

5. Evaluación del daño en estructuras de carácter religioso

HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS*

CARLOS ARCE LEÓN**

MANUEL JARA DÍAZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.266.05>

Resumen

En este capítulo se presentan los daños observados durante el sismo del 19 de septiembre de 2022, en estructuras de uso religioso ubicadas en diversas comunidades de Michoacán. Se realizó un recuento de los templos, su sistema estructural y la tipología de daños. También se hizo un concentrado del comportamiento y del tipo de fallas presentadas por los diferentes elementos estructurales, el cual puede servir de base técnica en la definición de planes y proyectos de intervención. Se concluye, sobre la pertinencia de una evaluación de daños realizada por las brigadas de técnicos con formación en ingeniería estructural.

Palabras clave: *estructuras de patrimonio, patrimonio cultural, patrimonio histórico, comportamiento sísmico.*

* Doctor en Ingeniería. Profesor-investigador titular C, de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8515-5965>; ID's SCOPUS: 9234075300

** Ingeniero Civil. Jefe de la Unidad de Riesgos Naturales y Antropogénicos, Unidad de Investigación Multidisciplinaria, Facultad de Estudios Superiores Acatlán, UNAM, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9243-3505> ; correo: arce@acatlan.unam.mx

*** Doctor en Ingeniería. Profesor-investigador titular C, de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-5287>

Introducción

Durante el sismo del 19 de septiembre de 2022, se dañaron una gran cantidad de estructuras ubicadas en diversos municipios del estado de Michoacán. Las estructuras cuya función primordial es la de ser un centro de culto, sean o no clasificadas como patrimonio histórico, son importantes para los habitantes de una comunidad ya que en ocasiones son un detonador psicológico social del comportamiento emocional y espiritual de sus habitantes, principalmente después de que se ha presentado un desastre.

En forma general, el sistema estructural de las edificaciones de patrimonio religioso puede considerarse integrado por cubiertas, muros, arcos, contrafuertes y marcos. En el caso de las cubiertas pueden ser clasificadas como: cúpulas, bóvedas, cubiertas de teja o incluso de lámina y losas. También como elementos de soporte de las cubiertas y de sistemas resistentes a cargas laterales se tienen: arcos, muros y marcos. En caso de requerirse, se adicionan a los muros contrafuertes para sostener empujes laterales y mejorar la estabilidad, Aunque de manera integral, todos los elementos indicados forman una estructura, en muchas ocasiones su respuesta puede considerarse de forma aislada mediante la integración de macroelementos.

Los daños típicos en las fachadas se presentan en frontones, remates y piezas de ornato ya que su función estructural es ser elementos aislados sin restricción lateral a los movimientos. Otra zona donde es común que existan agrietamientos es en la de interfase, entre las torres de los campanarios y la fachada debido al cambio de rigidez, entre los dos subsistemas. También es común encontrar agrietamiento en la zona de aberturas, ventanales y rosetones, por la concentración de esfuerzos que se genera en estos puntos.

Los campanarios pueden tener uno o varios cuerpos, generalmente se rematan con una cruz sobre un orbe que descansa sobre cupulines y se desplantan sobre pilastras. Estas pueden encontrarse conformadas por mampostería, sillares de cantera o una mezcla de ambos. Dependiendo del estilo arquitectónico, se desplantan sobre muros, torres o cubiertas. En algunos casos son estructuras completamente separadas de la del templo. Su

comportamiento puede resumirse en que, al sobrepasar límites de distorsión, surgen esfuerzos de tensión en la base y en el remate de las pilastras, con lo que se inicia un proceso de dislocación que llega al colapso de algún cuerpo, y en algunos casos, al colapso completo del campanario. Si no se toman las precauciones adecuadas cuando los muros se encuentran expuestos a la intemperie, la humedad o la lluvia, afectan su resistencia y se generan zonas severamente demeritadas, inclusive existiendo pérdida de sección que los hace entonces vulnerables ante acciones extraordinarias. Cuando el material que los constituye es de resistencia limitada, es importante su recubrimiento, ya que en ocasiones se emplean morteros de cal, arena y cal o arena y arcilla. El trabajo mecánico de los muros es en compresión y cortante en su plano, por lo que los agrietamientos verticales y en diagonal indican las zonas de mayores demandas. No resisten flexión perpendicular a su plano, por lo que, al existir este tipo de acciones, se colocan contrafuertes o arbotantes para mejorar su desempeño.

En este trabajo se resumen los daños observados en estructuras que son utilizadas por los habitantes de diversas comunidades, principalmente de las ubicadas en la Sierra Costa de Michoacán, y que fungen como centro de culto religioso. La inspección visual de las estructuras fue realizada por docentes y alumnos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, UNAM. El principal objetivo es apoyar a las comunidades a rehacer sus actividades sociales de forma segura y de apoyar a las autoridades municipales y estatales en la toma de decisiones relativas a la distribución de recursos para la reconstrucción.

Se realizaron una serie de recorridos por diferentes poblaciones desde la región central del estado hasta la zona epicentral. En la tabla 5.1 se muestran las edificaciones visitadas, ordenadas por municipio.

Tabla 5.1. Nombres y ubicación de los templos evaluados.

<i>Municipio</i>	<i>Nombre</i>	<i>Ubicación</i>	<i>latitud</i>	<i>longitud</i>
Aguila	Parroquia de San Miguel Arcángel	Cuauhtémoc 24, Zona Centro	18°35'58.00"N	103°30'14.01"W
	Capilla Chacalapa	El Coire, municipio Aguila	18°23'37.4"N	103°19'04.8"W
	Iglesia del Coire	El Coire, municipio Aguila	18°23'37.4"N	103°19'04.8"W
	Iglesia de Pomaro	Pomaro, municipio Aguila	18°20'17.15"N	103°18'29.00"W
	Iglesia de Pueblo Nuevo	Pueblo Nuevo, Aguila	18°33'11"N	103°35'35"W
	San Juan de Alima	San Juan de Alima, Aguila	18°34'59.00"N	103°40'27.90"W
Chilchota	Parroquia de Santiago Apóstol	Chilchota	19°50'51.7"N	102°07'10.7"W
Coalcomán	Capilla Guadalupe del Cobre	Álvaro Obregón 876, Centro	18°46'29.6"N	103°10'06.2"W
	Convento San Francisco	Vicente Guerrero 19	18°46'41.5"N	103°09'34.3"W
	Templo de Santiago Apóstol	Vicente Guerrero 19	18°46'41.57"N	103° 9'34.08"W
Los Reyes	San Juan Bautista	Pamatácuaro, Los Reyes	19°41'31.76"N	102°20'41.74"W
Paracho	San Pedro Apóstol	Paracho	19°38'50.43"N	102° 2'51.13"W
Pátzcuaro	Basílica de Nuestra Señora de la Salud	De Arciga y Efren Urincho	19°30'54.38"N	101°36'22.15"W
Sahuayo	Parroquia de Santiago Apóstol	Sahuayo	20° 3'24.14"N	102°43'17.09"W
Tacátzcuaro	Parroquia de San Miguel Arcángel	Sur 10 centro, Tacátzcuaro	19°43'49.32"N	102°32'48.15"W
Tangamandapio	Templo de Santiago Apóstol	Tangamandapio	19°57'16.93"N	102°25'55.58"W
Tanhuato	Santuario del Santo Cristo Milagroso	Tanhuato	20°17'5.93"N	102°19'37.92"W
Tocumbo	Parroquia del Sagrado Corazón de Jesús	Santa Inés, Tocumbo	19°42'42"N	102°32'54"W
Uruapan	Santuario del Señor de los Milagros	Uruapan	19°24'59.7"N	102°07'41.6"W
	San Francisco de Asís	Corupo, Uruapan	19°36'36.41"N	102°14'11.13"W
	Parroquia Santa Ana	Zirosto, Uruapan	19°32'2.73"N	102°19'25.16"W
Villamar	San Miguel Arcángel	Villamar	20°1'12.76"N	102°35'44.67"W
Zamora	San Francisco	Zamora	19°59'05.5"N	102°17'01.8"W
	Templo La Purísima	Zamora	19°59'5.81"N	102°17'2.52"W

