

EL SISMO DE AQUILA, MICHOACÁN,

19 DE SEPTIEMBRE DE 2022


COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA



Hugo Hernández Barrios
Manuel Jara Díaz
(coordinadores)

El sismo de Aquila, Michoacán
19 de septiembre de 2022



Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autenticación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autenticación antiplagio. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto.



www.comunicacion-cientifica.com

[DOI.ORG/10.52501/cc.266](https://doi.org/10.52501/cc.266)




**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS

CC+
COLECCIÓN
**Ciencia e
INVESTIGACIÓN**

El sismo de Aquila, Michoacán
19 de septiembre de 2022

HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS
MANUEL JARA DÍAZ
(coordinadores)



El sismo de Aquila, Michoacán : 19 de septiembre de 2022 / Hugo Hernández Barrios, Manuel Jara Díaz (coordinadores). — Ciudad de México : Comunicación Científica, 2025. (Colección Ciencia e Investigación).

194 páginas : ilustraciones, fotografías ; 23 × 16.5 centímetros

ISBN: 978-607-2628-34-2

DOI: 1052501/cc.266

1. Terremoto de Aquila, 2022. 2. Terremoto — Aquila (Estado ; Michoacán) — 2022. 3. Trabajos de rescate. I. Hernández Barrios, Hugo, coordinador. II. Jara Díaz, Manuel, coordinador.

LC: HV600 S57

Dewey: 945.780925 S57

La titularidad de los derechos patrimoniales y morales de esta obra pertenecen a las autoras D.R. © Hugo Hernández Barrios y Manuel Jara Díaz, 2025. Reservados todos los derechos conforme a la Ley. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2025

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta

Fotografía de portada: Wendi Verónica Hernández Padilla, “Daño estructural en casa-habitación ubicada en la Sierra-Costa de Michoacán”, septiembre de 2022



Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., 2025

Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,

Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México,

Tel.: (52) 55-5696-6541 • Móvil: (52) 55-4516-2170

info@comunicacion-cientifica.com • www.comunicacion-cientifica.com

 comunicacioncientificapublicaciones  @ ComunidadCient2

ISBN 978-607-2628-34-2

DOI 10.52501/cc.266



Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos.
El proceso transparentado puede consultarse, así como el libro en acceso abierto,
en <https://doi.org/10.52501/cc.266>

Índice

<i>Prefacio</i>	11
<i>Carta de los editores</i>	13
1. Plan de emergencia y la responsabilidad social universitaria. <i>Claudia Margarita García Paulin, Mario Salazar Amaya</i> <i>y Hugo Hernández Barrios</i>	17
Introducción.	18
Estimación de viviendas en rezago	20
Desarrollo de las actividades.	25
Plan de emergencias	30
Conclusiones	33
Agradecimientos	34
Referencias.	34
2. Metodología de evaluación y equipo utilizado durante la inspección estructural. <i>José Luis Moreno Torres,</i> <i>Hugo Hernández Barrios y Carlos Arce León</i>	37
Introducción.	38
Antecedentes	43
Metodología de evaluación.	46
Dictamen estructural	56
Aplicación para teléfono celular	58

Desarrollo de la aplicación	60
Conclusiones	64
Agradecimientos	64
Referencias.	65
3. Sismicidad en el estado de Michoacán. <i>Ricardo Vázquez Rosas, Gerardo León Soto y Jesús Arturo Muñoz Jauregui</i>	67
Introducción.	68
Contexto geodinámico de Michoacán	71
Resultados	77
Regiones sismogénicas del estado de Michoacán	81
Conclusiones	87
Referencias.	87
4. Características del movimiento sísmico. <i>Iván Francisco Huergo Ríos, Hugo Hernández Barrios y Juan Gerardo Alcántar Sánchez</i> .	91
Introducción.	92
Demanda sísmica	94
Intensidad del movimiento	96
Parámetros sísmicos	98
Agradecimientos	108
Referencias.	109
5. Evaluación del daño en estructuras de carácter religioso. <i>Hugo Hernández Barrios, Carlos Arce León, y Manuel Jara Díaz.</i>	111
Introducción.	112
Basílica de Nuestra Señora de la Salud, Pátzcuaro.	115
Parroquia de San Miguel Arcángel, Aquila.	120
Parroquia de San Miguel Arcángel, Tacátzcuaro.	124
Capilla Guadalupe del Cobre, Coalcomán	125
Capilla Chacalapa, el Coire	126
Convento San Francisco, Coalcomán	127
Iglesia del Coire	128
Iglesia de Pomaro, Aquila	129
Iglesia de Pueblo Nuevo, Aquila.	130

San Juan de Alima, Aquila	130
Templo San Francisco, Zamora	131
Templo La Purísima, Zamora	132
Santuario del Señor de los Milagros, Uruapan	134
Parroquia de Santiago Apóstol, Chilchota	136
San Juan Bautista, Pamatácuaro, los Reyes	138
San Pedro Apóstol, Paracho	139
Parroquia de Santiago Apóstol, Sahuayo	139
Templo de Santiago Apóstol, Tangamandapio	140
Santuario del Santo Cristo Milagroso, Tanhuato.	141
San Francisco de Asís, Corupo	141
Parroquia Santa Ana, Zirosto	142
San Miguel Arcángel, Villamar	143
Templo Santiago Apóstol, Coalcomán	143
Criterios de intervención.	145
Conclusiones	146
Agradecimientos	148
Referencias.	148
6. Daños en las viviendas a causa del sismo de septiembre 19 de 2022. <i>Manuel Jara Díaz, Hugo Hernández Barrios y Juan Gerardo Alcántar Sánchez</i>	151
Introducción.	152
Daños en estructuras típicas de viviendas	153
Muros de mampostería simple sin confinamiento.	154
Muros de mampostería enmarcados por elementos de madera .	158
Muros de adobe sin confinar.	160
Paredes de bajareque	161
Paredes formadas con elementos de madera	162
Pórticos con techos soportados por una viguería de madera. . .	163
Otros tipos de estructuración	164
Daños en estructuras con elementos de concreto	167
Falta de mantenimiento	170
Elementos no estructurales	171
Recomendaciones.	173

Conclusiones	175
Agradecimientos	176
Referencias.	177
7. Evaluación de daños en edificios públicos. <i>Blanca Alicia Flores González, Miguel Angel Hueramo Escutia y Cesar Marín Sandoval</i> .	179
Introducción.	180
Ayudantía de Aquila	181
Encargatura de Cachan de Santa Cruz	182
Encargatura de el Coire.	183
Casa comunal de Pomaro	183
Encargatura de Pomaro.	184
Administración de rentas de Coalcomán	185
Centro de rehabilitación de Coalcomán	185
DIF municipal de Coalcomán	186
Juzgado mixto de Coalcomán	186
Mercado municipal de Coalcomán	187
Edificio Ceba, Pátzcuaro	188
Conclusiones	188
Agradecimientos	189
<i>Sobre los autores</i>	191

Prefacio

El 19 de septiembre de 2022 a las 13:05 h ocurrió un evento sísmico en las costas del Pacífico mexicano, muy cerca de los municipios de Aquila y Coalcomán en el estado de Michoacán, México. Este fenómeno tuvo lugar en la llamada *zona de subducción* entre la placa tectónica de Cocos y la de Continental Norteamericana. El Servicio Sismológico Nacional, ssN, reportó que el sismo tuvo una magnitud de 7.7 Mw y hasta las 20:00 h del 31 de diciembre de 2022, se habían registrado 13 140 réplicas, siendo la más grande, la del 22 de septiembre con magnitud de 6.9 Mw. En los últimos 100 años, se han presentado más de 40 sismos de subducción con magnitud igual o mayor a 7.0, de los cuales destaca el del 19 de septiembre de 1985, de magnitud 8.1 Mw, que tuvo su epicentro a 45 km al noroeste de la Mira, Michoacán.

La región Sierra Costa de Michoacán, está integrada por los municipios de Aquila, Arteaga, Chinicuila, Coahuayana, Coalcomán de Vázquez Pallas, Lázaro Cárdenas y Tumbiscatío. Las comunidades de estos municipios fueron las más afectadas, aunque existieron daños menores en otros municipios como Apatzingán, Uruapan, Zamora, entre otros.

El día 1° de octubre de 2022, fue publicado en el Periódico Oficial de la Federación el acuerdo por el que se emitió la Declaratoria de Desastre Natural a cuatro de los municipios más afectados del estado de Michoacán pertenecientes a la Sierra Costa, además de Apatzingán.

Se estimó que el monto de los daños provocados por el sismo fue de 400 millones de pesos. Se presentó daño en viviendas (3 300), escuelas (863),

centros de salud (41), hoteles, iglesias, oficinas administrativas y comercios. Además, se vieron afectadas la infraestructura urbana, puentes, carreteras, terraplenes, cortes carreteros. Eso obstaculizó el tráfico vehicular en las carreteras cercanas al epicentro en Michoacán.

La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), por medio de la Facultad de Ingeniería Civil, respondió al llamado de las autoridades estatales y municipales, colaborando con la evaluación de las estructuras dañadas por medio de brigadas formadas por profesores especialistas y alumnos de la misma institución, quienes asistieron a las comunidades de la costa de Michoacán, para tal efecto.

Este documento deja constancia de la participación social de la UMSNH, pero sobre todo contribuye al impulsar de nueva cuenta las actividades sociales, culturales, académicas, económicas y de salud, de los habitantes de las comunidades afectadas, y que fueron drásticamente interrumpidas por las afectaciones. Además se busca difundir el conocimiento sobre estos fenómenos, sus consecuencias, las causas y las medidas necesarias para mitigar las pérdidas.

Carta de los editores

La elevada actividad sísmica en la República Mexicana, particularmente en la costa del Pacífico, provoca la pérdida de vidas humanas, daños a la infraestructura urbana carretera e industrial; pérdidas económicas y la interrupción de los servicios de salud, educativos, de comunicación, comerciales, administrativos, entre otros. Esta grave situación exige que se estudie a fondo el fenómeno sísmico y sus consecuencias sobre las construcciones, en especial en las zonas más afectadas por temblores.

Entre las actividades que deben desarrollarse para mitigar las consecuencias que se mencionan, son relevantes los estudios de peligro sísmico, que incluyan todas las fuentes sismogénicas, posibles amplificaciones por efectos de sitio y la incorporación de la cada vez más abundante información de registros instrumentales.

Por lo que respecta a la vulnerabilidad de las construcciones, es necesario analizar la información proveniente de los sismos destructivos, de manera que las experiencias adquiridas enriquezcan el conocimiento de la respuesta estructural y de las medidas de prevención y protección que deben adoptarse para reducir el impacto del fenómeno sísmico. Especialmente se considera que es importante difundir los siguientes aspectos, relacionados con la inspección y evaluación postsismo:

- a) Preservar la memoria sísmica de los distintos lugares afectados, con los datos y consecuencias provocados por los temblores, para el estudio del riesgo sísmico en cada región del país.

- b) Informar sobre las dificultades para realizar la inspección de daños, de manera que sirvan de experiencia en futuras visitas, tales como: la accesibilidad a las zonas afectadas, potenciales peligros encontrados en las estructuras dañadas, equipo y material necesario para la inspección, acceso a las instalaciones, entre otros.
- c) Identificar los sistemas estructurales con los que se construye en cada región, y analizar su respuesta ante temblores destructivos.
- d) Estudiar los tipos de daño más comunes y asociarlos con el uso del inmueble, características generales de la construcción, materiales empleados y sistemas estructurales.
- e) Definir los materiales típicos de construcción en los lugares afectados por el sismo.
- f) Identificar aquellas estructuras que se rehabilitaron previamente al temblor, para estudiar la eficiencia y problemas surgidos de las medidas de refuerzo y reparación consideradas.
- g) Dejar constancia de los daños y comportamiento observado en las construcciones de la región, especialmente en estructuras de uso comunitario como: hospitales, iglesias, escuelas, mercados, y en general, edificios públicos, para que se cuente con los antecedentes y toda la información relevante para verificar la seguridad y comportamiento de dichas estructuras ante eventos futuros.
- h) Describir las experiencias de la inspección y de las evaluaciones post-sismo que se desarrollaron en las zonas siniestradas.
- i) Comentar las experiencias en la interacción con la comunidad: las facilidades que brindan los pobladores y autoridades para la realización de la inspección y evaluación de las estructuras, la comunicación con los ocupantes de los inmuebles en relación a la historia de cada construcción, daños previos, daños observados en el sismo, preocupaciones de los usuarios sobre la seguridad y uso de los inmuebles afectados y también, describir los problemas que pueden surgir con la comunidad durante las inspecciones.
- j) Establecer recomendaciones generales sobre prácticas de construcción, estructuración, inspección y evaluación estructural en la región.

El presente libro pretende registrar y difundir la mayor parte de estos aspectos para que sirvan de experiencia de lo ocurrido el 19 de septiembre de 2022, en la región Sierra Costa de Michoacán y otros municipios importantes del estado, como Apatzingán, Uruapan, Zamora, entre otros.

Es importante reconocer el trabajo y apoyo de los estudiantes de licenciatura de la Facultad de Ingeniería Civil, del director, Dr. Ramiro Silva Orozco, de las autoridades estatales y municipales de Michoacán, especialmente del Arq. Miguel Ángel Sandoval Rodríguez, de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano de Michoacán (SEDATU), del Ing. José María Valencia Guillén, presidente municipal de Aquila, del licenciado Bladimir Castañeda Mendoza, de la Unidad de Protección Civil del municipio de Aquila y, en general, de las autoridades de los ayuntamientos de las zonas afectadas en Michoacán. Con esta labor, la UMSNH y la Facultad de Ingeniería cumplen con el objetivo de apoyar a las comunidades del estado en caso de emergencia.

Este trabajo no hubiera sido posible sin el invaluable apoyo del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Michoacán (ICTI), por medio de los proyectos de investigación PICIR-027-2022 “Seguridad estructural en Michoacán, después de la ocurrencia de los sismos de septiembre de 2022” y PICIR-027-C “Vulnerabilidad eólica de estructuras de baja altura, ubicadas en la Sierra-Costa de Michoacán”. Además, agradecemos el apoyo de la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH, por medio del Proyecto de Investigación 2024, cuyo responsable técnico es el Dr. Hugo Hernández Barrios.

