños, ni tampoco se tienen evaluaciones previas de edificios que son especialmente importantes

para la comunidad, tales como escuelas, hospitales y lugares de reunión como albergues.

- Una vez que se presenta un sismo, las autoridades no cuentan con la información oportuna para organizar la ayuda a la población, dando lugar tanto a la confusión como a la ineficiencia.
- Edificios importantes como escuelas y hospitales pueden ser evaluados de forma incorrecta, o inclusive por diferentes instancias arrojando resultados diversos, por la premura y complicaciones que conlleva hacerlos durante un evento y no haberlos hecho con anterioridad para revisarlos.

Lo anterior redobla la importancia de dotar a las autoridades de un mayor número de herramientas que les permitan tomar decisiones, como los estudios de vulnerabilidad sísmica que son elementos que ayudan en esta tarea al mostrar en mapas o esquemas las zonas con mayor propensión a daño, sin embargo requieren realizar una evaluación presísmica para ubicarlas.

Importancia de la evaluación sísmica antes de un evento

La evaluación sísmica busca identificar la viabilidad de las construcciones frente a un evento sísmico en dos etapas, anterior al evento: *presísmica*, y cuando el sismo se presenta: *postsísmica*.

La *presísmica* persigue que la estructura cumpla con niveles de desempeño satisfactorios (disminuir la vulnerabilidad), y en caso contrario dar posibles alternativas de rehabilitación estructural que mejoren el comportamiento sísmico del inmueble. Por su parte la *postsísmica* busca clasificar los daños en estructuras afectadas durante un sismo para decidir si el inmueble es habitable, si es reparable o, en su caso, si se requiere un desalojo inmediato.

Ambas evaluaciones (*presísmica* y *postsísmica*) deben ser evaluaciones rápidas que demandan un sinnúmero de características especiales tales como: ser ejecutada por personal calificado, lo cual no quiere decir que sea un experto quien debe detectar los daños causados por un sismo y estimar sus consecuencias a fin de establecer un dictamen preliminar.

Dependiendo del nivel de daño que experimente una estructura se entiende que habrá necesidad de la participación de una cantidad muy importante de evaluadores, si el daño es considerable. Por lo general para esta tarea postsísmica se desarrolló un código de colores en forma de semáforo que estable lo siguiente:

- Verde: construcción segura, se permite su uso sin restricciones.
- Amarillo: en duda, su uso es restringido a casos de emergencia hasta que se desarrollen análisis más sofisticados que permitan establecer un patrón de refuerzo o rehabilitación estructural.
- Rojo: prohibido su uso, deben ser desalojadas por completo y posiblemente demolidas.

Los trabajos que principalmente desarrollan los evaluadores en la *etapa presísmica* comienzan por examinar el exterior de la edificación, llenar el formulario con la identificación de la misma y la estructura (los cuales son tomados de algunas instituciones como CENAPRED o elaborados por evaluadores experimentados), evaluar la calidad de la construcción, irregularidades en planta o elevación y otros aspectos preexistentes, así como de la fachada, balcones, antepechos, volados, entre otros. Adicionalmente se debe establecer si las salidas de la edificación son seguras.

Realizar una entrevista con el propietario y/o usuario para obtener una mayor información acerca de las características de la estructura. Si es posible, examinar la edificación desde el interior para verificar las condiciones de los elementos estructurales e identificar si la estructura ha sufrido modificaciones. De igual manera es necesario identificar si existen signos visibles de deterioro por carencia o inadecuado mantenimiento, observar el suelo alrededor de la edificación para determinar la posible presencia de grietas, hundimientos, deslizamientos, árboles cuyas raíces se introducen en elementos estructurales o cualquier anomalía en el terreno.

Asimismo, se requiere examinar la seguridad de elementos no estructurales, poniendo atención a aspectos tales como: identificar la caída de cielos rasos o plafones, muros divisorios, escaleras, tinacos, ruptura de cristales o elementos que representen peligro para la vida.