Fuente: elaboración propia.

Los inmuebles utilizados como centros de culto religioso constituyen un rubro importante por su variedad y diversidad. Van desde los catalogados como monumentos, los de patrimonio histórico o arquitectónico, estructuras relativamente recientes e inclusive capillas y templos improvisados

que de alguna manera son parte importante del entorno social y, como tal, representan un objeto de valor intrínseco.

La información proveniente de distintas referencias (Aguilar *et al.*, 2002; Alcocer *et al.*, 1999; Jara, 1999; Meli, 1998; Meli, 2003 y Jara-Díaz *et al.*, 2007), indica que los elementos estructurales más vulnerables de las iglesias son las partes altas de torres y campanarios, las fachadas y los apéndices. Sin embargo, desde el punto de vista del sistema estructural, los elementos que más problemas presentan son las cúpulas, bóvedas y fachadas. Se ha observado que, los contrafuertes, utilizados para dar resistencia lateral al conjunto, sufren agrietamiento diagonal, señal de que han contribuido con la resistencia y rigidez del sistema en forma importante durante eventos sísmicos pasados.

La evaluación de la seguridad estructural de un edificio histórico no debe basarse únicamente en cálculos numéricos; sino también en las evidencias sobre el comportamiento del edificio ante eventos pasados, es decir, con base en su propia historia. Peña-Modragón (2014), señala que el análisis involucra diversos aspectos, además de un análisis numérico, propiamente dicho, como: análisis histórico, análisis de daños e intervenciones, análisis de la geometría y materiales, etc.

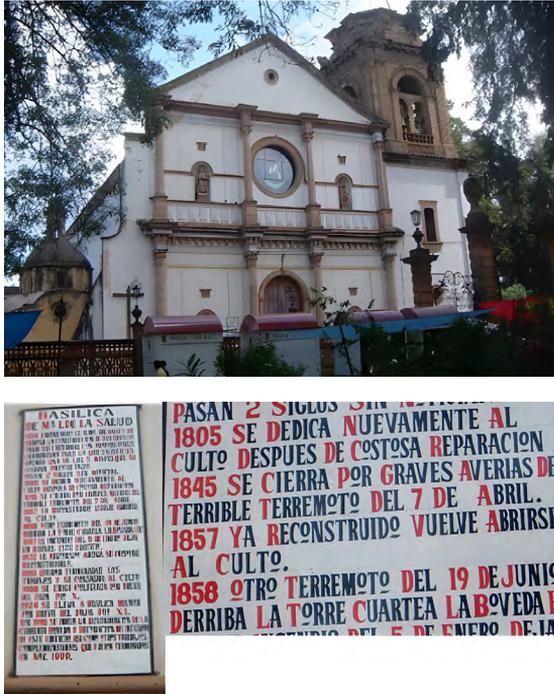
Uno de los problemas para la evaluación de edificios históricos es la falta de experimentación acerca de las propiedades de los materiales y procesos constructivos que han sido empelados en las distintas épocas históricas en que fueron construidos. A continuación se describen algunas construcciones de particular interés.

Basílica de Nuestra Señora de la Salud, Pátzcuaro

La Basílica de Nuestra Señora de la Salud se encuentra localizada en la ciudad de Pátzcuaro, Michoacán, en las calles de Arciga y Efrén Urincho. Es el principal edificio religioso de la ciudad, su periodo de construcción es de 30 años iniciando en 1540 y finalizando en 1570. La Basílica sufrió daños como consecuencia de los temblores de 1848 y 1857 como se hace constar en la placa adosada en la parte inferior de la torre (señalada mediante el recuadro y amplificada en la imagen a su derecha en la figura 5.1). El temblor

de 1858 fue especialmente intenso en la región de Pátzcuaro y derribó la torre y cuartea la bóveda.

Figura 5.1. Descripción de daños en la Basílica durante los temblores de 1845 y 1858

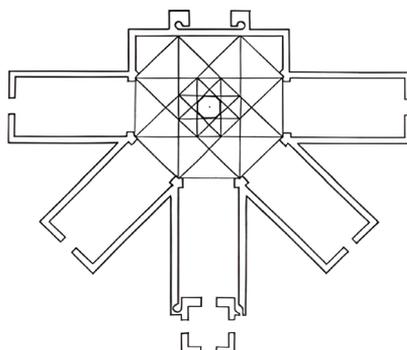


Fuente: elaboración propia.

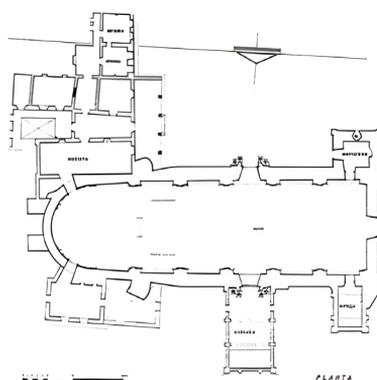
El proyecto original constaba de cinco naves orientadas hacia el altar mayor (figura 5.2a). Solo se construyó la nave central cuya planta se muestra en la figura 5.2b (Torres, 2017).