Esperamos que la información contenida en este documento tenga un beneficio para la sociedad en general, y para la comunidad de ingenieros civiles, en especial de la ingeniería sísmica y estructural, y contribuya a enfrentar el gran reto que representan los temblores que aquejan a nuestro estado y al país.

HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS
profesor titular “C”
Facultad de Ingeniería Civil
UMSNH

MANUEL JARA DÍAZ
profesor titular “C”
Facultad de Ingeniería Civil
UMSNH

Editores técnicos

1. Plan de emergencia y la responsabilidad social universitaria

CLAUDIA MARGARITA GARCÍA PAULIN*

MARIO SALAZAR AMAYA**

HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.266.01>

Resumen

Debido al sismo ocurrido en la costa de Michoacán en septiembre de 2022, se presentaron diversos daños estructurales en varios municipios del estado. La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) cumpliendo con su responsabilidad social, participó con la organización de brigadas técnicas, formadas por docentes y alumnos, para la realización de las evaluaciones estructurales en el sitio del desastre. Se concluye que es importante contar con un plan de emergencia que incluya avances tecnológicos, científicos y sociales, además de estrategias que permitan vincular la responsabilidad social de la población universitaria para coadyuvar con la revisión, valoración y disminución de los efectos causados por fenómenos naturales en la sociedad michoacana.

Palabras clave: *plan de emergencia, responsabilidad social e infraestructura.*

* Doctora en Gestión y Valoración Urbana. Profesora titular de asignatura, B, en la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0641-8008>; correo: claudia.garcia@umich.mx

** Doctor en Ingeniería Civil. Profesor-investigador titular A, en la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7331-4813>

*** 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>

Introducción

La región IX Sierra Costa del estado de Michoacán está formada por los municipios urbanos de Aquila, Arteaga, Coahuayana, Coalcomán de Vázquez Pallares, Chinicuila, Lázaro Cárdenas y Tumbiscatío, los cuales, además del municipio de Apatzingán, fueron las zonas donde más daño causó el sismo del 19 de septiembre del 2022. Cercana a la costa de Michoacán se localiza en una zona sísmica conocida como el *Cinturón de Fuego del Pacífico*, en donde existe la presencia de un grado alto de sismicidad en México.

Debido al riesgo sísmico de esta zona se deben organizar periódicamente simulacros con el objeto de contar con un plan de emergencia. Dicho plan debe identificar los elementos y edificaciones sísmicamente vulnerables clasificándolas, según el posible nivel de daño que puedan presentar. También deben considerarse las afectaciones en la infraestructura carretera, sanitaria, eléctrica, del medio ambiente, entre otras, pero no debe olvidarse de la importancia de la estructura socio organizativa de la población.

De acuerdo con datos del gobierno de Michoacán, en lo que se refiere a la información sociodemográficos la zona Sierra Costa, se presenta:

- 1) Un índice de desarrollo humano muy alto en el municipio de Lázaro Cárdenas; alto en Coahuayana y los demás municipios con un índice de desarrollo humano medio y bajo.
- 2) El 35.9% de la población que habita la región se encuentra en situación de pobreza moderada.
- 3) El 11.6% de la población se encuentra en pobreza extrema.

El desarrollo económico se enfoca en las siguientes actividades productivas:

- 1) La agricultura es abundante en la región y de buena calidad, con producción de sorgo, avena, frijol, ajonjolí, sandía, limón, pepino, jitomate, guanábana, jamaica, entre otros, y recientemente se incorporó el cultivo de arroz.
- 2) La ganadería existente consiste en algunos productores de ganado bovino, porcino y aves de corral.

- 3) Los recursos forestales con los que cuenta la región son suficientes para hacer de ésta una de las más importantes actividades.
- 4) En cuanto a la dinámica industrial, el municipio de Lázaro Cárdenas concentra el 47% de la industria del estado. Existe fabricación de cemento, concreto asfáltico, cal, yeso y otros materiales de construcción. También es importante la producción de aceites esenciales, químicos, fertilizantes y bebidas purificadas, así como la preparación y envasado de frutas, fabricación de muebles de maderas tropicales. Se cuenta con un parque industrial en la isla Cayacal.

En lo que se refiere al medio ambiente y patrimonio cultural, la zona Costa Sierra es de las más rica del estado en paisaje y valor ambiental:

- 1) Se encuentran playas de enorme belleza como los son Maruata, Bucerías, el estero de Pichi, lo que la constituye uno de sus principales atractivos. Incluso hay desove de tortugas que atrae la atención de los turistas. Las cuencas del río Coalcomán y del río Nexpa son ideales para turismo de aventura.
- 2) Otras de sus actividades es la artesanía, ubicada principalmente en el municipio de Aquila y Arteaga.
- 3) Se cuenta con zonas consideradas como áreas naturales protegidas como son Barrancón en Chinicuila, La Chichihua en Coalcomán, y Lagunas Costeras y Serranías aledañas de la costa de Michoacán pertenecientes a Coahuayana y Aquila.

En este tema existe la presencia de una orografía irregular, con laderas inestables ya que cuando ocurren los movimientos sísmicos, desplazan el terreno natural rompen con la estabilidad ocasionan reblandecimiento del terreno y erosionan las laderas. Además, existen otros factores que determinan la inestabilidad de estas, como son el clima, el tipo de suelo (edafoología), el tipo de rocas (geología), la forma del terreno (topografía) y la deforestación. Sumado a esto, existen las acciones artificiales que están relacionadas con las excavaciones o cortes que se realizan para extraer materiales, construir carreteras o preparar el terreno para la construcción de casas.

La infraestructura edificada es del tipo horizontal y dispersa, este modelo de ocupación del suelo representa el patrón de desarrollo, así como las condiciones de riesgo al que están expuestos al encontrarse en su mayoría construcciones de uno y dos niveles. También las condiciones socioeconómicas de la zona.

Tan solo en la zona afectada, el cálculo de rezago habitacional a nivel municipal, permite conocer el estado actual de las viviendas en una escala local y es actualizado con el censo de población y vivienda 2020 con una periodicidad de diez años.

Estimación de viviendas en rezago

Según los indicadores del rezago, precariedad habitacional y de la exposición ante amenazas climáticas (INEGI, 2020b), una zona se encuentra en condición de *rezago habitacional* cuando se cumple con al menos una de las siguientes características:

- 1) Alguno de sus elementos básicos (paredes, techo o pisos) está construido con materiales enlistados en la tabla 1.1.
- 2) La vivienda no cuenta con excusado.
- 3) Sus habitantes se encuentran en hacinamiento (residen 2.5 o más personas por cuarto).

Tabla 1.1. *Componentes que determinan el rezago habitacional en México*

Componente	Variable	Categoría
Materiales deteriorados	Paredes	Material de desecho: lámina de cartón; carrizo, bambú o palma; embargo o bajareque
	Techo	Material de desecho; lámina de cartón; palma o paja
Materiales regulares	Paredes	Lámina de asbesto o metálica; madera
	Techo	Lámina metálica; lámina de asbesto; madera o tejamanil; teja
	Piso	Tierra
Precariedad de espacios	Hacinamiento	Habitan más de 2.5 personas por metro cuadrado
	Servicio sanitario	No cuentan con excusado

Fuente: elaboración propia con información de Conavi (2015).

En la figura 1.1 se muestra la configuración estructural de las viviendas y comercios típicos de la zona centro de las cabeceras municipales y de las zonas alejadas de dichas cabeceras. Las edificaciones de mampostería de uno a dos niveles son comunes en la zona centro o próximas a la plaza municipal. En las colonias alejadas de las cabeceras municipales, o en las llamadas *cofradías*, las características de las viviendas cambian radicalmente, siendo en su mayoría de un nivel con muros de mampostería no confinada o de adobe. El techo consiste en lámina metálica, asbesto, fibrocemento, madera o paja.

Figura 1.1. Configuración estructural de la vivienda típica en algunos municipios de la Costa-Sierra



Vivienda típica en Coalcomán, centro.



Vivienda y/o comercio típico en Aquila, centro.



Vivienda típica en las Cofradías del Coire y Pomaro, municipio de Aquila, Michoacán.

Por lo tanto, el rezago habitacional se construye a partir de tres componentes principales:

- 1) Materiales deteriorados
- 2) Materiales regulares
- 3) Precariedad en espacios

En la tabla 1.2 se observa qué en los municipios ubicados en la zona afectada por el sismo, existe un alto rezago habitacional, por ejemplo, en el municipio de Aquila, es de 73%, y en Chinicuila de 87%.

Tabla 1.2. *Rezago habitacional municipal (2020), métrica Viviendas*

Municipio	Con rezago	Sin rezago	Total	Porcentaje		Porcentaje de viviendas con respecto a la zona
				Con rezago	Sin rezago	
Apatzingán	16 283.0	18 145.0	34 428.0	47.30	52.70	30.26
Aguila	4 258.0	1 571.0	5 829.0	73.05	26.95	5.12
Arteaga	3 485.0	2 310.0	5 795.0	60.14	39.86	5.09
Chinicuila	1 160.0	172.0	1 332.0	87.09	12.91	1.17
Coahuayana	2 716.0	1 986.0	4 702.0	57.76	42.24	4.13
Coalcomán	3 336.0	2 248.0	5 584.0	59.74	40.26	4.91
Lázaro Cárdenas	13 690.0	40 721.0	54 411.0	25.16	74.84	47.82
Tumbiscatío	1 304.0	402.0	1 706.0	76.44	23.56	1.50
			113,787			

Fuente: elaboración propia con información de Siesco (2022).

En los municipios que se agrupan en la zona Sierra Costa de Michoacán, se encuentran 1 330 edificaciones del subsector educativo de diferentes niveles (tabla 1.3), sin embargo, la revisión estructural que se hizo por parte de las brigadas formadas por estudiantes y profesores de la facultad de ingeniería civil de la UMSNH, se realizó únicamente en los municipios de Aguila, Coalcomán y Apatzingán.

Tabla 1.3. *Número de escuelas y alumnos en ellas, Municipios de la Sierra Costa de Michoacán*

Municipio	Escuelas	Alumnos
Apatzingán	330	25 138
Aguila	272	7 469
Arteaga	146	5 067
Chinicuila	68	1 062
Coahuayana	58	3 631
Coalcomán	98	4 099
Lázaro Cárdenas	321	38 615
Tumbiscatío	37	1 199

Fuente: elaboración propia con información de SEP (2022).

En la figura 1.2 se muestra la configuración estructural típica de las edificaciones educativas en la región declarada como desastre. De forma similar a la vivienda, la configuración estructural de los edificios educativos

no es la misma en las cabeceras municipales que en las comunidades, aunque la variación no es radical, ya que la mayoría de los edificios educativos fueron certificados, en su momento, por el extinto Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas (CAPFCE), por medio del subcomité de escuelas y posteriormente por el organismo descentralizado del gobierno federal especializado en infraestructura física educativa, Inifed, y en Michoacán por la dirección general de dicho Instituto.

Figura 1.2. Configuración estructural de algunos de los centros educativos ubicados en Aquila, Michoacán



Escuela primaria en Aquila



Centro de educación inicial en Aquila



Escuela indígena en el Coire



Telebachillerato No. 17 en el Coire



Primaria Vasco de Quiroga, la Placita, Aquila



Educación inicial en Aquila

Desarrollo de las actividades

La Facultad de Ingeniería Civil, FIC, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en el marco de la responsabilidad social, tuvo a bien aplicar acciones de respuesta organizadas y coordinadas con un grupo de expertos docentes y estudiantes de licenciatura y de posgrado en estructuras. Durante el mes de octubre de 2022, las brigadas se desplegaron en los municipios de Aquila, Apatzingán y Coalcomán, apoyados por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu), Delegación Michoacán, y por las Autoridades de los Ayuntamientos de las zonas afectadas en Michoacán.

Antes de la visita en campo, se impartieron tres cursos de capacitación de las actividades a desarrollar por parte de los profesores, dirigido a 50 alumnos que participarían en las actividades de evaluación (figura 1.3).

Figura 1.3. Curso de capacitación por parte de los profesores para los alumnos que participaron como líderes de las brigadas



Fuente: elaboración propia.

En sitio se organizaron brigadas formadas por docentes con especialidad en estructuras, vías terrestres y ordenamiento territorial, y con los alumnos de licenciatura y posgrado con especialidad en estructuras (figura 1.4). Las acciones de respuesta inmediata permiten conocer la situación de emergencia y establecer, valoraciones de los niveles de afectación de las estructuras afectadas por el sismo.

Figura 1.4. *Formación de brigadas de trabajo*

Fuente: elaboración propia.

La sensibilización de los brigadistas ante la valoración técnica es fundamental, ya que aportan una variable al modelo de respuesta inmediata, mediante la asistencia con enfoque psicosocial, lo que disminuye la crisis emocional por la que se encuentran las personas en situación de emergencia. Es importante mencionar que el acercamiento social de los brigadistas con la población ayuda a disminuir la crisis, el estrés, ansiedad, temor, y hasta incertidumbre de las personas. Ahí está la importancia de su participación, ya que su intervención proporciona soluciones y respuestas con información que espera conocer el habitante en estado de vulnerabilidad. Se dice que se provoca una disminución de la tensión emocional, siendo esta moderada, por la presencia de especialistas técnicos y su acercamiento (figura 1.5).

Figura 1.5. *Brigadas formadas por alumnos y profesores de la FIC-UMSNH*

Fuente: elaboración propia.

La función del brigadista técnico es acercarse con empatía a la población de Aquila, Apatzingán y Coalcomán, como lo sugiere Baldwin (1979). Por ello, para abordar e introducirse en la crisis, se realizara lo siguiente:

- Definió el problema (abordar sentimientos, tomar decisiones).
- Identificó o por lo menos conoció parcialmente el miedo subyacente provocado por la estructura dañada.
- Abonó a la reducción de efectos desagradables o incómodos relacionados con el sismo.