Además, es preciso evaluar el sistema estructural desde el interior. Se debe analizar el grado de daño de los diferentes elementos estructurales (trabes, columnas, losas, muros, entre otros) de acuerdo con el tipo de sistema estructural y establecer, en cada entrepiso, el porcentaje de elementos afectados con daños mayores.

Posteriormente, clasificar la edificación de acuerdo con los resultados de la evaluación. Llenar los avisos para la clasificación de la habitabilidad de las edificaciones e indicar en ellos si la revisión fue exterior e interior o solamente exterior y consignar las recomendaciones en el formulario así como en los avisos. Marcar en los mapas de vulnerabilidad el resultado de la evaluación, debido a que los mapas ayudan a seccionar los esfuerzos concentrando las zonas con requerimiento de mayor atención.

Es importante explicar el significado de la clasificación a los ocupantes de la edificación y especificar si pueden permanecer dentro de ésta o si deben evacuarla. También se debe restringir el acceso a las áreas designadas como inseguras, colocando algún tipo de barreras físicas y cintas con letreros de prohibido el paso.

Finalmente se debe notificar a los coordinadores de la evaluación técnica para que se realicen los procedimientos que correspondan por parte de las autoridades pertinentes y evitar incidentes en caso de un sismo.

La *evaluación postsísmica* detallada debe ser ejecutada por personal experto y tiene por objetivo rectificar o ratificar el dictamen preliminar mediante una inspección general, llenando un formato y clasificando a la estructura de acuerdo con el semáforo: Verde, amarillo o rojo.

Una estructura podrá ser catalogada como insegura (Ramírez y otros, 2003) si se detecta alguna de las condiciones siguientes:

- Derrumbe total o parcial de la edificación.
- Hundimiento apreciable a simple vista. Agrietamiento evidente en el suelo.
- Inclínación notoria de la edificación o de algún entrepiso en lo particular.
- Daños importantes en elementos estructurales (columnas, vigas, muros, losas, entre otros).

- Daño severo en muros no estructurales, escaleras, cubos de ascensores, muros divisorios, plafones.
- Elementos de fachada, pretilas, balcones u otros elementos en peligro de caer.
- Presencia de otros tipos de riesgo, por ejemplo derrames tóxicos, líneas de energía caídas, entre otros.
- Objetos dañados o elementos de otro inmueble en peligro de caer.
- Daño en vidrios, puertas, plafones y paneles.

Mediante la evaluación presísmica se pueden ubicar áreas con susceptibilidad de dañarse en caso de presentarse un sismo (vulnerabilidad sísmica) y tomar medidas como generar cartillas de reparación que puedan llevarse a cabo con créditos blandos y mano de obra local. Esta alternativa de planeación ha sido poco empleada en nuestro país y, por lo general, siempre se realizan evaluaciones postsísmicas una vez que el daño se presentó, lo cual es más costoso.

Un resultado importante de la evaluación postsísmica es que nos permite contar con experiencia documentada que pueda ser aprovechada en eventos futuros, por ejemplo, para planificar refuerzo de sistemas constructivos vulnerables, ubicación de albergues y mejorar las metodologías y estrategias de evaluación pre y postsísmica.

Después de transcurrido un tiempo posterior al sismo existe una evaluación que parte de la información obtenida de la evaluación postsísmica, donde se procederá al establecimiento de prioridades y, por etapas, hacer una evaluación detallada que permita conocer las condiciones de las construcciones, a fin de llevar a cabo proyectos de reparación de forma adecuada para evitar un comportamiento inapropiado durante un sismo.

Evaluación postsísmica del Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica

Antecedentes del Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica

El Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica (GIIS) representó uno de los pocos grupos técnicos que estuvo presente durante el sismo de Villaflores del 20 de octubre de 1995 y sin lugar a dudas su participación fue clave, ya que desarrollaron la primera propuesta de microzonificación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

El maestro Raúl Vera (representante de la Universidad Autónoma del Estado de México e Integrante del GIIS) viajó a Chiapas durante el evento ya que uno de sus hermanos trabajaba en Villaflores. Este investigador recorrió Villaflores, Nuevo México y Tuxtla Gutiérrez y algunas de las fotografías que tomó se encuentran presentes en el siguiente capítulo.