Los muros de mampostería de la Basílica tienen una altura de 15 m y un espesor de 3 m. El ancho interior de la nave es de 16 m. La cubierta de la nave se resolvió con un sistema denominado de media tijera. Con el paso de los años, el inmueble se vio afectado por diversos sismos haciendo necesarias las reparaciones correspondientes. Fue hasta el sismo de 1871 cuando los daños ocasionados llevaron a la necesidad de reponer la cubierta por otra, con un sistema de arcos y con elementos laminares, alfardas, cruceros y jabalcones. Los daños observados después del sismo del 19 de septiembre de 2022 son:

Figura 5.2. *Planta arquitectónica de la Basílica de Nuestra Señora de la Salud.*



a) *Planta hipotética*



b) *Planta actual*

Fuente: Torres (2017).

- 1) Agrietamiento en muros con aplanado de adobe (figura 5.3a)
- 2) Agrietamiento en muros de la sacristía (figura 5.3b)
- 3) Agrietamiento en la puerta de acceso (figura 5.3c)
- 4) Daño en la zona del dintel (figura 5.4a)
- 5) Daño en la zona de intersección de muros (figura 5.4b)
- 6) Daños en la fachada principal, que ya había sido reparada anteriormente en el segundo nivel en el frontón y en el arranque del campanario (figura 5.5)
- 7) Daños en la zona del coro (figura 5.6a)
- 8) Daños en los arcos y muros del sotocoro (figura 5.6b)
- 9) Daño en la intersección del arco con muro lateral (figura 5.6c)

Figura 5.3. Agrietamiento en muros de la Basílica de Nuestra Señora de la Salud



a) Muros con aplanado de adobe



b) Muros de la sacristía



c) Zona de acceso

Fuente: elaboración propia.

Figura 5.4. Daño en zona de dintel y de intersección



a) Daño en la zona de dintel



b) Daño en la zona de intersección

Fuente: elaboración propia.

Figura 5.5. Fachada principal y detalles de daños en el segundo nivel, frontón y arranque del campanario



a) Fachada



b) Segundo nivel y frontón
y arranque del campanario

Fuente: elaboración propia.

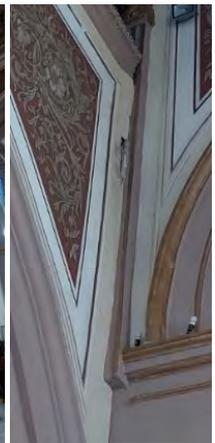
Figura 5.6. Daños en el interior de la *Básilica de Nuestra Señora de la Salud*



a) Daño en la zona de los arcos
y muro del sotocoro



b) Detalle
del arco del sotocoro



c) Intersección del
arco con muro lateral

Fuente: elaboración propia.

Parroquia de San Miguel Arcángel, Aquila

La Parroquia de San Miguel Arcángel, se encuentra localizada en la ciudad de Aquila, Michoacán, en la calle Cuauhtémoc 24, Zona Centro. Se trata de una edificación de patrimonio religioso de la que no se cuenta con datos de su construcción, pero según los párrocos, data de 1990. Es una estructura de una sola nave formada por marcos y arcos de concreto reforzado. Las cubiertas se encuentran resueltas con losas macizas de concreto reforzado. La fachada es lisa con aplanado sencillo en el que se marcan las aristas con un mayor espesor y diferente color, así como el acceso principal. A los costados tiene dos cuerpos a semejanza de torres en los que se desplantan campanarios de dos cuerpos. En geometría no son exáctamente iguales. La planta del transepto es cuadrada con una cubierta a cuatro aguas. El elemento que se desempeña como tambor se compone de cuatro superficies planas dando sustento a la cubierta. En la figura 5.7 se muestra la fachada de la parroquia antes de la ocurrencia del sismo y con algunos daños debidos al sismo.

Figura 5.7. Fachada de la Parroquia de San Miguel Arcángel, Aquila



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

En la fachada posterior, debajo de donde se ubica el campanario (figura 5.8a) y en la columnas en las que se apoya la linternilla, habían daños severo (figura 5.8b).

Figura 5.8. Daños en facha posterior y en la linternilla



a) Vista posterior del campanario



b) Desprendimiento del aplanado y daño en la linternilla

Fuente: elaboración propia.

En la parte superior de la cubierta se presentó daño severo en el tambor, en algunos casos se presentaron agrietamientos del orden de 1.0 cm de ancho, desprendimiento completo del aplanado y agrietamiento en los muros de los huecos de los ventanales. Gran parte de estos daños es porque no existe confinamiento en los muros (figura 5.9).

Figura 5.9 .Daño en el tambor y ventanales de la parte superior



Fuente: elaboración propia.

En su interior, los daños fueron severos: el falso plafón de malla desplegada que pretendía simular una bóveda se desprendió, los arcos también se dañaron y los pisos se levantaron se rompieron en casi toda el área del púlpito (figura 5.10).

Figura 5.10. Vista interior de la Parroquia, con todos sus elementos estructurales con daño severo

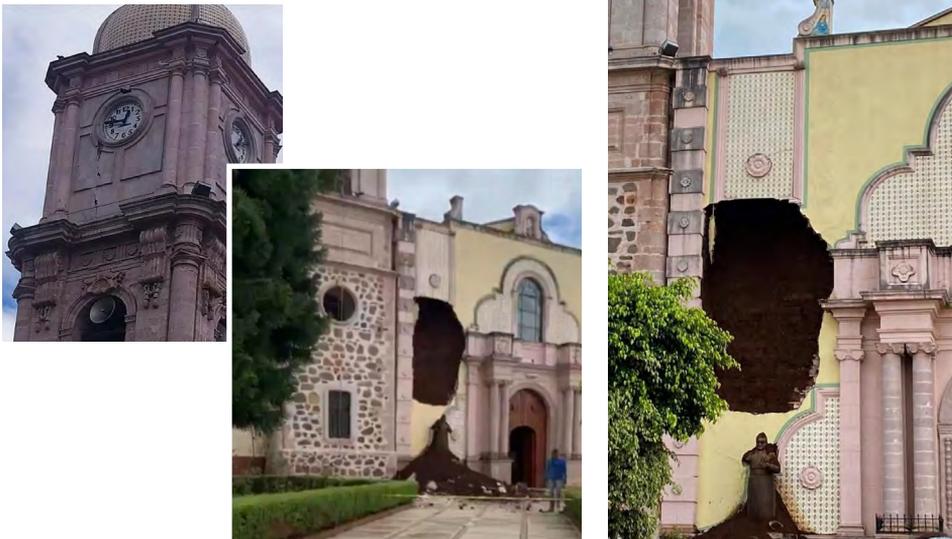


Fuente: elaboración propia.