La intervención cumplió con lo que sugiere Slaikeu (1998), se siguieron los cinco pasos de ayuda social, técnica especializada:

- 1) Hacer contacto psicológico.
- 2) Examinar las dimensiones del problema.
- 3) Explorar soluciones posibles.
- 4) Ayudar a tomar una acción concreta.
- 5) Registrar el proceso de seguimiento.

El apoyo pretendió contribuir con la resiliencia de las personas, por ejemplo, con los habitantes que sufrieron una afectación directa en sus viviendas, es decir, los que sufrieron alguna pérdida de su vivienda, al momento de la entrevista con el brigadista, su impacto emocional se liberó al describir el momento del siniestro y ser escuchado por un técnico. Algo parecido sucede con el habitante de una comunidad que de alguna manera sufrió de forma indirecta el efecto perturbador del evento, es decir, que alguno de sus familiares perdió su vivienda. Tener contacto con los brigadistas disminuyó la incertidumbre por la condición de su familiar.

Las brigadas de alumnos y profesores de la UMSNH, fueron acompañadas por los brigadistas responsables de la protección civil municipal, con el objetivo de generar sinergias para intervenir en la emergencia, atendiendo a las personas con dudas e incertidumbre sobre sus viviendas. En este sentido el brigadista FIC UMSNH proporcionó información preliminar sobre el dictamen técnico para mitigar la incertidumbre de los habitantes (figura 1.6).

Figura 1.6. Brigadista realizando las evaluaciones en la zona afectada



Fuente: elaboración propia.

Los estados de vulnerabilidad psicológicos de la sociedad se disminuyeron por la presencia de los técnicos, abonando al bienestar social de la población y de las autoridades locales. Hoy en día es importante vincular la responsabilidad social universitaria en acciones en beneficio de la sociedad, como es el caso de Aquila, la UMSNH, Sedatu y el ayuntamiento.

Por ello se propuso considerar las siguientes acciones, destacando la importancia de que el brigadista intervenga en el sitio y permita contextualizar el dictamen técnico para garantizar el buen manejo de la información obtenida (figura 1.7):

- 1) Evitar tecnicismos, para mitigar la emergencia y generar empatía con la población.
- 2) La estructura organizacional adecuada permite una operación eficiente.
- 3) La comunicación correcta ayuda a atender la emergencia.
- 4) El plan de emergencia debe consolidarse y comunicarse a la población.

Figura 1.7. Modelo que nos permite actuar eficiente y oportunamente después de evento sísmico Cenapred (2021)



Fuente: elaboración propia con información de Cenapred (2021).

Las acciones coordinadas suman a las tareas de detectar conductas de riesgo entre los habitantes, por ejemplo, la detección y canalización de acciones permitirán ubicar el grado de afectación y a quien le corresponde la recuperación. Parecido a lo que realiza el Comité Permanente entre Organismos (IASC) que fue creado en 1992, cuyo fin es fortalecer la asistencia humanitaria en emergencias complejas y desastres. Está integrado por miembros de la ONU y otras instituciones, pero en este caso, es a escala municipal y con actores locales (FIC-UMSNH, Sedatu y el Municipio). En este punto se fortalecen vínculos entre los habitantes, la academia y el gobierno federal y municipal para dar seguimiento a las evaluaciones técnicas de los brigadistas.

Este escenario garantiza conocer todas las implicaciones estructurales y sociales que el desastre generó y fortalece la obtención de conclusiones apoyadas con la investigación intergubernamental y académica. Para ello se requiere una posición activa del gobierno y no pasiva-compasiva, siendo esto lo valioso del trabajo en sitio, por la intervención temprana que permitió reducir el enfoque de víctimas.

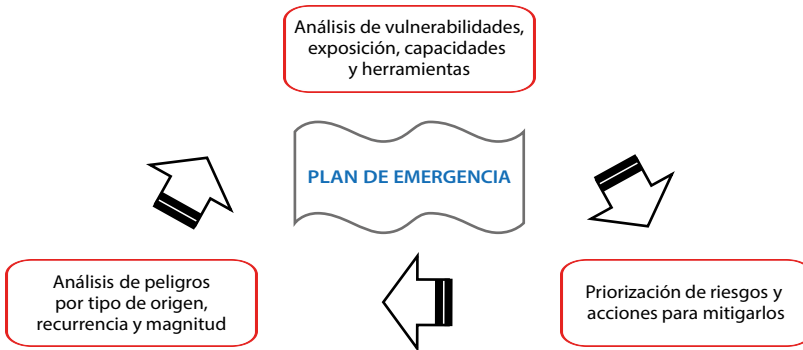
Plan de emergencias

El plan de emergencia reduce el enfoque de víctimas, y desde este contexto, es una herramienta para que la recuperación posterior al desastre, es decir, que las personas con características resilientes intenten regresar a la comunidad afectada, a un estatus lo más cercano a la normalidad. Esta oportunidad tuvo respuesta debido a la intervención de las brigadas y/o grupo interdisciplinario que colaboró. Se deben diseñar las estrategias necesarias para contar con las herramientas adecuadas para la eficiente, suficiente y oportuna respuesta para la emergencia, especialmente para cada lugar como Aquila, Coalcomán o Apatzingán, cuya probabilidad de impacto queda manifestada en el análisis de riesgos que se haya elaborado.

El plan de emergencia fue planeado, sin embargo, se adecuó en función de las necesidades y características del lugar debido a las condiciones socioeconómicas y físico-geográficas. Se implantó el modelo Cenapred Plan de Emergencias (figura 1.8), que consiste en:

- a) Análisis de vulnerabilidades, exposiciones, capacidades y herramientas con las que se tiene, para iniciar las acciones de reconocimiento de riesgos.
- b) Priorizar riesgos y acciones para mitigarlos.
- c) Análisis de peligros por tipo de origen, recurrencia y magnitud.

Figura 1.8. *Plan de Emergencia Programa Nacional de Protección Civil 2014-2018*



Fuente: elaboración propia.

Técnicamente, el plan de emergencia se define como el proceso que identifica por anticipado, las capacidades y necesidades: recursos (humanos, financieros, materiales y técnicos), estrategias y actividades que permitan implementar las medidas necesarias para disminuir el impacto negativo en la población en su conjunto ante una situación de emergencia (Cenapred, 2021). De acuerdo con Cenapred (2021), la guía básica para la elaboración del plan de emergencia de un inmueble se integra de las siguientes acciones:

- a) Elaborar un programa interno de protección civil.
- b) Construir una unidad interna de Protección Civil (definición de funciones, responsabilidades y jerarquía).
- c) Construir brigadas del Programa Interno de Protección Civil.
- d) Analizar peligros (recurrencia, magnitud de daños posibles.)
- e) Analizar la vulnerabilidad (exposición, capacidades).
- f) Analizar recursos a proteger (instalaciones, documentos, maquinaria, etc).
- g) Contabilizar, sistematizar y verificar recursos disponibles: humanos capacitados, materiales (maquinaria, equipo, operarios, etc), financieros y tecnológicos.
- h) Evaluar escenarios de riesgo.
- i) Priorizar riesgos.
- j) Analizar Sistemas de alerta.
- k) Determinar procedimientos.
- l) Determinar ayudas externas (grupos de emergencia, autoridades, grupos de la sociedad civil).
- m) Estructurar el plan de emergencia.
- n) Comunicar e informar el plan de emergencia a la autoridad y a los cuerpos de emergencia.
- o) Comunicar e informar del plan de emergencia a la población o usuarios.
- p) Aplicar el plan de emergencia.
- q) Evaluar el plan de emergencia.
- r) Reformular el plan de emergencia.
- s) Aplicar el nuevo plan de emergencia.

Su principal objetivo es establecer acciones rápidas, coordinadas y confiables.

El plan de emergencia de igual manera, debe reducir el tiempo de reacción ante una emergencia. La estructura del plan de emergencia de las brigadas FIC-SEDATU-Ayuntamiento aportan las siguientes propuestas:

- De los resultados del análisis de riesgo y vulnerabilidad, se está en posibilidad de establecer la organización y objetivos del plan de emergencia a futuro, proyectándolos a corto, mediano y largo plazo.
- Diseñar un cronograma de actividades, es decir, establecer tiempos de ejecución para cada una de las actividades que se definan en el plan de emergencia por localidad, así como establecer quienes serán los responsables.
- Establecer un protocolo preventivo para la toma de decisiones y contar con acciones de control para cuando la emergencia se materialice. En este caso, en octubre de 2022, se realizaron acciones coordinadas con la Secretaría de Gobierno del estado de Michoacán (figura 1.9) para establecer el protocolo de acciones preventivas sobre los efectos del sismo, como evaluaciones de daños en las estructuras de edificios habitacionales, del subsector educativo y del subsector salud, para evitar desastres de origen antrópicos por edificaciones dañadas.

Figura 1.9. Reunión de trabajo el 6 de octubre 2022, Secretaría de Gobierno, FIC y Comité de Evaluación de daños, Michoacán 2022





Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Como primera etapa se deben elaborar los estudios de riesgo y vulnerabilidad correspondientes para construir escenarios de daños y posibles consecuencias, evaluando así la utilidad de la información obtenida en sitio. Se deben hacer propuestas para deconstruir el riesgo, las cuales conllevan a la coordinación y atención de emergencias a través de adquisición de equipo, equipamiento, planeación de estrategias de ataque, control y mitigación de las emergencias y, por supuesto, la capacitación y entrenamiento específico para las brigadas.

Iniciarse con el sistema denominado Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN), para asignar los recursos de manera puntual, o bien, no verse rebasado por la magnitud de la emergencia.

¿Qué hacer después? Ya que los especialistas técnicos han realizado la valoración técnica de la inspección de los edificios y han determinado el nivel de riesgo existente, se deben dar instrucciones para el reingreso al inmueble y el reinicio de actividades cotidianas o, en caso de una afectación severa, gestionar acciones para la reconstrucción y aplicación de los recursos para zonas declaradas en riesgo por desastres naturales.

Finalmente, la integración de los planes de emergencia debe incluir procedimientos de respuesta a partir de lo dictaminado por los especialistas técnicos, en este caso apoyado en la labor y responsabilidad social universitaria de la UMSNH.

Agradecimientos

Se agradece al Gobierno del estado de Michoacán, quién por medio del Lic. Carlos Torres Piña, secretario de Gobierno del estado de Michoacán de Ocampo, y con el apoyo de SEDATU, con el Arq. Miguel Ángel Sandoval Rodríguez, delegado estatal de Michoacán, fue posible la participación de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH en las actividades de apoyo social en la zona de desastre.

De igual manera se agradece a los señores presidentes municipales de Coahuylana: Ing. Gildardo Ruíz Velázquez; del municipio de Aquila: C. José María Valencia Guillen y del municipio de Coalcomán: Carlos Vladimir; al Director Regional del ISSSTE Apatzingán: C. José Carlos Torrez Chávez.

Un especial agradecimiento para los alumnos de noveno semestre de la carrera en ingeniería civil, de las secciones 3 y 6, semestre 2022-02, que participaron en las evaluaciones estructurales.

Referencias

- Ayuntamiento de Aquila. (2022, 22 de septiembre). [Sitio web]. Gobierno de Aquila. <https://portal.mpioaquila.gob.mx>
- Ayuntamiento de Coalcomán. (2020, 1 de octubre). [Sitio web]. Gobierno de Coalcomán 2021-2024. <https://www.coalcoman.gob.mx>
- Comité Permanente Interinstitucional (IASC). (1992, junio). *Acerca de Comité Permanente entre organismos (IASC)*. ACNUR. <https://www.refworld.org/es/document-sources/inter-agency-standing-committee>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval). (2020). *Informe anual sobre situación de pobreza y rezago social*. Sedesol. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/45393/Michoacan_014.pdf
- Facultad de Ingeniería Civil (FIC). (2022, 24 de octubre). [Sitio web]. UMSNH. <https://www.fic.umich.mx/>
- Gobierno de México. (2014, 30 de abril). Decreto por el que se aprueba el Programa Nacional de Protección Civil 2014-2018. *Diario Oficial de la Federación*. <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Almacen/PNPC.pdf>
- Instituto de Planeación del Estado de Michoacán de Ocampo (2021, octubre). *Región IX Sierra Costa: Carpeta de estadística básica 2020*. Gobierno de Michoacán. <https://>

cpladem.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2022/01/Region-IX-Sierra-Costa-2020.pdf

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI). (2022, 1 de octubre).

[Sitio web]. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/>

Instituto de Planeación del Estado de Michoacán de Ocampo (IPLAEM). (2021, 1 de octubre). *Carpeta de estadística*. IPLAEM.

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu). (2020, 21 de julio). *Directorio de oficinas de representación*. Sedatu. <https://www.gob.mx/sedatu/acciones-y-programas/delegaciones-estatales>

Secretaría de Educación Pública (SEP), Sistema de Información y Gestión Educativa (SIGED). (2022, 24 de octubre). *Consulta de escuelas*. SEP. <https://siged.sep.gob.mx/SIGED/escuelas.html>

Sistema Estadístico de la Comisión Nacional de Vivienda (Siesco). (2022, 1 de octubre). *Rezago habitacional*. Conavi. <https://siesco.conavi.gob.mx/siesco/rezago.aspx>

2. Metodología de evaluación y equipo utilizado durante la inspección estructural

JOSÉ LUIS MORENO TORRES*
HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS**
CARLOS ARCE LEÓN***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.266.02>

Resumen

Se describe la experiencia adquirida durante la visita a los sitios declarados como desastre natural en Michoacán, debido al sismo de septiembre de 2022. Debido a que las comunidades con más estructuras dañadas por el sismo se encuentran en la zona Sierra-Costa de Michoacán, con alto rezago económico y carencias de infraestructura civil y de comunicación, el proceso de evaluación difiere en algunos aspectos de organización a los que se han vivido después de un sismo en las grandes ciudades. Destaca la creación de una aplicación para teléfono celular que funciona sin conexión a internet, y que permite el llenado de la cédula de evaluación en forma electrónica, para que, con las fotografías tomadas con el mismo, se forme el catálogo de daños y la ubicación de las zonas de atención prioritaria por las autoridades.