Los trabajos del GIIS con la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) iniciaron a principios del año 1994, gracias a los contactos que el maestro Jorge Aguilar Carboney, ex profesor de la UAM y originario de Chiapas, realizó con el maestro Robertony Cruz Díaz, en ese tiempo director de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNACH campus I en Tuxtla Gutiérrez. Encabezados por el ingeniero Cruz pudo elaborarse una propuesta de zonificación sísmica para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en la cual colaboró el ingeniero Guillermo Alonso Solís y un grupo de investigadores de la UAM como el maestro Mario Ramírez Centeno y el doctor Emilio Sordo Zabay. Dos años más tarde se realizó también una propuesta de zonificación sísmica para la ciudad de Tapachula, la cual desafortunadamente no se concluyó.

El GIIS fue creado formalmente en el año 1996 por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), la Universidad Autónoma de Guerrero (UAG), la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP), la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Actualmente están en

proceso de incorporación la Universidad La Salle (ULSA), el Instituto Tecnológico Superior de la Costa Chica (ITSCCH), la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) y el Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO).

Si bien el GIIS nace formalmente en 1996, sus orígenes se ubican años atrás, gracias a la enorme labor del maestro Jesús Iglesias Jiménez, fundador y entusiasta promotor del grupo desde su inicio. El ingeniero Iglesias fue profesor e investigador y Jefe del Área de Estructuras de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A) hasta el año de 1997 y líder académico de un grupo de profesionistas de diversas instituciones (Ramírez y otros, 2003).

En las palabras de Jesús Iglesias, “un buen día llegó a la UAM-A el Ingeniero Andrés Gama García, profesor de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAG), con la intención de pedir orientación para hacer la zonificación sísmica de la ciudad de Chilpancingo, Guerrero y elaborar con ello su tesis de maestría. La experiencia que tenía la UAM con la zonificación del Distrito Federal era a partir de los daños y no parecía que pudiera seguirse el mismo camino en este caso, por la información que se tenía para partir. Sin embargo, la propuesta nos abrió los ojos del enorme abandono de los investigadores de ingeniería sísmica a los centros urbanos fuera de la ciudad de México, ya que con excepción de ésta y el puerto de Acapulco, ninguna otra ciudad incorpora en su reglamento de construcciones —cuando éste existe— una zonificación sísmica que considere las características propias del lugar pues, en general, lo que se usa es una copia del *Reglamento del Distrito Federal* (caso que se repite en las ciudades de Chiapas) o las observaciones del *Manual de obras civiles para diseño sísmico de CFE*. “Después de pensarlo se aceptó el reto, considerando que la mejor alternativa para el futuro de la seguridad sísmica del país era orientar a la UAG para que fueran sus propios investigadores los que hicieran el trabajo, ya que no se buscó caer en otro vicio del centralismo: hacer las cosas desde la capital sin generar experiencias y competencias locales.” (Iglesias, 1994).

El 19 de septiembre de 1996 se crea el Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica (GIIS) en el marco de la *Primera Semana de la Ingeniería Sísmica en la UAM-A*. Firmaron el Convenio General de Colaboración que dio

origen formal al GIIS los rectores de las seis universidades participantes: licenciado Pablo Humberto Posada Velázquez por el ITESO, Marco Antonio Morales Gómez por la UAEM, doctor José Hugo Vázquez Mendoza por la UAG, doctor Julio Rubio Oca por la UAM, maestro Salvador Galván Infante por la UMSNH, maestro Pedro René Bodegas Valera por la UNACH y el maestro Mario Iglesias García Teruel por la UPAEP. Como testigos de honor firmaron el doctor Daniel Reséndiz Núñez por la UNAM, doctor Vitelmo V. Bertero por la Universidad de California en Berkeley, doctor Rodolfo Saragoni Huerta por la Universidad de Chile y el doctor James O. Jirsa por la Universidad de Texas (UT) (Ramírez y otros, 2003).