Parroquia de San Miguel Arcángel, Tacátzcuaro

La parroquia de San Miguel Arcángel está ubicada en la calle Hidalgo Sur, núm. 10, en el centro de Tacátzcuaro. Vasco de Quiroga mandó a erigir la primera parroquia del lugar el 9 de julio de 1564. Se trata de un templo con la planta en forma de cruz con cubierta de teja. El tambor es de forma octagonal y sostiene una cubierta con pendiente a ocho aguas. Su fachada es plana con pocos detalles en cantera. La torre campanario se encuentra adosada al lado izquierdo, como una estructura independiente. El campanario es de dos cuerpos: en la parte superior hay un reloj con carátula a dos lados. Su remate es una cúpula con orbe y cruz metálica. Los principales daños se presentaron en los muros construidos con mampostería de adobe. En la Figura 5.11 se muestra el daño en la fachada principal, en donde se pueden observar grietas en la parte baja del reloj, desprendimiento de los muros de adobe fuera de su plano y más daño, en la junta de la torre y también la en fachada.

Figura 5.11. *Daños estructurales en la fachada de la Parroquia de San Miguel Arcángel, Tacátzcuaro*



Fuente: elaboración propia.

Capilla Guadalupe del Cobre, Coalcomán

La capilla de Guadalupe del Cobre se encuentra ubicada en Prolongación Álvaro Obregón, núm. 876, Centro, en Coalcomán. En sus inicios, Coalcomán era una comunidad indígena purépecha que fue conquistada por los españoles en 1530. Ha tenido un desarrollo agrícola y minero desde el siglo XIX (Espejel, 1992). La capilla es parte del patrimonio religioso de la comunidad, y está estructurada con muros de mampostería y una cubierta de losa maciza de concreto reforzado. Su fachada es simple, sin detalles, únicamente la puerta de acceso y una pequeña ventana. Flanqueando la fachada se encuentran dos campanarios de tres cuerpos, cuya estructura es de concreto reforzado que simula arcos de mampostería. En la figura 5.12 se muestra la fachada principal y daños en su interior, principalmente en elementos decorativos.

Figura 5.12. *Fachada y daños en elementos decorativos, Capilla de Guadalupe del Cobre*



Fuente: elaboración propia.

Los materiales que servían de recubrimiento en techos y muros, se desprendieron en el interior de la capilla, también el relleno que servía de ajuste en el cambio de nivel de la cubierta (figura 5.13).

Figura 5.13 .Daños en el interior de la Capilla de Guadalupe del Cobre



Fuente: elaboración propia.

Capilla Chacalapa, el Coire

La capilla Chacalapa se encuentra ubicada en el poblado de El Coire, municipio de Aquila. Es de patrimonio religioso de la comunidad. Se trata de una estructura sencilla resuelta con muros de mampostería sin confinar, su cubierta es de lámina apoyada sobre elementos de madera. La cubierta no cuenta con un anclaje eficiente sobre los muros y éstos no tienen elementos de confinamiento, por lo que es una estructura que se puede considerar como de alta vulnerabilidad ante eventos sísmicos (figura 5.14).

Figura 5.14. Daños estructurales en la capilla Chacalapa, el Coire

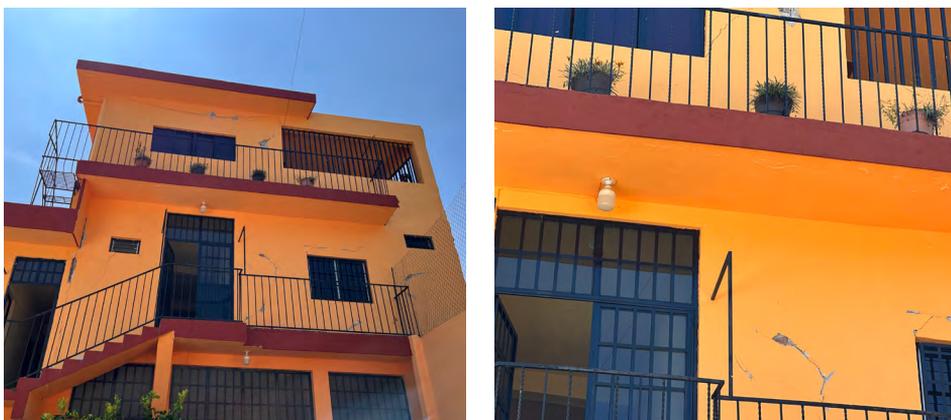


Fuente: elaboración propia.

Convento San Francisco, Coalcomán

El convento de San Francisco se encuentra ubicado en Vicente Guerrero, núm. 19, Coalcomán. Una edificación de patrimonio religioso, con una estructura relativamente reciente de mampostería con elementos adicionales como columnas y traveses de concreto reforzado. Es una edificación producto de la autoconstrucción y se desarrolló en función de las necesidades del convento, con condiciones de irregularidad en planta y en elevación. En la figura 5.15 se muestra la fachada posterior del convento, donde se observan dos cuerpos a diferentes alturas, puertas y ventanas sin confinar, por lo que durante el evento sísmico se presentaron agrietamientos en casi todos los muros de esta fachada.

Figura 5.15. Vista general de la fachada posterior del convento y daño en los muros



Fuente: elaboración propia.

En la parte del segundo nivel del convento es en donde se presentaron la mayoría de los daños. En la figura 5.16 se muestra la vista interior de los dormitorios ubicados en la parte superior del convento.

Figura 5.16. Vista interior de los daños estructurales en muros de los dormitorios



Fuente: elaboración propia.

Iglesia del Coire

La iglesia de la comunidad El Coire es una estructura de patrimonio religioso. Se encuentra resuelta con muros de mampostería y no cuenta con elementos de confinamiento. La cubierta es de lámina apoyada sobre tablas que transmiten su carga a elementos de madera, las cuales por carecer de las uniones adecuadas no pueden denominarse armaduras. Los muros de la fachada presentan agrietamiento vertical y diagonal en la parte inferior. El campanario tiene una estructura de concreto reforzado formada con traveses y columnas, en esta el confinamiento es deficiente por lo que se dañó fácilmente (figura 5.17).

Figura 5.17. Daños estructurales en la capilla de El Coire



Fuente: elaboración propia.

Iglesia de Pomaro, Aquila

La comunidad de Pomaro pertenece al municipio de Aquila, es una de las de origen nahua (Monzoy, 2006). La iglesia tiene una forma simple de un nivel con una cubierta de lámina apoyada sobre perfiles rolados en frío, que transmiten su carga apoyándose sobre muros de mampostería confinada. Tenía un falso plafón que se desprendió parcialmente de la cubierta (figura 5.18).

Figura 5.18. Vista interior de la iglesia de Pomaro



Fuente: elaboración propia.

Iglesia de Pueblo Nuevo, Aquila

El Pueblo Nuevo es una comunidad perteneciente al municipio de Aquila. Su templo es sencillo, su estructura es de muros de mampostería sin elementos de confinamiento con una cubierta de lámina metálica que se apoya sobre tablas que, a su vez, transmiten las cargas a vigas de madera. Estas últimas se apoyan sobre los muros. No hay un anclaje adecuado entre los diferentes elementos que constituyen la estructura (figura 5.19), lo que permitió su caída.