Palabras clave: *metodología de evaluación, aplicación para celular, comunidades rurales.*

* Ingeniero en Computación. Técnico académico adscrito a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2215-6503>; correo: jose.luis.moreno@umich.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/0000-0001-8515-5965>

*** 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>

Introducción

La región Sierra-Costa de Michoacán es la zona orgánica más grande del país, considerada por los agricultores como excepcional que está habitada principalmente por la comunidad nahua. El hábitat de la sierra lo enmarca una zona montañosa de clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano y con una temperatura media anual de 26 °C, la presencia de neblina es característica de la zona; la existencia de ríos y ojos de agua favorece la siembra y facilita la vida cotidiana, pero también la complica, debido a la ausencia de una adecuada infraestructura carretera, como puentes.

El hábitat costeño lo enmarca el Océano Pacífico, el clima en esa zona es caluroso, con temperatura media anual de 29 °C. Muchas playas de la costa michoacana son importantes a nivel mundial en cuanto la reproducción y anidación de las tortugas negra, golfina y laúd (figura 2.1).

Figura 2.1. Vista general de las dos zonas, sierra y costa, en el municipio de Aquila

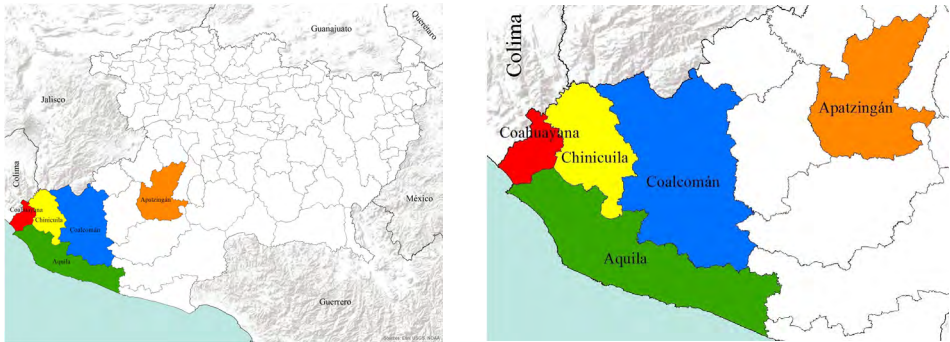


Fuente: elaboración propia.

La región sierra-costa de Michoacán está integrada por siete municipios: Aquila, Arteaga, Chinicuila, Coahuayana, Coalcomán de Vázquez Pallares, Lázaro Cárdenas y Tumbiscatío. Las cabeceras municipales (Aquila, Coalcomán, Chinicuila y Coahuayana), así como las zonas alejadas de estas, consideradas como zonas económicamente vulnerables, fueron muy afec-

tadas, debido a dos eventos sísmicos con epicentro en Michoacán, que se presentaron los días 19 y 22 de septiembre de 2022.

Figura 2.2. Ubicación de Michoacán de la zona declarada como Desastre Natural



Fuente: elaboración propia.

El día 1 de octubre de 2022 (<https://www.quadratin.com.mx/sucesos/emiten-declaratoria-de-desastre-para-5-municipios-por-sismo-del-19s/>), fue publicado en el Periódico Oficial de la Federación, el acuerdo por el que se emite la Declaratoria de Desastre Natural a los cuatro municipios afectados de la Sierra Costa (figura 2.2) además del municipio de Apatzingán. El día 3 de octubre de 2022 se estimó que, el monto de los daños provocados por los sismos de septiembre, fue 400 millones de pesos, y en las que casi 3 300 viviendas resultaron afectadas severamente. También 863 escuelas fueron afectadas, de las cuales 294 son de nivel preescolar y 274 de primaria; el reporte preliminar menciona que 41 edificios de salud también fueron afectados (<https://www.quadratin.com.mx/principal/danos-por-sismos-de-septiembre-ascienden-a-400-mdp-reporta-segob/>).

En muchas localidades de los municipios afectados existe un alto nivel de marginación, pobreza e inseguridad, lamentablemente además de ubicarse en una zona altamente sísmica, también se ubican geográficamente, en una zona de vientos huracanados, que año con año inciden sobre la región. El 5 de septiembre de 2022, tocó tierra el huracán Kay y el 18 de septiembre las tormentas tropicales Lester y Madeline, dejaron daños directos e indirectos en esas comunidades. La mayoría de las estructuras ubicadas en la zona afectada, no tienen las características de las existentes en las

grandes ciudades. Por lo general, son producto de autoconstrucción con materiales abundantes en la zona (figuras 2.3 y 2.4). Por otro lado, los reglamentos de diseño en esos municipios no se encuentran actualizados y en ocasiones son inexistentes. Entre las estructuras dañadas se encuentran escuelas, hospitales, casas habitación, centros de culto religioso y edificios públicos. La forma de realizar las evaluaciones estructurales postsismo deben ser similares a las utilizadas en las grandes ciudades, pero deben ser adaptadas a las condiciones sociales de la región, ya que algunos de los formatos de evaluación que normalmente se emplean para estructuras tipo edificio no son del todo aplicables a los entornos marginados.

Figura 2.3. Vivienda típica ubicada en el centro de Aquila, Aquila



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.4. Vivienda típica de la zona Sierra de Aquila



Fuente: elaboración propia.

En la gran mayoría de las comunidades de la sierra costa de Michoacán, actualmente, no existe una cobertura eficiente de telecomunicaciones. El día 4 de octubre de 2017, el secretario de Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Territorial, Ricardo Luna García, inició las gestiones con las empresas de telefonía Telmex y Telcel, para instalar antenas en las comunidades de la sierra costa, dado que en las zonas rurales no hay comunicación (<https://primeraplana.mx/archivos/459377>). La realidad es que a la fecha no existe cobertura en la mayoría de las comunidades afectadas por los sismos de septiembre de 2022.

En la figura 2.5 se observa la cobertura de telefonía e internet por zonas geográficas del país. Se puede ver que en Michoacán existe un gran número de comunidades que carecen de ella, especialmente de internet.

Figura 2.5. Cobertura telefónica en México



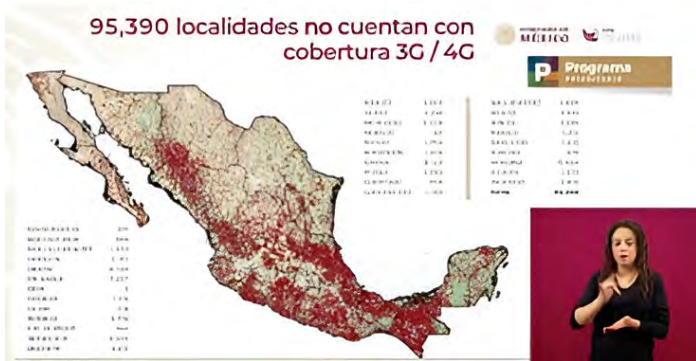
Fuente: recuperada de Islas (2020). <https://octavioislas.com/2020/05/18/14601-cobertura-telecom-en-el-dia-de-la-sociedad-de-la-informacion-samuel-bautista-mora/>

En la figura 2.6a se observa la cobertura de internet en México (<https://www.ejecentral.com.mx/internet-para-todos-incremento-meta-mensual-de-cobertura/>), los puntos en rojo son las zonas en las que no hay cobertura, los estados con más rezago, es decir, aquellos que tienen más comunidades incomunicadas son: Chiapas con 15 759; Oaxaca con 8 120; Chihuahua con 7 257; Guerrero con 5 212; Jalisco con 4 261 y Michoacán con 4 478. La zona de Michoacán en la que se ubican los municipios que

fueron declarados con afectación por desastre natural, es una zona con muchas comunidades sin cobertura telefónica ni internet.

Por otro lado, en la figura 2.6b, se observan las zonas sísmicas clasificadas por el *Manual de diseño de obras civiles* (CFE, 2015). La zona sísmica D, en la que se encuentran los municipios de la sierra costa de Michoacán, es la zona con mayor aceleración espectral. Comparando la ubicación de las comunidades en las que no existe cobertura telefónica con la zona sísmica D, se puede ver que la zona con mayor actividad sísmica en México, está carente de comunican telefónica y de internet.

Figura 2.6. Cobertura de internet y zonas sísmicas



a) Cobertura de internet en México



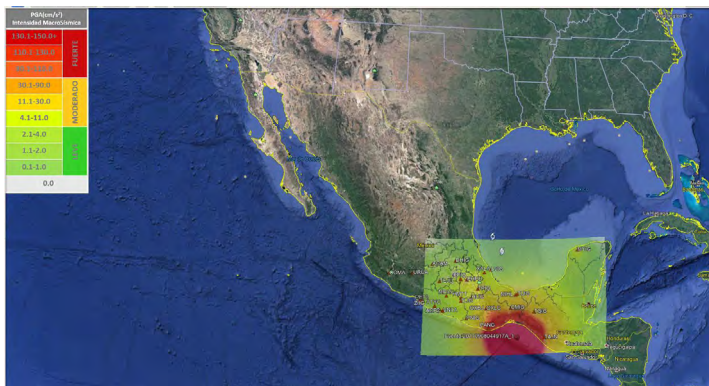
b) Zona sísmicas

Se complica la realización de las evaluaciones estructurales en las comunidades de la costa sierra, debido a que la mayoría de estas carecen de la infraestructura necesaria, la distancia entre ellas es grande y en la mayoría no hay comunicación de telefonía ni internet. Otro aspecto, es el referente al número de fotocopias de las cédulas de evaluación que hay que llevar ya que en la zona es difícil encontrar fotocopiadoras. Por esa razón, en este trabajo, se realizó una aplicación en webview del sistema Android con la posibilidad de que trabaje sin necesidad de estar conectado a internet y que permita mecanizar electrónicamente las evaluaciones.

Antecedentes

En el año 2017, ocurrieron dos sismos de magnitud importante que dejaron cuantiosos daños en estructuras y un gran número de pérdidas de vidas humanas. El primero, se presentó en la costa de Chiapas, el jueves 7 de septiembre de 2017, con magnitud 8.2 Mw con epicentro a 133 km al suroeste de Pijijiapan, Chiapas (figura 2.7). En su momento fue clasificado como uno de los sismos más intensos que se hayan sentido en el país, desde 1932. En Chiapas, se anunció una declaratoria de emergencia. Este sismo dejó 11 víctimas y una gran cantidad de estructuras dañadas en los municipios de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Tabasco, Puebla y Estado de México (Jaimés, 2017).

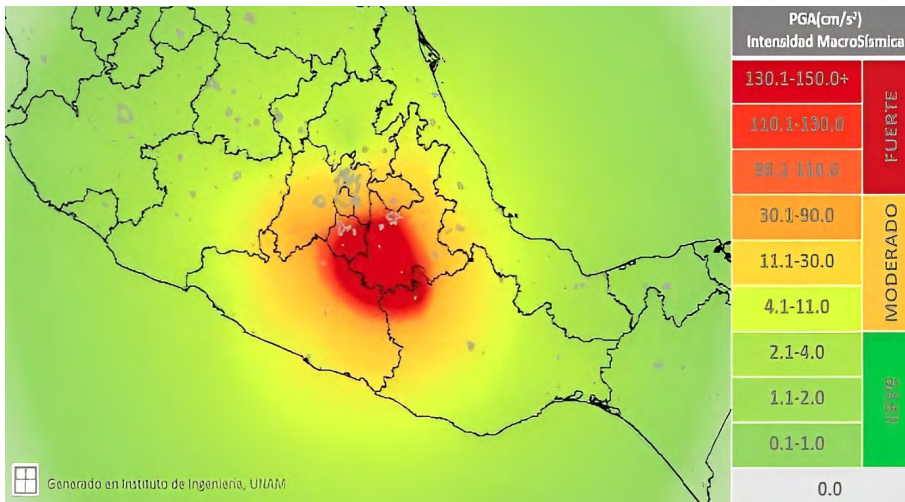
Figura 2.7. Distribución de intensidades, sismo 7 de septiembre de 2017



Fuente: recuperada de Jaimés (2017).

Afortunadamente no hubo daños considerables ni pérdidas de vidas humanas en la Ciudad de México. Por esto, las autoridades federales, los medios de comunicación y la comunidad científica, centralizadas en la capital, minimizaron la importancia de dicho evento. A pocos días de haber ocurrido el sismo en Chiapas, el 19 de septiembre de 2017, se presentó otro evento con magnitud 7.1 (SSN, 2017) con epicentro localizado en el límite estatal entre los estados de Puebla y Morelos (figura 2.8).

Figura 2.8. Intensidades máximas sísmicas del temblor del 19 de septiembre de 2017



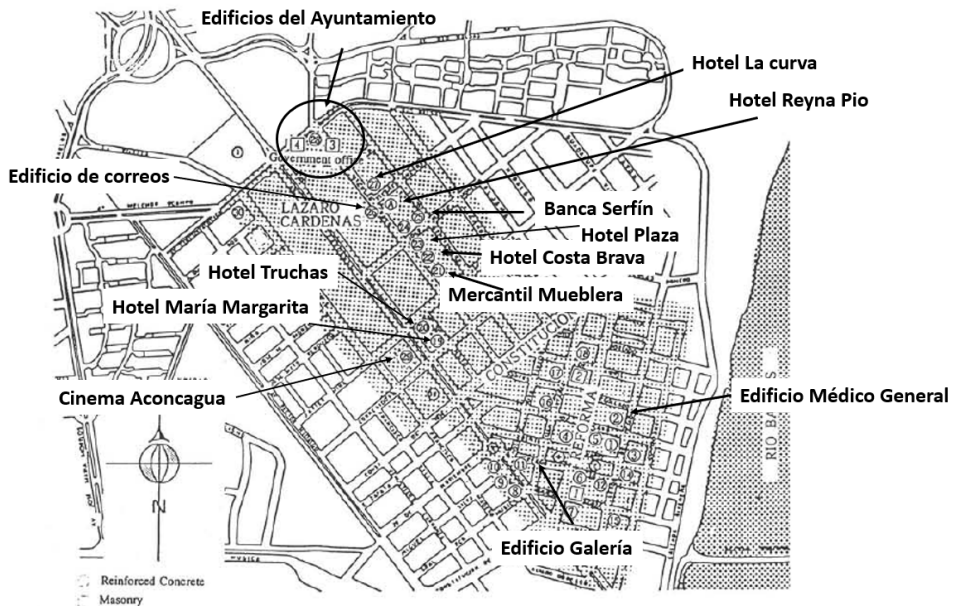
Fuente: recuperada de Jaimes (2017).