El GIIS conformó una red sísmica que incluía a las universidades participantes. La Red Interuniversitaria de Ingeniería Sísmica (RIIS) cuenta actualmente con 20 estaciones acelerométricas distribuidas en diferentes ciudades de la República Mexicana. Los aparatos utilizados en las estaciones son acelerómetros digitales Terra-Tech DCA-333 en la estación MC, Kinematics Etna en las estaciones DL y GI, Kinematics SSA-1 en las estaciones ML y OT y Kinematics SSA-2 en el resto de las estaciones (Ramírez y otros, 2003).

Algunos registros de la Red han sido de especial interés para la comunidad científica y profesional, como el registrado en la Estación Central UNACH el 20 de octubre de 1995. En este registro se presenta la más alta aceleración instrumentalmente obtenida hasta la fecha para el estado de Chiapas, el cual se observa en el capítulo 4.

Trabajo del Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica durante algunos sismos

El GIIS ha organizado viajes de inspección y evaluación sísmica en zonas urbanas y rurales afectadas por sismos. Destacan los viajes de reconocimiento a Colima y Jalisco en 1995 (Juárez y otros, 1995); Villaflores, Chiapas en octubre de ese año (no está documentada como tal); Ometepepec, Guerrero en 1995 (Sordo y otros, 1995) y Puebla en 1999 (Juárez y otros, 1999). A continuación se presenta una breve reseña de los daños más significativos observados durante las evaluaciones postsísmicas efectuadas por el GIIS en sismos importantes y que recientemente han afectado al país.

Esta información ha sido recopilada por los grupos de trabajo conformados por el GIIS, para la evaluación de desastres sísmicos, sin embargo se omitió la información del sismo de Manzanillo y de Villaflores, ambos en el año de 1995, ya que es abordada en el capítulo uno y seis, respectivamente.

El sismo del 14 de septiembre de 1995 en Ometepec, Guerrero

El jueves 14 de septiembre de 1995 a las 8:05 A.M. hora local, ocurrió un sismo cerca de la ciudad de Ometepec, al sureste del estado de Guerrero, la magnitud fue de $M_s=7.2$ con epicentro en las coordenadas 16.8° N y 98.6° O, resultando dañadas más de 800 casas en un radio epicentral de 25 km.

La mayoría de las estructuras eran de adobe o de mampostería con refuerzo inadecuado. En las figuras 1a, 1b y 1c se observan daños en tres estructuras de adobe, donde se muestra que este material no desarrolla liga entre muros perpendiculares, los cuales se separan por el efecto que ejerce sobre ellos el diafragma flexible a base de largueros y vigas de madera que cargan tejas y que los empujan lateralmente (lo que constituye una cubierta pesada).



Figura 1a y b. Daños en estructuras de adobe donde la poca resistencia transversal y diafragma flexible generaron la separación de los muros (fotografías cortesía de Raúl Vera Noguez).



Figura 1c. Daños en estructuras de adobe donde la poca resistencia transversal y diafragma flexible generaron la separación de los muros (fotografías cortesía de Raúl Vera Noguez).

En las figuras 1c y 2b, se observa que en ocasiones el desplazamiento que alcanzan los muros, incluso sin colapsar, logra que éstos dejen de representar un apoyo para la cubierta, lo cual permite que esta colapse súbitamente, total o parcialmente.



Figura 2a. Daños en estructuras de adobe donde la poca resistencia del material y el efecto del diafragma flexible causa daños muy importantes (fotografías cortesía de Raúl Vera Noguez).