Figura 5.19. Daño estructural en la iglesia de Pueblo Nuevo



Fuente: elaboración propia.

San Juan de Alima, Aquila

La comunidad de San Juan de Alima pertenece al municipio de Aquila. La iglesia de la comunidad es de un solo nivel, con una planta rectangular. La cubierta es de lámina de asbesto sobre un perfil metálico a manera de viga, simplemente apoyada y sobre muros perimetrales de mampostería con confinamiento. Los anclajes y apoyos no son los adecuados, ésta provocó que la lámina perdiera soporte y se desplomara (figura 5.20).

Figura 5.20 .Vista general del interior del templo y daños estructurales



Fuente: elaboración propia.

Templo San Francisco, Zamora

El templo de San Francisco se localiza en Melchor Ocampo, oriente esquina con Hidalgo sur, en el centro de la ciudad de Zamora, Michoacán. Los franciscanos iniciaron aquí su labor de evangelización entre 1580 y 1717 se inicia con la construcción del templo. En 1863 un incendio destruyó la iglesia y se tuvo que reconstruir. En 1886 se funda el templo de San Francisco, aunque los trabajos de construcción y decoración finalizaron en 1906 (Sigaut, 1991). Se trata de un templo de una nave con portada neoclásica. Los muros son de mampostería con una cubierta de tejas sobre envigado de madera. Por la parte interior hay un cielo raso profusamente decorado. La fachada es de una sola entrecalle y tiene dos niveles que sobresalen del plano principal, por lo que el rosetón queda en el plano interno. Se remata con un cupulín apoyado sobre cuatro pilastras. Al lado izquierdo se desplanta la torre campanario que es hueca, teniendo en su interior las escaleras de acceso. El campanario es de dos cuerpos: el remate es un elemento con altura considerable sobre el que se encuentran el orbe y una cruz de cantera, en la parte posterior del campanario se pueden apreciar elementos de concreto reforzado que, de acuerdo con los comentarios de los pobladores, fueron colocados como refuerzo después del sismo de 1985. Durante el

sismo de septiembre de 2022, una pieza de cantera que servía de ornamento y que se encontraba en la fachada, se desprendió (figura 5.21). En general la estructura no presentó daño.

Figura 5.21. Vista general de la fachada principal del templo y desprendimiento de una de sus piezas



Fuente: elaboración propia.

Templo La Purísima, Zamora

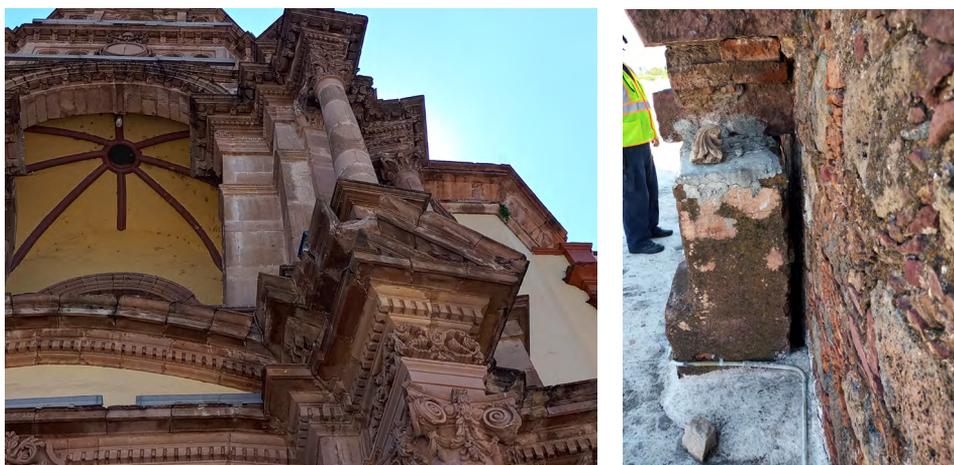
El templo La Purísima se encuentra ubicado en la esquina que forman las calles de Cristóbal Colón poniente con Madero sur, en el centro de la Ciudad de Zamora. Sus antecedentes se remontan a mediados del siglo XIX. Se comenta que ante la grave epidemia de cólera morbus que se desató en la ciudad entre marzo y julio de 1850, la población solicitó la intercesión de la Inmaculada Concepción y la epidemia cesó en forma inmediata. El 8 de marzo de 1851 se inicia su construcción (Sigaut, 1991). Aparentemente, entre 1948 y 1950, se realizaron trabajos importantes dentro de los cuales se cambió la cubierta de teja y viguería de madera por una retícula de traveses de concreto reforzado apoyadas sobre muros de mampostería y columnas

de concreto. Se retiraron todos los detalles arquitectónicos y se dejaron muros lisos.

Los daños que se presentaron después del sismo del 19 de septiembre de 2022 indican que, aun cuando la torre del campanario se consideró como una estructura independiente a la nave, la junta constructiva no fue realizada adecuadamente, en el nivel de la cubierta y en el arranque del primer cuerpo, en la figura 5.22, se muestra la vista general de la fachada principal. También se observa que la junta entre el campanario y el muro del templo se hizo más evidente, por lo que los pobladores pensaron que el agrietamiento del lado de la fachada era un aviso de que la torre estaba en una situación de colapso inminente.

Durante la inspección visual, la brigada subió hasta la parte superior del campanario para verificar de qué tipo de daño se trataba, sin embargo, se comprobó que la torre es una estructura independiente del cuerpo principal y que la junta se había marcado, que tenía material deshecho de construcción conocido como cascajo eso era lo que se había caído, sin embargo, si es necesario que se le dé mantenimiento al campanario en su parte superior, ya que existen elementos de cantera que pueden desprenderse.

Figura 5.22. *Junta constructiva entre la torre del campanario y el cuerpo principal el templo*



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Santuario del Señor de los Milagros, Uruapan

El santuario del Señor de los Milagros se localiza en la calle Lázaro Cárdenas, núm. 70, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Uruapan. El 20 de febrero de 1943 surgió el Volcán Paricutín cuya actividad duró nueve años. El 3 de mayo de 1944 la lava llegó a los límites del pueblo y días después salieron todos los habitantes de la población, haciendo una peregrinación encabezada por la imagen del Señor de los Milagros. A los habitantes de la extinta población se les otorgaron terrenos en una zona cercana a Uruapan, donde se fundó un nuevo pueblo al que se le llamó Nuevo San Juan Parangaricutirimícuaro y se constituyó, además cabecera municipal en 1950.

El santuario del Señor de los Milagros se trata de una estructura de reciente edificación. La mampostería se resolvió aparentemente, con una amplia fachada de tres niveles con ornamentación de cantera estilo ecléctico. Remata con un frontón en el que se colocó un reloj. Flanquean la fachada dos torres campanario con dimensiones considerables. No cuentan con aplanado alguno, quedando el aparejo de la mampostería a simple vista. Las

torres, en su parte superior tienen ventanales en forma de estrella de seis puntas. Los campanarios son de tres cuerpos que conservan prácticamente la misma sección, con ocho pilastras distribuidas de forma rectangular.