Dicho sismo, nuevamente, dejó un gran número de pérdida de vidas humanas y daños en estructuras, principalmente en los estados de Morelos, Puebla, Estado de México, Tlaxcala y en la Ciudad de México. Por el hecho de que hubo daños en la Ciudad de México, los medios científicos, los medios de comunicación y las autoridades federales, lo consideraron como un sismo histórico y mediáticamente importante.

Cuando un evento sísmico deja daños estructurales y/o pérdidas de vidas humanas, es responsabilidad de las autoridades locales, tomar las medidas necesarias para, reducir los efectos e iniciar con el proceso de evaluación de la seguridad estructural, hasta la modificación de la reglamentación de diseño, normar procesos constructivos, desarrollar planes de emergencia, etc.

Por ejemplo, el 19 y 20 de septiembre de 1985, se presentaron dos eventos sísmicos con epicentro en la costa de Michoacán, con Ms 8.1 y Ms 7.5, respectivamente. Indudablemente, los efectos que dejó este movimiento en la Ciudad de México, fueron históricos. Sin embargo, en algunos municipios próximos a la costa de Michoacán también se presentaron daños, los cuales no fueron atendidos de la misma forma que los que se presentaron en la capital. En el centro de la ciudad de Lázaro Cárdenas, Michoacán, se presentaron daños importantes y colapsaron un gran número de hoteles, comercios, escuelas y casas habitación (figura 2.9).

Figura 2.9. Zona ubicación de los daños en Lázaro Cárdenas, 1985



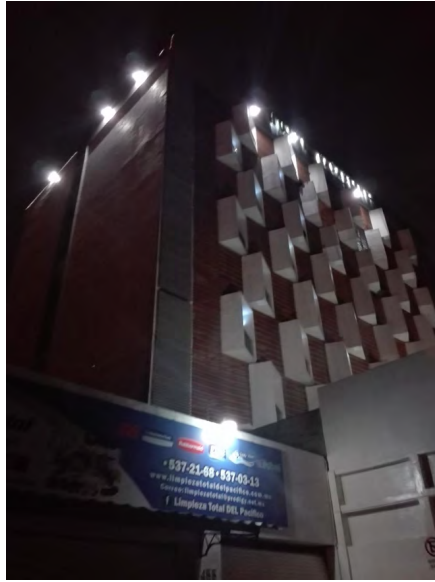
Fuente: retomada de Otani *et al.* (1995).

El puerto de Lázaro Cárdenas al ser uno de los puertos comerciales más importantes de México, iba a ser nombrado zona económica especial, por lo que se debieron haber atendido los daños en la infraestructura y actualizado el Reglamento de Construcciones de Lázaro Cárdenas, pero desde hace 37 años no ha sido así. Actualmente sus estructuras tienen una dudosa seguridad (figura 2.10).

Figura 2.10. Hotel en Lázaro Cárdenas



Daño en 1985



Sin refuerzo, 2022

Fuente: a) Otani *et al.* (1995); b) elaboración propia.

Metodología de evaluación

Después de un evento sísmico, es importante establecer el nivel de seguridad estructural que tiene la infraestructura de un sitio, con el fin de garantizar, por un lado, que los usuarios estén psicológicamente estables como para desarrollar las actividades convencionales sin la incertidumbre de no conocer el grado de afectación de la estructura en la que habitan o en la que trabajan; por otro lado, es importante apoyar a las autoridades con la toma de decisiones y el manejo óptimo de los recursos para reparar los daños, pero lo más importante es la protección de la vida de los usuarios.

Algunas instituciones nacionales han desarrollado metodologías de evaluación postsísmica adecuadas para estructuras que se ubican en la Ciudad de México, como las propuestas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (UNAM-II, 1995), por el Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM, 2011), por el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad

de México (ISC-CdMx, 2019) y por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM, 2012).

El manual de evaluación postsísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones, fue desarrollado en 1995 por el II-UNAM, a cargo del Dr. Mario Rodríguez. Posteriormente, en 1998, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, publicó esa misma guía. En los últimos años, el Colegio de Ingenieros Civiles de México, y el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México, han adoptado esta misma metodología, la cual se basó en la establecida en Estados Unidos de Norteamérica (ATC-20). La desventaja es que la metodología empleada, por el UNAM-II y el ISC, es aplicable solo para estructuras típicas que se ubican en la Ciudad de México.

El manual de evaluación tiene dos niveles: rápido (fase postsismo) y nivel 1 (semidetallado), para ambos casos se utilizan formatos de inspección. El nivel de evaluación rápida tiene como objetivo identificar el nivel de seguridad del edificio como (a) habitable o (b) de cuidado e Inseguro. La metodología de evaluación rápida es aplicable para estructuras del grupo B, con cualquier tipo de estructuración, material y uso. Los resultados son subjetivos, ya que requiere evaluadores con poco criterio ingenieril con una capacitación básica para uniformar los criterios de llenado de los formatos.

La evaluación semidetallada se realiza en estructuras importantes (grupo A) o en casos de que la evaluación rápida haya clasificado a la estructura como insegura o de cuidado o con un sistema estructural a base de elementos de concreto reforzado, de acero o muros de mampostería. Los evaluadores necesitan más conocimientos ingenieriles y experiencia profesional. El resultado de la evaluación dará lugar a una evaluación detallada.

La metodología del Colegio de Ingenieros Civiles de México se adaptó en el año 2011 con base en el manual editado por el II-UNAM, y fue usado para levantar la información de los edificios afectados por el sismo del 19 de septiembre de 2017. Esta metodología es aplicable solo para estructuras ubicadas en la Ciudad de México, como resultado de la inspección se asocian cuatro niveles de seguridad:

- 1) Edificación o área segura
- 2) De riesgo bajo

- 3) Edificación o área insegura o de riesgo alto y
- 4) Seguridad incierta

De nueva cuenta, la evaluación rápida es aplicable a estructuras del grupo A y B, con poca capacitación ingenieril, por lo que los resultados son inciertos.

La metodología del Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México (ISC-CDMX), se adaptó en 2019 y se basa en el manual de evaluación postsísmica de la Seguridad estructural de las edificaciones de 1995. Por su puesto, nuevamente solo es aplicable para estructuras ubicadas en la Ciudad de México (figura 2.11). Puede llenarse en el siguiente enlace: <https://www.isc.cdmx.gob.mx/formato-de-publicacion-del-analitico-de-procedimientos-de-contratacion-del-ejercicio-fiscal-2022/formato-de-evaluacion-postsismica-rapida>

Figura 2.11. Formatos del Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México

The image shows two forms from the ISC-CDMX for post-seismic evaluation. The left form is titled 'Forma de Inspección Postsísmica Evaluación Rápida' and includes sections for: 1. Identification and description of the building, 2. State of the building (with a table for structural damage, electrical, gas, and other issues), and 3. Global classification. The right form is titled 'Forma de Inspección Postsísmica Evaluación Detallada' and includes sections for: 4. Recommendations, 5. Comments, and 6. Inspection details (with a table for Name, Position, and Signature).

Fuente: ISC-CDMX (2019).

Metodología del Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred, 2011) tomó como base el trabajo desarrollado en 1995 por el Dr. Mario Rodríguez. Esta se aplica a nivel nacional y se elaboró con la finalidad de evaluar estructuras en las que se tiene duda de su seguridad estructural.

Por esa razón, durante las evaluaciones estructurales realizadas se empleó la metodología planteada por Cenapred (2011), que sugiere en primer lugar, recopilar la información mínima del inmueble, para que después se realice una evaluación de la seguridad con un procedimiento sistematizado y uniforme. El formato se utilizará por las brigadas de evaluación para todas las estructuras dañadas: vivienda, hospitales, edificios públicos, centros religiosos y comercios (figuras 2.12 y 2.13).

Figura 2.12. Formato de datos estructurales

The image shows a digital form titled 'Formato de captura de datos para evaluación estructural'. It is divided into several sections:

- INFORMACIÓN GENERAL:** Includes fields for 'Fecha', 'Coordenadas', 'Categoría', 'Tipo de inmueble', 'Código de zona', 'Pueblo o ciudad', 'Departamento', 'Municipio', 'Provincia', 'Código postal', 'Código', 'Número de catastro', and 'Número de folio real'. There are also checkboxes for 'Inmueble en zona de riesgo sísmico' and 'Inmueble en zona de riesgo de inundación'.
- SISTEMA ESTRUCTURAL:** Contains sections for 'Materiales de construcción' (concrete, steel, masonry, wood, etc.), 'Tipos de estructura' (frame, masonry, etc.), and 'Detalles de construcción' (columns, beams, joints, etc.).
- EVALUACIÓN DE DAÑOS:** Features a grid for recording damage levels (e.g., 'Sin daño', 'Leve', 'Moderado', 'Grave') across different structural elements like 'Columnas', 'Vigas', 'Muros', 'Cimentación', etc. It also includes a 'Nivel de daño de la estructura' section.
- CROQUIS DEL INMUEBLE:** A large empty grid area for drawing the floor plan of the building.

Fuente: recuperada de Cenapred (2011).

Figura 2.13. Formatos de evaluación a usarse en este proyecto

This image shows a more comprehensive version of the data capture form. It includes:

- USO:** A section for defining the building's use, with a list of categories and checkboxes for specific activities.
- TERRENO Y ORIENTACIÓN:** Fields for 'Superficie del terreno', 'Orientación', 'Tipo de terreno', and 'Tipo de cimentación'.
- CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA:** A detailed section for recording structural details, including 'Materiales de construcción', 'Tipos de estructura', and 'Detalles de construcción'.
- VULNERABILIDAD:** A section for assessing the building's vulnerability, with a grid for recording vulnerability levels across different structural elements.
- EVALUACIÓN DE DAÑOS:** A section for recording damage levels, with a grid for recording damage levels across different structural elements.
- CROQUIS DEL INMUEBLE:** A large empty grid area for drawing the floor plan of the building.

Fuente: recuperada de Cenapred (2011).

La metodología que se utilizará tiene como desventaja no ser precisa ya que no es concluyente de la seguridad estructural del inmueble, pero sirve de base para una segunda evaluación más detallada por medio de un análisis numérico no lineal. Este formato se llenará para cada estructura evaluada por las brigadas.

En el caso de estructuras destinadas al uso hospitalario, se utilizará de primera instancia el formato de la figura 2.13, más el formato que sugeriría el programa Hospital Seguro 2015-2019 (figura 2.14). Asimismo, se utilizarán los lineamientos establecidos en la referencia: *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud* (OPS, 2004).