Figura 2b. Daños en estructuras de adobe donde la poca resistencia del material y el efecto del diafragma flexible causa daños muy importantes (fotografías cortesía de Raúl Vera Noguez).

En la figura 2a se presenta un estado de daño importante, lo cual muestra que el material adobe tiene una resistencia muy pobre a esfuerzos cortantes, y que difícilmente se puede vincular con otros materiales —como se observa con la separación con el cerramiento de madera— no obstante, su presencia permite evitar el colapso y posibilita la salida de la vivienda en caso de sismo. Las figuras 2a y 2b muestran grietas verticales donde descargan los largueros la fuerza vertical de la cubierta.

La figura 2c corresponde a un esfuerzo fallido de unión de materiales de la estructura de una vivienda (adobe y tabique de barro recocido), sin embargo se coloca una especie de junta, la cual se manifiesta de manera importante por el daño ejercido por la cubierta sobre el muro de tabique barro recocido (la mampostería sin refuerzo es muy frágil).

Las condiciones de desplante y cimentación que se desarrollen para una construcción permiten incrementar la seguridad y adaptación de la cimentación a las condiciones del suelo. En una ladera, o cuando existen pendientes importantes, esto es crucial. En la figura 3 se observa que no se tuvieron en cuenta estos aspectos, así como la frágil estructura existente, la cual terminó por desaparecer.



Figura 3. Colapso de estructura por no considerar las condiciones naturales del terreno al momento de diseñar la cimentación (fotografía cortesía de Raúl Vera Noguez).

En la figura 4 se observan fallas de flexión debidas a la esbeltez del muro (relación de espesor con respecto de la altura), excentricidad del diafragma y falta de detallado adecuado de cerramientos y castillos.



Figura 4. Grietas por flexión en muros de mampostería (fotografía cortesía de Raúl Vera Noguez).

La figura 5 presenta la mampostería sin refuerzo donde se colocan muros de mayor espesor, pero sin confinamiento por castillos y cadenas. El comportamiento es similar al adobe, ya que lo que estos materiales denotan es su poca capacidad a tensión y paralelamente a corte.



Figura 5. Daño en muro de mampostería sin refuerzo (fotografía cortesía de Raúl Vera Noguez).

El sismo Ometepec de 1995 tuvo una particularidad importante, la cual consistió en que motivó la conformación del GIIS, posteriormente de la RIIS, y fue el primero importante del año de 1995.

El sismo del 9 de octubre de 1995 en Manzanillo, Colima

El lunes 9 de octubre de 1995 ocurrió un sismo en el área cercana a Manzanillo, Colima, afectando la parte norte y la parte suroeste de los estados de Jalisco y Colima, respectivamente.

No obstante que es uno de los sismos más importantes, no se mencionará más de este sismo en este capítulo debido a que el capítulo 1 presenta una excelente reseña del mismo, salvo decir que es uno de los más estudiados en la ingeniería sísmica en México y que aún permite aprender sobre el fenómeno sísmico.

Sismo del 20 de octubre de 1995 en Villaflores, Chiapas

El viernes 20 de octubre de 1995 a las 20:39 hrs tiempo local (2:38 GMT), un sismo con epicentro localizado en 16.84°N y 93.47°W con magnitud de momento $M_w=7.2$ en escala de Richter, afectó el área central de Chiapas.

Los daños se concentraron principalmente en poblaciones como Nuevo México, Jesús María Garza, Benito Juárez, Cintalapa, Villaflores y en Tuxtla Gutiérrez. No se abundará más sobre este sismo debido a que el resto del libro se enfoca en éste y en el capítulo seis se expondrán los daños.

Sismo del 15 de junio de 1999 en Tehuacán, Puebla

El martes 15 de junio de 1999, a las 15:42 p.m. hora local, un fuerte sismo de magnitud de momento $M_w=7.0$ en la escala de Richter, con epicentro (18.20°N; 97.47°W) a pocos kilómetros de la ciudad de Puebla y localizado a una profundidad intermedia de 70 km, ocurrió como consecuencia del proceso de tectonismo de la placa de cocos.