En su interior, el templo es de tres naves y se estructura con cúpulas soportadas por arcos fajones. Las cúpulas tienen molduras que dan la apariencia de bóvedas de crucería. Los arcos torales son de mayor altura. El tambor de la cúpula principal está formado por columnas separadas en las que se colocaron ventanales para dar iluminación al interior.

Debido al sismo de septiembre de 2022, se presentaron agrietamientos en la bóveda, en el arranque de las columnas, en la bóveda inmediata al coro y en los muros de intersección (figura 5.23).

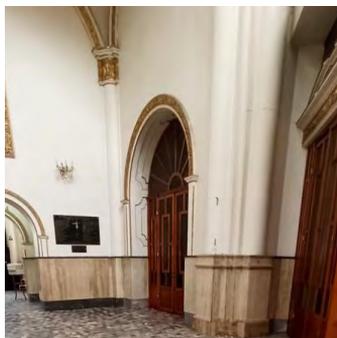
Figura 5.23. Daños estructurales en el santuario del Señor de los Milagros



a) Bóveda del Santuario



b) Arranque de columnas



c) Intersección de muros

Fuente: elaboración propia.

En la figura 5.24 se muestra el agrietamiento que se presentó en los arcos del campanario.

Figura 5.24. Daño en los arcos del campanario



Fuente: elaboración propia.

Parroquia de Santiago Apóstol, Chilchota

La parroquia de Santiago Apóstol se encuentra ubicada en la calle Aquiles Serdán 10, en el centro de Chilchota. Se trata de un edificio construido por la orden franciscana en el siglo XVI. Es de una sola nave y tiene planta con forma de cruz latina con crucero y capillas laterales. Su cubierta está resuelta con un techo de viguería y entablado. Cuenta con un coro y con dos torres-campanario, una de ellas más alta que la otra, de plantas cuadradas, y campanarios de un cuerpo con remate de cúpula. Al exterior hay una torre-campanario de ladrillo aparente de 10 cuerpos con reloj, cuya construcción es del año 2012 (Contreras, 2006). La fachada principal presenta un portón de acceso mediante arco dovelado de medio punto con molduras, enmarcado por columnas pareadas adosadas al

muro de estilo compuesto con pedestal y rematadas con un arquitrabe, encima del cual se encuentran alineados una ventana central y dos nichos laterales. La fachada es coronada por un imafrente con cornisa moldurada, conserva una cenefa vertical en ambos extremos correspondientes a la primera etapa de construcción, al igual que la puerta porciúncula abierta sobre el muro norte lo que la destaca es la presencia de perlas isabelinas talladas en la posta y en el perímetro del alfiz. La cubierta de estructura de madera y viguerías tiene una configuración exterior a dos aguas en la nave principal y a cuatro en el área del crucero, toda cubierta con teja de barro.

En la figura 5.25 se muestra la fachada principal de la parroquia de Santiago Apóstol y los daños que sufrió debido al sismo de septiembre de 2022, también se observan desprendimientos de la fachada, en la intersección del campanario izquierdo y en el arranque de las pilastras del campanario.

Figura 5.25. Parroquia de Santiago Apóstol



a) Fachada principal

b) Campanario izquierdo

c) Arranque de pilastras

Fuente: elaboración propia.

En la figura 5.26 se observa la reparación de algunas grietas y humedades con adobe estabilizado con paja, el agrietamiento en los muros sobre el zoclo de terrazo y el movimiento de la clave del arco en la puerta porciúncula.

Figura 5.26 .Detalles de los daños en la Parroquia de Santiago Apóstol



a) Reparación de grietas

b) Muros sobre zoclo de terrazo en la puerta porciúncula

c) Movimiento de la clave del arco

Fuente: elaboración propia.

San Juan Bautista, Pamatácuaro, los Reyes

El templo de San Juan Bautista se encuentra localizado en el pueblo de Pamatácuaro, municipio de Los Reyes. Debido al sismo de septiembre de 2022, el frontón arqueado de la fachada sufrió de golpeteo con el arranque del campanario (figura 5.27).

Figura 5.27. Daño por interacción de la fachada con el campanario en el templo San Juan Bautista



Fuente: elaboración propia.

San Pedro Apóstol, Paracho

El templo de San Pedro Apóstol se encuentra en las calles Lic. Eduardo Ruíz e Independencia, Paracho. En la figura 5.28 se observan grietas en el arranque del arco y entre la cubierta y el arco; además se presentaron caídos del material de cubierta y agrietamiento vertical en algunos muros.

Figura 5.28. Agrietamiento en el arranque del arco, y entre la cubierta y el arco



a) Arranque del arco

b) Agrietamiento entre la cubierta y el arco

c) Desprendimiento de la cubierta

Fuente: elaboración propia.

Parroquia de Santiago Apóstol, Sahuayo

La parroquia de Santiago Apóstol en Sahuayo se encuentra ubicada en la esquina que forman las calles Morelos e Insurgentes. Los daños que se presentaron, básicamente, fueron en los elementos no estructurales, existieron desprendimientos de algunos elementos de cantera tanto al interior del recinto como en su parte externa (figura 5.29).

Figura 5.29. Desprendimiento de elementos no estructurales en el interior y exterior del recinto



Fuente: elaboración propia.

Templo de Santiago Apóstol, Tangamandapio

El templo de Santiago Apóstol se ubica en la calle Benito Juárez 4, Centro, Santiago Tangamandapio, Michoacán. El templo presenta los siguientes daños: agrietamiento en cornisas, en los muros laterales y en las columnas del campanario, desprendimiento de algunos elementos de las cornisas, y grietas en el intradós del arco de acceso (figura 5.30).

Figura 5.30. Daños menores en cornisas, pilastras y muros laterales

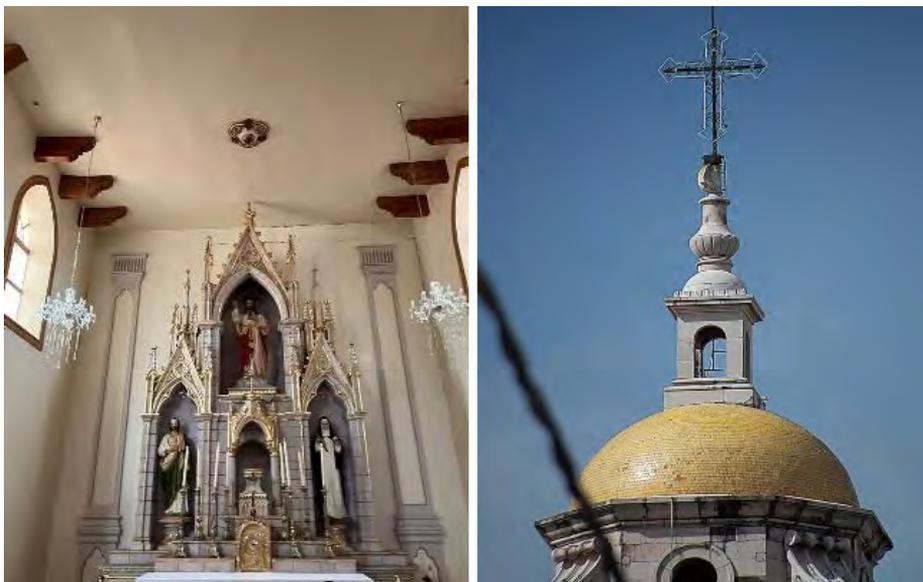


Fuente: elaboración propia.