Figura 2.14. Formatos de evaluación, programa Hospital Seguro, SSA

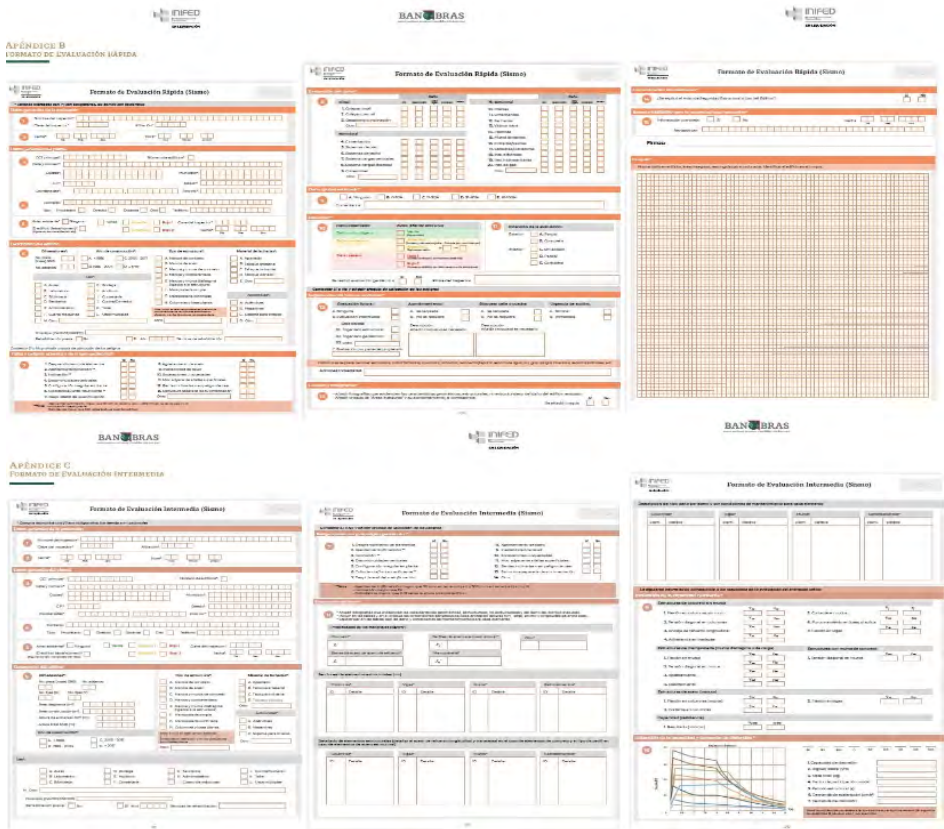
Módulo 2: Seguridad estructural				
2.1. Eventos anteriores y amenazas que afectan a la seguridad del edificio	Nivel de seguridad			Observaciones (comentarios de los evaluadores)
	Baja	Medio	Alta	
1. Datos o falta de estructuras anteriores importantes del edificio o edificio del hospital Clasificación de seguridad: Baja = cuando existan que no se han registrado, medido o dibujado estructuras y reparaciones previas al edificio; alta = cuando existan o cuando se reparó completamente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2. Hospital controlado o reparado según las normas vigentes de seguridad Clasificación de seguridad: Baja = cuando se aplicaron las normas vigentes; medio = de forma de seguridad vigentes se aplicaron parcialmente; alta = se cumplieron las normas vigentes en su totalidad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3. Efecto de la remodelación o modificación del comportamiento estructural de hospital Clasificación de seguridad: Baja = se ha hecho remodelación o modificación que genera un efecto mayor sobre el comportamiento de la estructura; medio = se ha hecho remodelación o modificación que genera un efecto menor sobre el comportamiento de la estructura; alta = se ha hecho remodelación o modificación que no genera un efecto menor sobre el comportamiento de la estructura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.2. Integridad del edificio				
4. Diseño del sistema estructural Clasificación de seguridad: Baja = diseño deficiente del sistema estructural; medio = diseño regular del sistema estructural; alta = diseño adecuado del sistema estructural.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5. Condiciones en que se encuentra el edificio Clasificación de seguridad: Baja = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; medio = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; alta = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6. Condiciones en que se encuentran los materiales de construcción Clasificación de seguridad: Baja = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; medio = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; alta = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7. Integridad de los elementos no estructurales con la estructura Clasificación de seguridad: Baja = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; medio = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; alta = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8. Proximidad de los edificios (en relación con los choques por oscilaciones sísmicas) Clasificación de seguridad: Baja = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; medio = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; alta = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Criterios de integridad del edificio	Nivel de seguridad			Observaciones (comentarios de los evaluadores)
	Baja	Medio	Alta	
9. Proximidad de los edificios (en relación con el efecto de túnel de viento y las frentadas) Clasificación de seguridad: Baja = exposición inferior a los medios o superior a los medios; alta = exposición superior a los medios.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10. Redundancia estructural Clasificación de seguridad: Baja = menor de tres líneas de resistencia en cada dirección; medio = tres líneas de resistencia en cada dirección; alta = más de tres líneas de resistencia en cada dirección en cualquier dirección.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11. Detalles estructurales, incluidos los conexiones Clasificación de seguridad: Baja = no hay registros de inspección del edificio o no se verificó alguna muestra de detalles constructivos; medio = se verificó el detalle por normas de diseño vigentes y se cumplieron las normas vigentes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12. Relación entre la resistencia de las columnas y la de las vigas Clasificación de seguridad: Baja = la resistencia de las vigas es menor que la de las columnas; medio = la resistencia de las vigas es mayor que la de las columnas; alta = la resistencia de las vigas es mayor que la de las columnas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13. Seguridad de los cimientos Clasificación de seguridad: Baja = no hay datos de que los cimientos se hayan diseñado según las normas vigentes; medio = cuando se hayan diseñado de acuerdo a las normas vigentes; alta = cuando se hayan diseñado de acuerdo a las normas vigentes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14. Irregularidades en el plan de estructura del edificio (rigidez, masa, resistencia) Clasificación de seguridad: Baja = los planos (con regularidad) de la estructura no son uniformes; medio = los planos (con regularidad) de la estructura no son uniformes; alta = los planos (con regularidad) de la estructura son uniformes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15. Irregularidades en la elevación de los edificios Clasificación de seguridad: Baja = cuando se observan irregularidades en la elevación de los edificios; medio = cuando se observan irregularidades en la elevación de los edificios; alta = cuando se observan irregularidades en la elevación de los edificios.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16. Irregularidades en la altura de los pisos Clasificación de seguridad: Baja = la altura de los pisos difiere en más del 20%; medio = la altura de los pisos difiere en más del 10%; alta = la altura de los pisos difiere en más del 5%.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17. Integridad estructural de los techos Clasificación de seguridad: Baja = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; medio = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; alta = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18. Redundancia estructural y las amenazas distintas de los sismos y los vientos fuertes Clasificación de seguridad: Baja = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; medio = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura; alta = cuando se observan deterioros que afectan al comportamiento de la estructura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Fuente:

En los casos que sea posible, para realizar la evaluación de la seguridad de las escuelas dañadas, se utilizarán los formatos de la figura 2.15 y se seguirá la metodología propuesta por el INIFED (2021) para realizar las actividades de evaluación.

Figura 2.15. Evaluación postsísmica de la infraestructura física educativa de México



Fuente: recuperada de INIFED (2021).

Para el caso de algunas viviendas dañadas se utilizarán los formatos propuestos en la *Guía técnica del procesos de evaluación rápida de daños en vivienda* de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (Conred, 2015), así como los lineamientos establecidos en la referencia: evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de viviendas dañadas (Cenapred); que se muestran en la figura 2.16.

Una vez realizada la evaluación estructural de la infraestructura dañada, se tendrá un catálogo de estructuras que presentaron fallas y sus tipos. Por lo anterior, los resultados de las evaluaciones servirán como base de las actividades en las zonas más afectadas, que en su mayoría se encuentran alejadas de las ciudades o cabeceras municipales. Después de realizada la inspección de cada inmueble, se definirá el nivel de daño y las condiciones de ocupación del edificio. Para ello se utiliza un código de colores: Verde: uso permitido; amarillo: acceso y uso restringidos, y rojo, acceso prohibido.

Se impartieron tres cursos a 50 alumnos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (FIC-UMSNH) con el fin de explicar el llenado correcto de las cédulas de evaluación y comentar sobre las disposiciones sociales de respeto que habría de adoptar los integrantes de las brigadas y definir los criterios en la que se formarían dichas brigadas en el sitio. Las brigadas de evaluación se formaron por alumnos de la FIC-UMSNH lideradas por un ingeniero responsable, en algunos casos por un estudiante de la Maestría en Estructuras de la FIC-UMSNH o por un profesor de la Facultad de Ingeniería Civil.

El equipo necesario para realizar las evaluaciones se muestra en la figura 2.17:

- 1) Equipo de seguridad: casco, chaleco antirreflejante, identificación con fotografía, botas de uso rudo
- 2) Formato de evaluación impreso y fichas de color
- 3) Grietómetro
- 4) Bloc de notas
- 5) Nivel de mano
- 6) Flexómetro
- 7) Distanciómetro láser (marca Bosh y Xgold)
- 8) Lámpara de mano
- 9) Cámara fotográfica o teléfono celular

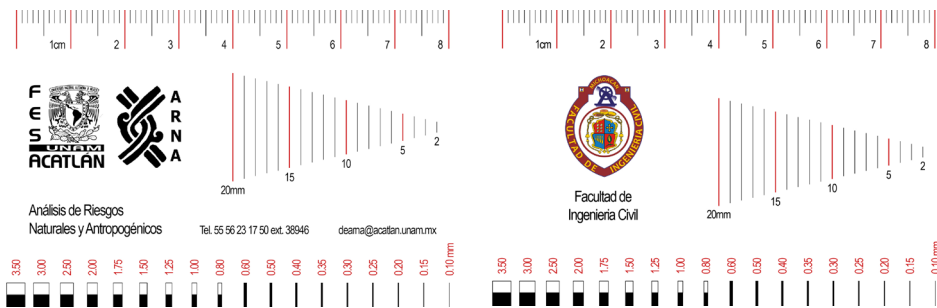
Figura 2.17. Equipo necesario para realizar las evaluaciones rápidas y alumnos participantes



Fuente: elaboración propia.

Como parte del equipo necesario para realizar la inspección se utilizaron grietómetros con el fin de recabar la información sobre el ancho, longitud, dirección y localización de las grietas en los elementos estructurales (figura 2.18).

Figura 2.18. Algunos grietómetros empleados durante las evaluaciones



Fuente: elaboración propia.

En la figura 2.19 se muestra su uso durante la evaluación estructural.

Figura 2.19. Utilización de los grietómetros durante las evaluaciones



Fuente: elaboración propia.

En la figura 2.20 se observan las brigadas de evaluadores en la comunidad de Maruata y en Aquila. Para el caso de hospitales y clínicas que sufrieron daños debido al sismo, se realizó un estudio detallado de la seguridad estructural, el cual se sustentó con la realización de un modelo numérico basado en elemento finito, y con el que se desarrollen análisis paso a paso e incrementales no lineales. Para este tipo de estudios es necesario realizar simulaciones de registros sísmicos con un software especializado basado en características dinámicas similares a los del sismo de septiembre de 2022, ya que no existen registros en la zona epicentral.

Figura 2.20. Brigadas de inspección estructural y uso de equipo de inspección



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las historias simuladas de aceleraciones, se calculará un espectro de diseño de peligro uniforme para los municipios afectados con un software especializado. Se realizará un análisis estático lineal y un análisis estático no lineal para obtener las curvas de capacidad y demanda sísmica. Se establecerá un criterio de aceptación o rechazo que puede ser similar al propuesto en la guía para la evaluación de edificaciones existentes con fines de adecuación sísmica (2014) y finalmente se propondrán dos alternativas de reforzamiento estructural. Todo esto se hará con los planos originales, en caso de no poder obtenerse, se trabajará con una estructuración semejante a la observada en el sitio. Para el caso de escuelas, se realizarán los estudios similares a los que se les hicieron a los hospitales. La evaluación detallada se realizará con un plano tipo de una escuela secundaria, teniendo como resultado una propuesta de adecuación sísmica y de reforzamiento sugerido. Para el caso de las viviendas solo se propondrán técnicas de reparación y reforzamiento, según los materiales típicos de construcción en la zona, los cuales ayudarán a los pobladores a realizar de manera adecuada sus reparaciones.

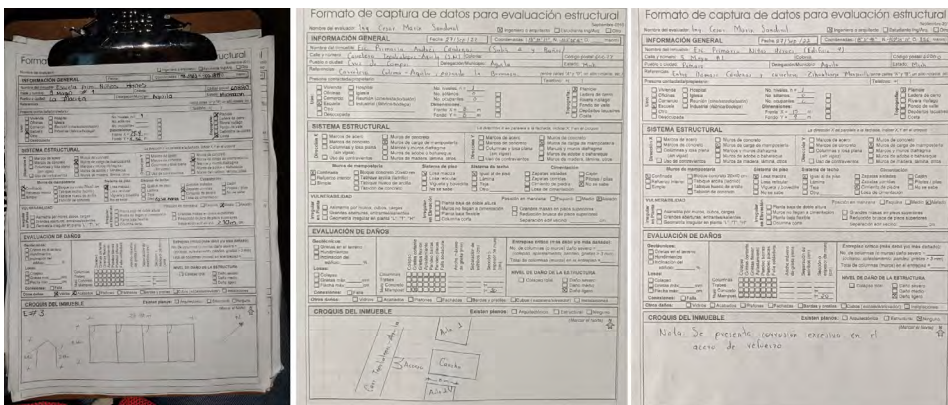
Dictamen estructural

El dictamen se realizó mediante el llenado de una cédula o formato que constan de cuatro secciones en las que se recaban las principales características de la estructura y el nivel de daño. La primera sección denominada *Información general*, comprende las generalidades estructurales, tales como nombre, dirección, fecha de construcción, número de niveles, etc. La segunda parte, llamada *Sistema estructural*, está enfocada en recabar la información correspondiente al sistema de soporte de las cargas verticales y laterales, materiales de construcción y características relacionadas con la capacidad del sistema estructural. La tercera sección o *Evaluación de daños*, consiste en la información relacionada con los daños y su posible consecuencia para poder dar un dictamen preliminar del estado del inmueble. La cuarta parte está formada por el *Croquis del inmueble* y está destinada al dibujo de la estructura para incluir datos geométricos, identificación de ejes y posiciones de elementos y de zonas dañadas. Por supuesto, el informe se complemen-

ta con fotografías del edificio. En la figura 2.21 se muestra algunos formatos que se llenaron durante la visita de inspección estructural.

Después de realizada la inspección de cada inmueble, se emitió un dictamen para decidir el posible uso. Su objetivo es definir, a partir del nivel de daño, las condiciones de ocupación. Para ello se define un código de colores que tiene el siguiente significado:

Figura 2.21. Cédulas de evaluación utilizadas durante la inspección estructural



Fuente: elaboración propia.

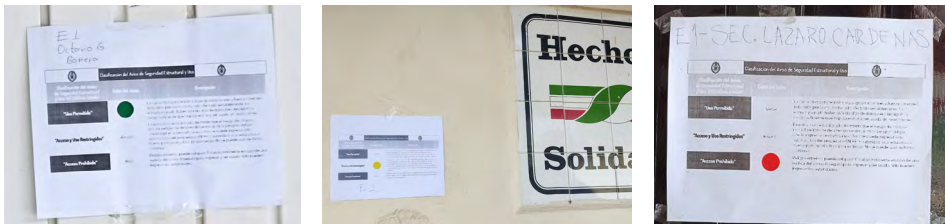
- 1) **Verde** (uso permitido): esta clasificación corresponde a estructuras en las que no existe daño en el sistema de soporte de las cargas laterales o verticales; ni riesgo proveniente de elementos no estructurales que puedan desprenderse y afectar a los ocupantes; ni afectaciones posibles debidas a la presencia de estructuras adyacentes en condiciones que afecten la integridad de los ocupantes del inmueble. En este caso, la estructura puede ocuparse inmediatamente y seguir en funciones para que las clases puedan desarrollarse con seguridad para estudiantes y personal que trabaja en el edificio.
- 2) **Amarillo** (acceso y uso restringidos): se clasifica con este color a las estructuras que presenta daños ligeros o moderados que requieren una evaluación más precisa antes de tomar una decisión sobre el tipo de rehabilitación y la posibilidad de ocupación del inmueble. También puede asignarse esta clasificación a las estructuras que puedan verse

afectadas por el desprendimiento de materiales de un inmueble adyacente. Se permite el ingreso para recuperar documentos y bienes necesarios para los usuarios del edificio, bajo el propio riesgo de los interesados. Si existen lugares que puedan verse afectados por la caída de materiales provenientes del propio edificio, o de una construcción adyacente, debe acordonarse la zona para la protección de las personas que tengan que ingresar.

- 3) **Rojo (acceso prohibido):** se asigna el color rojo a las estructuras con daños graves o severos que ponen en peligro la estabilidad de la construcción. Debe clasificarse con este mismo color a las estructuras que puedan sufrir la caída de una estructura adyacente en condiciones inadecuadas de seguridad. En este caso se prohíbe la entrada al inmueble mientras no se tomen las medidas pertinentes, derivadas de un análisis más detallado del inmueble.