Figura 6. Daños en estructuras de iglesias en sus muros de mampostería sin refuerzo y/o adobe (fotografía cortesía de Raúl Vera Noguez).

Daños en estructuras de iglesias

Este sismo presentó una característica muy particular ya que dañó un número importante de iglesias, las cuales eran monumentos históricos con elementos que las hacían muy vulnerables, tales como sus materiales constitutivos, el mantenimiento y remodelaciones sufridas, su antigüedad, entre otras.

Estas estructuras formadas a base de muros de adobe, piedra braza o mampostería sin refuerzo, están estructuradas a base de muros de corte arriostradas con contrafuertes y arcos, y culminadas con cúpulas de mampostería, cuyas torres generalmente se desvinculan de la estructura en los primeros momentos del sismo, ya que tienen un periodo de retorno muy distinto al del cuerpo principal. En las figuras 6 y 7 se observan daños en muros y cúpulas de iglesias de la zona.

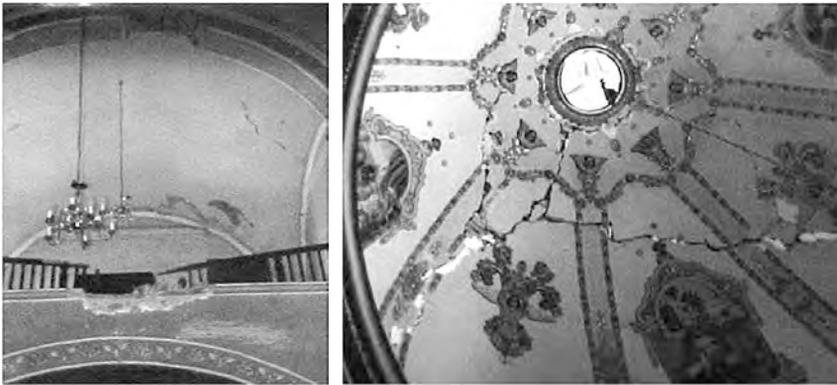


Figura 7. Daños en cúpulas de iglesias elaboradas mediante mampostería sin refuerzo (fotografía cortesía de Raúl Vera Noguez).

En la figura 8 se muestra un error muy común en la ingeniería estructural de proyecto, la cual puede ser mal interpretada por el constructor, y se refiere a la desvinculación de elementos no estructurales que no queda clara en el proyecto, ya que estos elementos terminan

por rigidizar una sección de la estructura, aumentando la excentricidad y con ello los momentos de torsión sísmicos, concentrando cortantes importantes en elementos que no tienen la capacidad de tomarlos. Otra característica de la figura 8a es que el detallado de los muros fue inadecuado, y en lugar de fallar homogéneamente los castillos y los muros formándose el puntal de compresión, hay un daño del muro en secciones como un rompecabezas y no como una estructura de manera integral.



Figura 8. Daños en muros de mampostería, los cuales se vincularon indebidamente a la estructura (fotografía cortesía de Raúl Vera Noguez).

En la figura 9 se presentan daños en estructuras de mampostería sin refuerzo que, como ya se mencionó, corresponden a un comportamiento frágil sin posibilidad de tomar esfuerzos de tensión, con poco vínculo transversal de los elementos, concentración de daños en huecos sin confinar de puertas y ventanas, lo que se magnifica cuando no se da el cuatrapeado de las piezas, como se ve en la figura 9a. En las figuras 9c y 9d se observa cómo este mal comportamiento se presenta con mayor daño entre mayores sean las demandas por la altura.



Figura 9. Daños en muros de mampostería sin refuerzo (fotografía cortesía de Raúl Vera Noguez).