Santuario del Santo Cristo Milagroso, Tanhuato

El Santuario del Santo Cristo Milagroso se encuentra ubicado en el pueblo de Santa Inés, municipio de Tocumbo. Durante el sismo del septiembre de 2022, presentó agrietamiento horizontal de los muros del atrio (figura 5.31).

Figura 5.31. Agrietamiento en el muro del altar mayor, Santuario del Cristo Milagroso



Fuente: elaboración propia.

San Francisco de Asís, Corupo

El templo de San Francisco de Asís se localiza en el pueblo de Corupo, Uruapan. El templo data de 1542 y fue construido con muros de adobe y piedra y la cubierta es de madera. Se finalizó su construcción en 1661. Cuenta con algunos elementos del barroco como gárgolas con motivos de serpientes. En la figura 5.32 se muestra que durante el sismo se desprendieron los aplanados de muros.

Figura 5.32. *Desprendimiento de aplanados de muros*



Fuente: elaboración propia.

Parroquia Santa Ana, Zirosto

La parroquia de Santa Ana se encuentra ubicada en la población de Zirosto, municipio de Uruapan. Se trata de una estructura formada por una cubierta de lámina apoyada sobre tablas que transmiten la carga a envigados de madera. El conjunto de la cubierta se apoya sobre muros de mampostería irregular sin confinamiento. En su caras exterior e interior, la mampostería se trabajó con piedras rostreadas sin aplanados. Se utilizó adobe para completar el espesor de la parte interna del muro. En la figura 5.33 se muestran los daños en el muro de piedra de la parroquia.

Figura 5.33. *Daños en el muro de mampostería de la parroquia Santa Ana*



Fuente: elaboración propia.

San Miguel Arcángel, Villamar

El templo de San Miguel Arcángel se encuentra ubicada en el centro de Villamar, cabecera municipal. Durante el sismo de septiembre de 2022, se presentaron daños en las columnas del campanario y desprendimiento de material de la fachada principal hacia el exterior (figura 5.34).

Figura 5.34. *Desprendimiento de elementos de la fachada y daño en las columnas del campanario*



Fuente: elaboración propia.

Templo Santiago Apóstol, Coalcomán

El templo de Santiago Apóstol se encuentra ubicado en la calle de Vicente Guerrero 19, Centro, Coalcomán. Este lugar permaneció aislado mucho tiempo hasta que se instalaron minas de hierro en el siglo XVII. Desde esa época se tiene registro de la existencia de la parroquia. Hay referencias que indican que el templo tuvo una cúpula que, tras el gran sismo del 19 de abril de 1941, de magnitud 7.6, tuvo daños severos. Se trata de un templo con planta de cruz latina, que cuenta con una fachada de una sola calle y dos cuerpos que rematan en pares de columnas, en ambos niveles. El acceso es sencillo, está rematado por un arco de medio punto con fa-

brica en cantera. En la parte superior se encuentra un ventanal. El conjunto es rematado por un frontón moldurado. La fachada es flanqueada por torres que se elevan hasta la altura de la fachada, nivel a partir del cual se desplantan campanarios de dos cuerpos. Cuentan con placas que indican un evento el año de 1949, aunque no se indica que sea la fecha de su edificación. La cubierta actual es de una estructura de acero formada por vigas a dos aguas espaciadas, regularmente sobre las que se apoyan largueros de perfiles rolados en frío. La superficie de la cubierta es de lámina y es recibida por los largueros. Las vigas tienen redondos de acero cruzados como elementos de arriostamiento en ambos planos. La cubierta de las capillas del transepto se ha resuelto de la misma manera. La cubierta de la nave central cruza recta por lo que alineadas con los muros se colocaron dobles vigas de acero para recibir el sistema de cubierta. Durante el evento del 19 de septiembre se presentaron agrietamientos en los muros de transepto, en los muros laterales y en su interacción con los soportes de la cubierta (figura 5.35).

Figura 5.35. Agrietamiento en la zona de transepto y de la cubierta



Fuente: elaboración propia.

En la parte exterior existió daño debido a la interacción del muro pretil de la cubierta y el templo, aparentemente esas grietas ya existían y se volvieron a marcar (figura 5.36).

Figura 5.36. Interacción entre el muro pretil y los muros de la fachada del templo



Fuente: elaboración propia.

Criterios de intervención

Durante el desarrollo de las actividades de evaluación estructural se encontró una gran diversidad de edificios de patrimonio religioso. Desde monumentos históricos hasta pequeñas capillas recién edificadas con los recursos y técnicas de comunidades aisladas en la montaña. Para la sociedad en general, ya sea que se trate de pequeñas comunidades o grandes urbes, todas sus iglesias, capillas o templos son importantes, pues cumplen con un fin específico. Por tanto, al hablar de este tipo de edificaciones se debe contemplar una diversidad de sistemas estructurales. Quizá los más antiguos ya han sufrido algún daño, modificaciones o adaptaciones a lo largo de su existencia y, con el tiempo, pasan a formar parte de su propia historia. En ocasiones la intervención en estructuras históricas debe ser realizada con criterios específicos que permitan preservar ese carácter histórico, principalmente si cuentan con declaratorias de monumentos o sean parte del patrimonio de la humanidad (UNESCO, 1972).

Durante los meses de septiembre y octubre de 2022, con las brigadas formadas por alumnos y profesores, se realizaron recorridos físicos con el objetivo de identificar las tipologías de daños en algunos de los sistemas

estructurales denominados de patrimonio religioso. Con base en un inventario de infraestructura dañada, de la tipología de sistemas estructurales en conjunto con su comportamiento y los daños observados es posible diseñar estrategias de intervención con bases claras y objetivos pertinentemente especificados.

El enfoque actual de la normatividad existente se encuentra orientada a edificaciones contemporáneas con sistemas estructurales convencionales. Las estructuras patrimoniales quedan fuera de ese contexto, por lo que los responsables de los proyectos y autoridades deben considerar filosofías de diseño congruentes con el contexto general.