En la figura 2.22 se muestra algunos formatos que resumen los dictámenes con el nivel de daño y que fueron colocados en las fachadas o puertas principales de los edificios.

Figura 2.22. Dictámenes de uso, colocados en las fachadas o puertas principales de las estructuras



Verde (uso permitido)

Amarillo (uso y acceso restringidos)

Rojo (uso prohibido)

Fuente: elaboración propia.

Aplicación para teléfono celular

Durante la visita a los diferentes sitios en el estado de Michoacán, en los que se presentaron daños estructurales, fueron necesarias las siguientes actividades:

- 1) Viajar durante nueve horas desde la ciudad de Morelia hasta la costa michoacana, las carreteras fueron cerradas al tránsito debido a que sufrieron daños, en algunos casos se presentaron derrumbes del material de los cortes y en otros, deslizamiento de los apoyos de puentes carreteros, así la ruta y el tiempo se incrementaron.
- 2) Cuando se llegó al municipio de Aquila, no se conocía el número de estructuras dañadas, por lo que tampoco se sabía la cantidad de formatos de cédulas de evaluación en papel que habría que distribuir a cada brigada.
- 3) El tiempo de recorrido entre comunidades es grande: para llegar de la Placita a la comunidad del Coire, el tiempo de traslado es de dos horas en camioneta.
- 4) Una vez llegando a las comunidades, no había forma de fotocopiar las cédulas de evaluación.
- 5) En la mayoría de las comunidades visitadas no hay cobertura de telefonía celular ni de internet, esto dificultaba la coordinación de las actividades.

Los formatos que se utilizan para las evaluaciones estructurales están diseñados para que su llenado sea en físico (Cenapred, 2011). Los formatos de evaluación rápida se llenaron en papel, debido a la premura con la que debía realizarse esta actividad.

Después del sismo de septiembre de 2017, la cédula de evaluación estructural en la ciudad de México se puede llenar en electrónico por medio de una liga de internet proporcionada por el Instituto de Seguridad de las Construcciones de la Ciudad de México. Por supuesto, en la capital, es fácil encontrar papelerías para el fotocopiado y cobertura de internet en casi toda la zona, pero todo esto no es posible de hacerse en las comunidades de la zona sierra costa de Michoacán.

Con el fin de que en eventos sísmicos futuros sea posible realizar adecuadamente las evaluaciones estructurales en la mayoría de las comunidades rurales o en las que no exista cobertura telefónica, o incluso en las grandes ciudades que debido a causas secundarias no exista internet, se desarrolló una aplicación para teléfono celular que funciona sin que sea necesaria su conexión a internet. La intención es que el mismo teléfono

celular sea el medio para tomar la evidencia fotográfica, y a la vez para realizar el archivo de evaluación.

Esta aplicación no ha sido desarrollada en México por ningún organismo pero por su puesto, estará a disposición para realizar evaluaciones estructurales en eventos futuros en el estado de Michoacán. En la primera etapa de su desarrollo solo se incluye el llenado en digital del formato de inspección rápida y posteriormente se podrá elegir si se llena el formato exclusivo de vivienda, de escuelas o de hospitales.

Desarrollo de la aplicación

El diseño de la aplicación llamada *Evaluación de daños*, tendrá varias versiones con la intención de mejorar y abarcar más dispositivos móviles en cada actualización. El objetivo principal de la app es poder hacer el llenado de evaluaciones sin límites. Los formatos se guardan en la memoria del dispositivo y se puede generar un reporte final por cada evaluación, además se cuenta con la información del usuario así llena cada formato y se sube evidencia fotográfica de los daños por cada sección, todo esto se ejecuta en un modo fuera de línea, es decir, no se necesita conexión a internet para crear la evaluación. Posterior a la visita a las zonas afectas y una vez que los dispositivos se encuentran conectados a internet la aplicación entra al modo en línea y cargará los datos a un sistema WEB que recauda todas las evaluaciones de todos los dispositivos móviles con la intención de concentrar toda la información, con esta acción también se limpia la memoria del dispositivo móvil para tener el espacio disponible para una siguiente evaluación (figura 2.23).

Figura 2.23. Método de llenado y vaciado de información



Fuente: elaboración propia.

En su primera versión de la aplicación móvil se utiliza la webview del sistema Android para almacenar los datos de forma directa en una base de datos Mysql, a través de una página WEB, esta página WEB y la base de datos que se encuentran en los servidores de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH.

El propósito de la primera versión es definir el diseño de los módulos de la app, el orden de los componentes y los formatos de llenado, para preparar el sistema para las versiones posteriores y el modo fuera de línea.

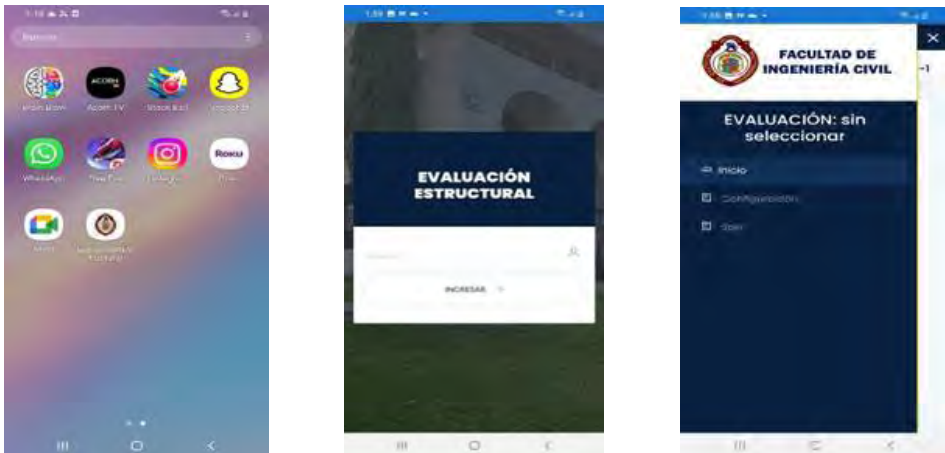
Para hacer uso de esta app se requiere registro previo por parte del departamento de cómputo de la Facultad de Ingeniería Civil. En el registro se proporciona un usuario (usuario administrador o usuario Inspector).

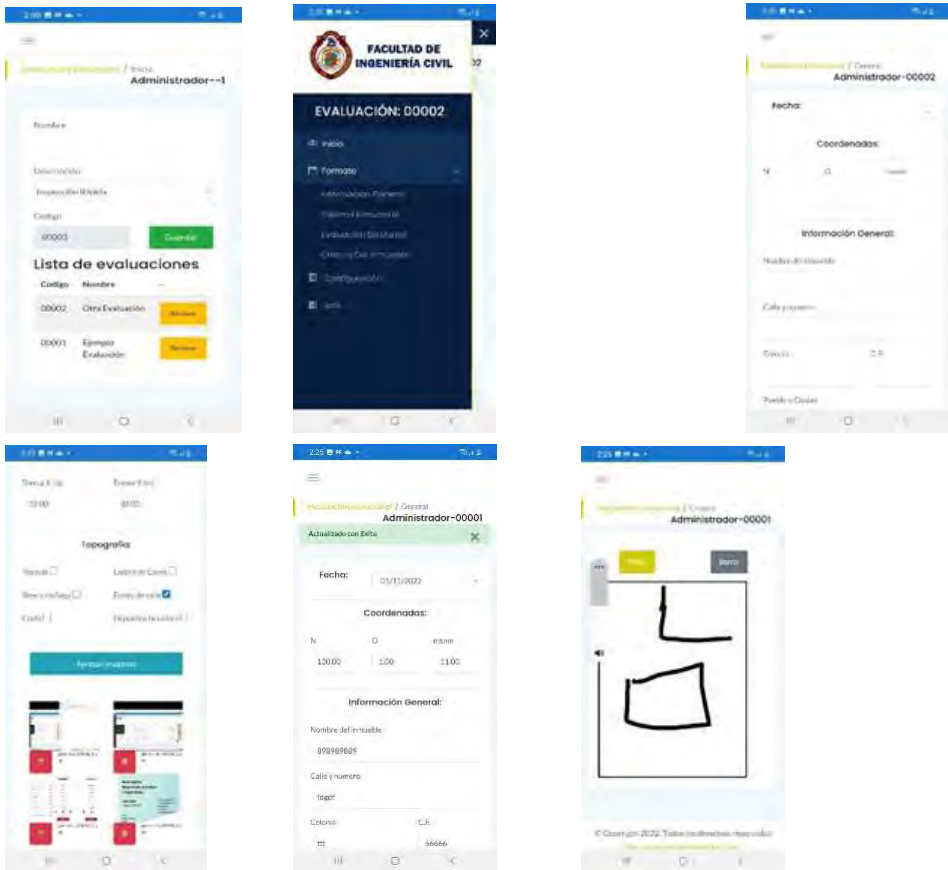
Existen diferentes alternativas para descargar la aplicación móvil denominada Eva-FI-UMICH: a través de la página oficial de la Facultad de Ingeniería Civil en el apartado de “ESTUDIANTES/Aplicaciones-Moviles”; a través del enlace <https://www.fic.umich.mx/estudiantes/aplicaciones-moviles> y en las tiendas App Store y Google Play Store.

La aplicación móvil cuenta con 3 módulos principales: modulo de inicio, modulo de formato y modulo de configuración (figura 2.24).

- **Módulo de inicio:** En este se pueden crear nuevas evaluaciones que se rigen por un código consecutivo, el cual lo define el sistema. También se muestra la tabla de todas las evaluaciones que han sido creadas por el usuario, en esta se puede elegir qué evaluación es va a trabajar el inspector.
- **Módulo de formato:** una vez elegida la evaluación, se mostrará en el menú principal el número de evaluación actual. En este módulo se hace el llenado de toda la información del formato, está dividido en 4 submenús para que el llenado sea más amigable (información general, sistema estructural, evaluación de daños y croquis del inmueble), en cada uno de los estos, la aplicación ofrece la opción de subir varias imágenes o tomar directamente la fotografía. Posteriormente se almacenarán en el número de inspección con un nombre consecutivo, si se requiere hacer una actualización a los datos se selecciona y posteriormente se pueden editar todos los datos, así como subir más fotografías o borrar fotografías existentes. Para el croquis del inmueble, la aplicación permite dibujar a mano alzada dentro de un recuadro de dibujo.
- **Módulo de configuración:** En este módulo se pueden actualizar los datos del usuario que está capturando el formato para que cuando las evaluaciones se suban al servidor, los datos sean los correctos.

Figura 2.24. Módulos principales de la aplicación móvil





Fuente: elaboración propia.

Para la segunda versión se utilizará Flutter que es un SDK desarrollado por Google, para crear aplicaciones móviles tanto para Android como para iOS de forma nativa, en esta versión la app tendrá dos modos: en línea y fuera de línea, esto permitirá que el inspector llene uno o varios formatos que se guardarán en la memoria del dispositivo (tablet o celular) y posteriormente se transfieran a un sistema montado en un servidor WEB. Esta forma de trabajar en el sistema permitirá vaciar la memoria del dispositivo móvil para que, una vez terminada la inspección el dispositivo, quede preparado para otro evento, mientras que el servidor en línea tendrá toda la información unida y se podrán sacar datos estadísticos de todo el proceso de inspección.

Conclusiones

Un grupo de profesores con el fin de apoyar en la realización de las evaluaciones estructurales postsísmicas, en las comunidades de los municipios de Aquila, Coalcomán, Chinicuilá, Coahuayana y Apatzingán, Michoacán, y alumnos de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH, acudió al sitio de desastre. En este trabajo se describe el equipo que se utilizó durante las evaluaciones, la formación de las brigadas de evaluadores, los formatos de evaluación que se utilizaron, y diversas experiencias adquiridas durante dicha actividad. Se espera obtener un catálogo de estructuras dañadas en los cinco municipios declarados como desastre natural debido a los sismos de septiembre de 2022. Además de identificar los daños comunes y el comportamiento estructural que presentaron las viviendas, hospitales, iglesias o centros religiosos, edificios públicos y escuelas. Se propondrán técnicas de reparación y/o reforzamiento adecuadas a las estructuraciones y materiales de la región. Para el caso de estructuras tipo hospital y escuelas, se espera realizar modelos numéricos detallados y que, por medio de análisis no lineales, se realice otra evaluación y la técnica de reforzamiento más adecuada.

Un aspecto de importancia e innovador es que la realización de una aplicación para teléfono celular, que funcione sin la necesidad de conexión a internet, y con la cual sea posible el llenado de los formatos de evaluación en forma electrónica, para que, juntamente con las fotografías tomadas con la ayuda del mismo celular, se integre una base de datos de los daños. Esta base de datos resulta de particular importancia ya que al delimitarse áreas vulnerables y ser visualizadas en sistemas GIS permitirán a las autoridades establecer prioridades en la atención a la emergencia y en plazos mayores establecer programas de reconstrucción.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo proporcionado para la realización de este trabajo a Coordinación de la Investigación Científica y a la Facultad de Ingeniería

Civil, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. También se agradece la contribución y el interés de los alumnos de las secciones 6 y 3, del noveno semestre (2022-02) de la licenciatura en Ingeniería Civil de la UMSNH. Se agradece Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Michoacán, que por medio de la convocatoria Proyectos de Investigación Científica de Impacto Regional (PICIR) 2022, proporcionó el apoyo para la realización de este trabajo.