Sismo del 21 de enero de 2003 en Colima, Colima

El 21 de enero del 2003 a las 20:06 horas (tiempo local), ocurrió un fuerte temblor en la región costera del estado de Colima, éste tuvo una magnitud de 7.6 y su epicentro se situó en las coordenadas 18.22° y 104.60° , a unos 10 km de profundidad. Las poblaciones más cercanas al evento fueron Tecomán (13 km) y Armería (16 km); por su parte, las ciudades de Manzanillo y Colima se ubican a unos 50 km, y la ciudad de México, Distrito Federal a 550 km.

Este sismo es uno de los mejor estudiados en el país y el más importante en daños, impacto económico y experiencias de los últimos años. Una característica interesante de remarcar en este sismo fue el daño de estructuras que eran usadas por el sector salud. De manera anecdótica señalaremos que cuando ocurrió el sismo de Manzanillo los hospitales se dañaron y los heridos fueron llevados a los estados de Colima y Jalisco, mientras que para el sismo del 2003, los hospitales de Colima se dañaron y ahora los heridos fueron trasladados a Manzanillo, lo que suena irónico ya que habla del pobre aprendizaje de los eventos sísmicos al traducirlo en acciones prácticas.

Comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería

El comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería generalmente está regido por la combinación de su resistencia, rigidez y ductilidad, propiedades que se ven ampliamente influenciadas por el tipo de materiales empleados en su fabricación y por el tipo y cuantía de refuerzo utilizado, así como dónde y cómo se coloca éste en la estructura.

Estructuras de mampostería sin refuerzo

Este tipo de estructuras se caracterizan por ofrecer una alta rigidez, pero su resistencia es limitada y prácticamente no exhiben ductilidad. Se engloban dentro de esta categoría las construcciones históricas y un gran número de las viviendas en zonas rurales y urbanas marginadas.

Las principales fallas observadas se asocian con la escasa capacidad de la mampostería para soportar tensiones, la ausencia de diafragmas rígidos en las cubiertas, errores en la configuración estructural, calidad de los materiales empleados, entre otras. Algunas de las fallas observadas en este sistema estructural son:

- Grietas verticales en las esquinas por ausencia de elementos de refuerzo en la intersección de muros.
- Fallas por flexión fuera del plano de los muros por falta de arriostramiento con el sistema de cubierta o con muros ortogonales.

- Grietas diagonales en los muros debido a la concentración de esfuerzos en el perímetro de los huecos y aberturas (ventanas y puertas).
- Grietas diagonales en muros debido a tensión diagonal.
- Agrietamiento en la junta de las piezas debido a los esfuerzos de corte.



Figura 10. Daños en muros de mampostería sin refuerzo en el estado de Colima (fotografía cortesía de Raúl Vera Noguez).

En la figura 10 se muestran cuatro imágenes con patologías similares a las mostradas en sismos anteriores, lo que demuestra que no se han superado estas deficiencias que fueron exhibidas en sismos pasados, o que las construcciones anteriores al sismo no fueron rehabilitadas o preparadas para los futuros sismos. En todas las imágenes se observa la falta de confinamiento con castillos y cadenas en las esquinas, así como huecos y cambios de dirección. Lo preocupante de esta situación es que este fenómeno se manifiesta también en construcciones recientes de interés social, o incluso medio, y que debió ser vigilada por las autoridades como en la figura 10d.

Estructuras de mampostería reforzada

Al igual que la mampostería sin refuerzo, en este caso se tienen valores altos de rigidez, sin embargo, con el uso del refuerzo se obtienen sustanciales incrementos de resistencia y capacidad de deformación, sobre todo ante ciclos de cargas alternadas, y dependiendo de la cuantía y ubicación del refuerzo se pueden lograr ductilidades sustanciales.

Las fallas observadas durante los sismos están asociadas con defectos en la configuración estructural, calidad de los materiales y calidad de la construcción, entre otras. Los daños se pueden englobar en las siguientes categorías:

- Grietas diagonales generadas por excentricidades debido a fallas en la estructuración, tales como irregularidades en elevación y planta.
- Grietas diagonales por falta de elementos de refuerzo en el perímetro que provocan concentraciones de esfuerzos.
- Fallas de columna corta y grietas diagonales en los muros diafragma debido a la falta de juntas constructivas.
- Grietas verticales en la unión de los muros perpendiculares debido a la falta de adherencia entre concreto y mampostería.
- Grietas horizontales en la unión de losa con la dala o cadena de cerramiento.