En los últimos años, dentro de las alternativas de diseño, los métodos basados en el desempeño han demostrado ser una herramienta útil ya que permiten definir la demanda sísmica de acuerdo con el grado de desempeño que la sociedad espera de la ingeniería estructural. Una intervención debe tener como una premisa fundamental la definición de sus criterios el conocer y preservar los valores intrínsecos de las edificaciones (ICOMOS, 1964). También, dentro del criterio del desempeño, se pueden emplear sistemas no convencionales de control de respuesta. Sistemas como el aislamiento de base y los osciladores de masa sintonizadas son algunos de los elementos que ofrece la tecnología actual. Estos sistemas de control permiten disminuir el nivel de aceleraciones que el sismo impone a la estructura logrando niveles de esfuerzos compatibles con la resistencia de la mampostería empleada en una edificación de patrimonio arquitectónico. Desgraciadamente su diseño e implantación no resuelve todos los problemas a los que se enfrenta el equipo de restauración.

Conclusiones

Los eventos ocurridos en septiembre de 2022 causaron los mayores daños en la zona Costa Sierra del estado de Michoacán. Las carreteras sufrieron deslaves y caídas de rocas que interrumpieron la comunicación durante días. Es de suma importancia, para las autoridades locales y de protección civil, contar con las opiniones y evaluaciones que personal técnico calificado pueda realizar físicamente en sitio. Por ello es de suma relevancia la presencia

de brigadas conformadas por ingenieros, profesores y alumnos de ingeniería con especialización en ingeniería estructural. Y que estas brigadas puedan realizar inspecciones y evaluaciones determinando la tipología de los sistemas y elementos estructurales, su comportamiento y que se provea de la correcta interpretación del tipo de fallas encontradas. Con base en estos reportes, los comités regionales y estatales pueden definir estrategias de apoyo en labores de reparación, refuerzo y reconstrucción.

Se han realizado varios recorridos físicos por diferentes poblaciones, desde las cercanas a la región epicentral del estado hasta aquellas donde se solicitó por parte de las autoridades una evaluación o inspección de una estructura de patrimonio religioso.

Los elementos estructurales más vulnerables de las iglesias son las partes altas de torres y campanarios, las fachadas y los apéndices. Los elementos que más problemas presentan al sistema estructural son las cúpulas, bóvedas y fachadas. Los contrafuertes han contribuido con la resistencia y rigidez del sistema en forma importante durante eventos sísmicos pasados.

La evaluación de la seguridad estructural de un edificio histórico no debe basarse únicamente en cálculos numéricos; sino también en las evidencias sobre el comportamiento del edificio ante eventos pasados. Uno de los problemas para la evaluación de edificios históricos es la falta de experimentación acerca de las propiedades de los materiales y procesos constructivos que han sido empelados en las distintas épocas históricas en que fueron construidos.

En este trabajo se presenta un resumen de los daños observados y un concentrado de la tipología de daños y adicionalmente se establecen criterios generales de intervención. Es de suma importancia que se difundan las técnicas y criterios empleados en la intervención de estructuras de patrimonio. Deben de tomarse acciones de capacitación a los profesionales del diseño y la construcción a través de las regionales de los colegios de profesionales. Por otro lado, es necesario que en las escuelas y facultades de arquitectura e ingeniería se haga énfasis en la conservación del patrimonio a través de cursos y conferencias.

El tiempo que se dedique a la preparación y capacitación debe incluir a mediano plazo la visualización de la planificación para contingencias desde las comunes hasta las catástrofes más severas. Planificar con anticipación

permite ganar tiempo y que resulta vital después de la ocurrencia de un evento extraordinario.

Agradecimientos

Se agradece a los alumnos de la licenciatura en ingeniería civil y del posgrado de estructuras que participaron activamente durante las evaluaciones estructurales, además, el apoyo proporcionado por las autoridades municipales y estatales para realizar dicha actividad. Se agradece a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, quién por medio de la Facultad de Ingeniería Civil y de la Coordinación de la Investigación Científica proporcionaron los medios y el apoyo administrativo para la realización de las actividades en campo.

Referencias

- Alcocer S., Aguilar G., Flores L., Durán L., López-Bátiz, O., Pacheco M., Uribe C. y Mendoza M. (1999). *El sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999* (Informe IEG/01/99). Cenapred.
- Aguilar, C., Guerrero, J. y De la Cruz, L. B. (2002). *Restauración de edificios históricos en Chiapas*. XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.
- Contreras, M. (2006). *Catálogo de la arquitectura patrimonial de la Cañada de los once pueblos*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Espejel Carbajal, C. (1992). *Caminos de Michoacán ... y pueblos que voy pasando*. INAH.
- Feilden, B. M. (1987). *Entre dos terremotos: Los bienes culturales en zonas sísmicas*. ICCROM. ICOMOS (Consejo Internacional de Monumentos y Sitios). (1964). *Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y de conjuntos históricos-artísticos (Carta de Venecia)*. II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, Venecia, Italia.
- Jara, M. (1999). *Informe sobre el sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999* [Reporte interno de la Facultad de Ingeniería Civil]. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Jara-Díaz, M., Jara-Guerrero, J., Aguilar-Carboney, J. y Varum, H. (2007). *Rehabilitación de iglesias dañadas en México: Dos casos de estudio*. V Seminario de Arquitectura de Terra en Portugal. https://ria.ua.pt/bitstream/10773/8409/1/D_005.pdf
- Meli, R. (1998). *Ingeniería estructural de los edificios históricos*. Fundación ICA.
- Meli, R. (2003). *Patologías en edificios históricos dañados por sismo*. VII Congreso Lati-

- noamericano de Patología de la Construcción / IX Congreso de Control de Calidad en la Construcción.
- Monzoy Gutiérrez, S. (2006). *Nahuas de la Costa-Sierra de Michoacán*. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/12533/nahuas_costa-sierra_michoacan.pdf
- Peña. (2014). *Estrategia integral de análisis complementarios para la conservación del patrimonio arquitectónico*. I Simposio Nacional de Ingeniería Estructural de Construcciones Históricas, Guanajuato, México.
- Rodríguez Esteves, J. (2004). Los desastres de origen natural en México: El papel del FONDEN. *Estudios Sociales: Revista de Investigación Científica*, 12(23), 73–96.
- Sigaut, N. (1991). *Catálogo del patrimonio arquitectónico del Bajío zamorano*. El Colegio de Michoacán. <http://colmich.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1016/562>
- Torres Garibay, L. A. (2017). Estereotomía de la cubierta de la Basílica de la Salud de Pátzcuaro, Michoacán, México. En *Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción* (vol. 3, pp. 1643–1654). sedhc. [http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/Torres Garibay.pdf](http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/Torres%20Garibay.pdf)
- UNESCO. (1972). *Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural*. UNESCO. <https://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf>