En la figura 11 se muestra la falta de integridad y errores en las conexiones, se observa poco vínculo entre el castillo y la cadena, pero también en castillos y el muro como se observa en ambos lados del muro fallado.



Figura 11. Daños en muros de mampostería confinada mal detallada (fotografía cortesía de Raúl Vera Noguez).

Estructuras de concreto reforzado

La mayoría de las estructuras de concreto reforzado, ubicadas en las zonas afectadas y que sufrieron daños durante estos sismos, manifiestan problemas de configuración estructural, defectos constructivos, falta de mantenimiento, entre otros. Dentro de los principales problemas observados se encuentran:

- Presencia de columnas cortas.
- Piso suave.
- Reducida capacidad a cortante o flexión de los elementos.
- Daños en elementos no estructurales por inadecuado detallamiento.
- Agrietamiento en muros diafragma, entre otras.

Retos de la evaluación sísmica

La presentación de los daños en los sismos documentada por el GIIS fue muy general, por lo que hemos de señalar que hay muy buenos documentos para estudiarlos o conocer sobre éstos, ya sea en las referencias de este capítulo o en otros documentos y solo se planteó lo diverso y complejo de esta labor de evaluación postsísmica.

Los principales retos de la evaluación sísmica en cualquiera de sus etapas (presísmica o postsísmica), son los siguientes:

- Adoptar medidas de prevención, en lugar de reparar lo dañado después del evento sísmico.
- Contar con personal capacitado en las zonas afectadas, y más importante aún, que esté capacitado antes del evento.
- Uniformizar criterios entre todos los actores que participan en el manejo de un desastre.
- Sistematizar el manejo de la información, empleando sistemas de información geográfica para su control.
- Documentar los resultados de la evaluación y homologar su presentación para la memoria histórica del evento.
- Emplear la información obtenida para desarrollar medidas que permitan reducir la vulnerabilidad por fenómenos sísmicos.

Bibliografía

Iglesias, J., 1994, “Crónica de 5,000 días: la ingeniería sísmica en la UAM”. en *Ciencia y Tecnología*, volumen XX, no. 115, marzo/abril, pp. 46–53.

Juárez H., Gómez A., Terán A., Sordo E., Arellano E., Corona M., Perea T., Herández D., Rangel G., Arzate G., Ramírez H., y Jara M., 1999, “Intensidades y daños asociados al sismo del 15 de junio de 1999”. Memoria del *XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, vol. I, 754, noviembre.

Juárez H., Whitney R., Guerrero J., Gama A., Vera R., y Hurtado F. 1995, “The october 9, 1995 Manzanillo, México Earthquake”, en *Sismological Research Letters*, SSA, Vol. 68, no. 3, pp 413–425, EUA.

Ramírez de Alba, H., Hernández Maldonado, M., Cardeno Orihuela, S. y V. Albiter Bernal, 2003, *Propuesta para un plan de respuesta rápida en caso de sismos*. Universidad Autónoma del Estado de México.

Ramírez, M., Juárez, J., Ramírez de Alba, H., Jara, J., Cruz, R., Aguilar, J., Martín del Campo, R., Vera, F., Gama, A., Cruz, S. y M. Cruz, 2003, s.t. Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica, Universidad Autónoma de Chiapas.

Sordo E., Gómez A., Juárez H., Gama A., Guinto E., Whitney R., Vera R, Mendoza E. y Alonso G. 1995, “The september 14, 1995, Ometepec, México earthquake”, *EERI Newsletter*, *EERI Special Earthquake report*, vol. 29, no. 12, pp 1–5, EUA.