Referencias

- Arya, A., Boen, T. y Ishiyama, Y. (2013). *Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction*. UNESCO.
- Build Change. (2015). *Manual de evaluación y reforzamiento sísmico para reducción de vulnerabilidad en viviendas*. Build Change. https://get.buildchange.org/wp-content/uploads/2016/04/15-11-05-BC_Manual-de-Evaluacion-y-Reforzamiento.pdf
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). (2011). *Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de viviendas*. Segob. <http://www.sismos.gob.mx/work/models/sismos/Resource/35/1/images/evaluacion.pdf>
- Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM). (2011). *Formato de inspección post-sísmica: Evaluación rápida*. CICM.
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (Conred). (2015). *Guía técnica del proceso de evaluación rápida de daños en vivienda*. Gobierno de Guatemala. https://issuu.com/lobsangcordon/docs/gu_a_t_cnica_del_proceso_de_evaluacion
- Diario de Morelos. (2017, 19 de septiembre).
- García, J., Bernal, A., Contreras, C. y Gama, A. (2012). *Método de evaluación simplificada de la capacidad sísmica de estructuras típicas de la Ciudad de México*. UAM-A.
- Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED). (2021). *Evaluación postsísmica y rehabilitación sísmica de la INFE*. INIFED. <https://www.gob.mx/inifed/documentos/evaluacion-postsismica-y-rehabilitacion-sismica-de-la-infe>
- Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México (ISC-CDMX). (2019). *Formato de evaluación postsísmica rápida*. Gobierno de la Ciudad de México. <https://www.isc.cdmx.gob.mx/formato-de-evaluacion-postsismica-rapida>
- Jaimes, M. A. (2017). *Sismo del 7 de septiembre de 2017 M8.2, Chiapas*. UNAM, Instituto de Ingeniería.
- Lacouture, L., Bernal, C., Reyes, J. y Ruiz, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes*, 20(2), 286–303. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.apu20-2.evsr>
- López, A. (2014). *Guía para la evaluación de edificaciones existentes con fines de adecuación sísmica*. CAF-Banco de Desarrollo de América Latina. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/895>

- Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). (2016). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la NEC 2015*. NEC.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2000). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud*. OPS. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/816>
- Otani, Sh., Kikuchi, K., Alcocer, S. M. y López B., Ó. (1995, enero). *Informe del estado actual de las edificaciones dañadas durante el sismo de Michoacán de 1985 en la zona epicentral: Informe sobre las ciudades de Lázaro Cárdenas e Ixtapa/Zihuatanejo* (Cuadernos de Investigación, 14). Cenapred.
- Primera Plana. (2017, 4 de septiembre). Buscan llevar telecomunicaciones a la Sierra-Costa michoacana. <https://primeraplana.mx/archivos/459377>
- Quadratín Michoacán. (2022a, 1 de octubre). Emiten declaratoria de desastre para 5 municipios por sismo del 19S. <https://www.quadratin.com.mx/sucesos/emiten-declaratoria-de-desastre-para-5-municipios-por-sismo-del-19s/>
- Quadratín Michoacán. (2022, 3 de octubre). Daños por sismos de septiembre ascienden a 400 mdp, reporta Segob. <https://www.quadratin.com.mx/principal/danos-por-sismos-de-septiembre-ascienden-a-400-mdp-reporta-segob/>
- Servicio Sismológico Nacional (SSN). (2017). *Sismo del día 19 de septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1)* (Reporte especial). SSN. http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf
- Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). (2022a, 19 de septiembre). *M 7.6 - 35 km SSW of Aguililla, Mexico*. USGS. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000i9bw/executive>
- Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). (2022b, 22 de septiembre). *M 6.8 - 55 km SSW of Aguililla, Mexico*. USGS. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000ia36/executive>

3. Sismicidad en el estado de Michoacán

RICARDO VÁZQUEZ ROSAS*

GERARDO LEÓN SOTO**

JESÚS ARTURO MUÑIZ JAUREGUI***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.266.03>

Resumen

En este trabajo, se realizó el análisis estadístico de los datos de los registros entre 1964 al 2017 en los catálogos del Servicio Sismológico Nacional (SSN), del Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) y del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Los resultados fueron analizados con base en el valor de b de la relación Gutenberg Richter (1954) concluyendo que el estado de Michoacán se divide en 4 regiones sísmicas. *La región A*, de alta sismicidad, donde se han generado sismos de magnitud considerable como el sismo de 1985 de M 8.1, y donde se tiene evidencia de ellos, de magnitud $> M6$ desde aquel año. *La región B-1*, la sismicidad es relativamente moderada. *La región B-2* con sismicidad relativamente moderada (con diferentes sistemas de fallas). *La región C* presenta alto peligro sísmico derivado de los estudios realizados y las evidencias del contexto geodinámico de la zona, y por la cercanía con la Ciudad de México. El resultado permitirá mitigar y tener un mejor entendimiento del peligro y riesgo sísmico de Michoacán.

* Doctor en Ciencias (Sismología). Profesor de asignatura, de la Facultad de Arquitectura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6181-8768>; Correo: rvazquezrunam@gmail.com

** Doctor en Física. Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Juriquilla, UNAM, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1271-0136> ; ID Scopus: 55227334600

*** Doctor en Geografía. Profesor ordinario de carrera, asociado C, de la Escuela Nacional de Educación Superior Juriquilla, UNAM, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8356-237X>

Palabras clave: *sismicidad, valor b, regionalización, fallas.*

Introducción

En la actualidad con el incremento instrumental, se ha tenido una mejor resolución con la sismicidad que se tiene en México, como por ejemplo, en el año 2021 se registraron 28 914 localizaciones. Otro ejemplo, Guerrero y Oaxaca son regiones con la más alta sismicidad registrada en México, derivada por subducción, y frente a las costas de Guerrero desde hace ya varios años se tiene identificada la zona conocida como la *brecha sísmica* de Guerrero (Kelleher *et al.*, 1973; Mc Cann *et al.*, 1979, Singh *et al.*, 1981). Nishenko y Shing (1987) analizaron diferentes zonas con recurrencia de sismos e identificaron a esta brecha sísmica como una de las zonas con mayor potencial. Se estima que esta tiene una gran acumulación de energía elástica que en cualquier momento esta puede ser liberada y causar un sismo de subducción de mayor magnitud que el sismo de 1985. Por otro lado, en la región de Oaxaca, se tiene la evidencia de una sismicidad muy alta.

Una de las debilidades del análisis del peligro sísmico es que en el país no todos los estados cuentan con una red sísmica apropiada y mucho menos con una regionalización. Hasta ahora para los estudios de peligro y riesgo sísmico, solo utilizan las recomendaciones técnicas propuestas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015), el Servicio Sismológico Nacional, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) y las propuestas de los colegios de ingenieros civiles. Estas normas son estándares para toda la república mexicana y no responden a cada uno de los estados ni tampoco contemplan los nuevos aportes que se han generado en el campo, como las *microzonificaciones sísmicas*, la actualización de las bases de datos sísmicos, geomorfología y paleosismología. En especial, no consideran los escenarios tectónicos tal como el caso del sistema de fallas Morelia Acambay y regiones de Morelia (Garduño-Monroy *et al.*, 2009; Acambay, 1912).

Tampoco han evidenciado eventos recientes como los sismos del 7 y 19 de septiembre del 2017. El estado de Michoacán forma parte de un margen

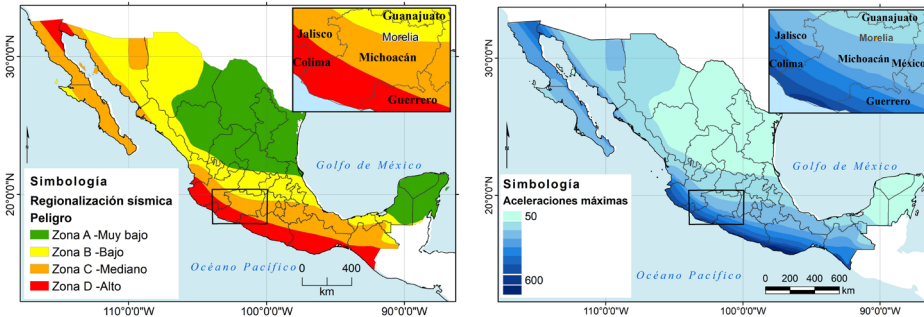
activo, donde la placa de Cocos, que subduce por debajo de la placa de norteamérica, ha sido la responsable de algunos de los más violentos sismos de México. En el sismo de Michoacán del 19 de septiembre de 1985, las dos placas mostraron sus efectos en toda la parte central de México, pero además causó grandes daños en la Ciudad de México.

Estudiar los datos de macro sismicidad en el espacio y tiempo es una forma de analizar diferentes escenarios. En Michoacán se tienen diferentes fuentes generadoras de sismos, por ejemplo, los ocurridos en 1845 y 1858 (García y Suarez, 1996). Estos eventos causaron grandes daños en Pátzcuaro, Morelia, Araró y la Ciudad de México, cuyas isosistas graficadas localizan a la fuente en las fallas del sistema Morelia-Acambay (región de Pátzcuaro) con intensidades de VIII. Este sistema de fallas generó en 1912 el sismo de Acambay (M6.9), ocasionando severos daños en esa región y en la Ciudad de México. En 1979 otro evento sísmico se generó en estos segmentos activos, dañó severamente la región de Maravatío (Gutiérrez y Montoya, 2000).

Por su ubicación geológica el estado de Michoacán, se encuentra en una región de alta sismicidad, no solo por los procesos de subducción, sino además, debido a los sismos superficiales generados por estructuras corticales en toda la región de los lagos así como por el vulcanismo monogenético, todo el Sistema de fallas Morelia Acambay y parte central del Cinturón volcánico Trans-mexicano, en la que hoy en día existen evidencias de actividad Holocénica (Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego, 1990; Suter *et al.*, 1992, 1995a, 1995b, 2001; Langridge *et al.*, 2000, 2013; Garduño-Monroy *et al.*, 2009; Lacan *et al.*, 2013; Ortuño *et al.*, 2015; Sunye-Puchol *et al.*, 2015; Suter *et al.*, 2016).

Hasta hoy los mapas de regionalización sísmica en México muestran que en el estado de Michoacán se presentan las 3 regiones de mayor sismicidad (figura 3.1).

Figura 3.1. Regionalización sísmica y B) mapa de aceleraciones máximas de la República Mexicana



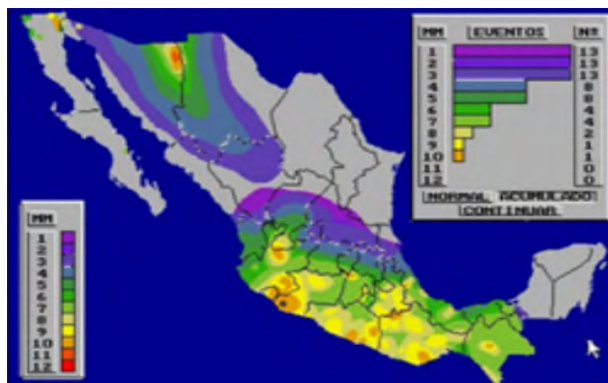
Fuente: recuperados de CFE (2015).

En la figura 3.1 se distinguen tres zonas:

1. La zona D, es de muy alta intensidad, es donde se han originado los grandes sísmicos históricos, y la ocurrencia de sismos es muy frecuente, además de que las aceleraciones del suelo sobrepasan el 70% de la aceleración de la gravedad.
2. La zona C, es de alta intensidad, en esta zona hay más actividad sísmica que en la zona B, aunque las aceleraciones del suelo tampoco sobrepasan el 70% de la aceleración de la gravedad.
3. La zona B, es de media intensidad, en esta zona es de moderada intensidad, pero las aceleraciones no alcanzan a rebasar el 70% de la aceleración de la gravedad (CFE, 1993).

Por otro lado, los mapas de isosistas, realizados en el Cenapred, han puesto de manifiesto que en el estado de Michoacán se han registrado intensidades sísmicas considerables en la escala de Mercalli Modificada (hasta intensidad X, como el sismo de 1941). Esto puede observarse en la figura 3.2 donde se muestran los mapas de isosistas de la República Mexicana de 52 eventos acumulados desde 1845 hasta 1999 (Gutiérrez y Montoya, 2000). En el recuadro superior derecho de la figura 3.2 aparecen el número de veces que se han observado. Dicha figura se obtuvo por medio de la metodología propuesta por Gutiérrez y Montoya (2000).

Figura 3.2. Mapa de isosistas acumulado de 72 eventos a partir del año 1850 a 1999



Fuente: elaboración propia en software ArcMap 10.3 con base en Gutiérrez y Montoya (2000).

Contexto geodinámico de Michoacán

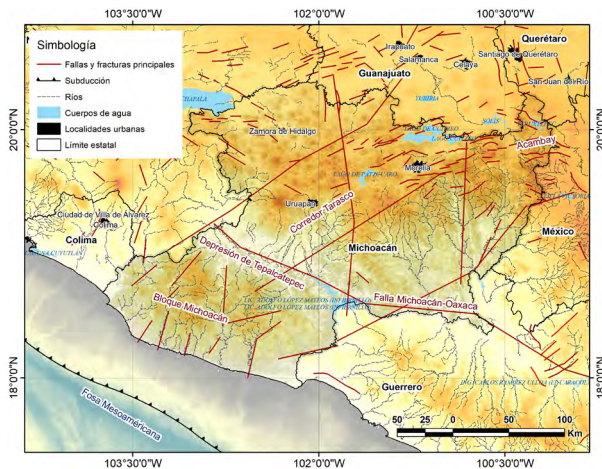
Por sus rasgos morfológicos, su distribución geológica y su marco tectónico, el Estado de Michoacán se divide en las siguientes grandes provincias geológicas (figura 3.3):

1. La Sierra Madre del Sur, ocupada por secuencias vulcanosedimentarias del terreno de Guerrero que en ocasiones se intercalan por carbonatos. Todas ellas controladas por estructuras N-S y NO-SE y grandes cuerpos magmáticos de aproximadamente 50Ma.
2. La Depresión de Tepalcatepec de dirección NW-SE y que ha sido configurada por la falla Chapala, Oaxaca.
3. La Depresión del Balsas, con rocas del Terreno de Guerrero y con la influencia de tres grandes estructuras, las NNW-SSE, NW-SE y las ENE-WSW, configurando en la región de la presa de Infiernillo una especie de punto triple. Hacia el norte unas de estas estructuras configuran la falla regional Tzitzio-Valle de Santiago.
4. El Corredor Tarasco o Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato, ocupado por un vulcanismo monogenético y con islas de magmatismo félsico (Patamban, Tzirate, Cerro La nieve). Todo el vulcanismo responde a estructuras NE-SW principalmente, aunque se reconocen

estructuras por alineamientos de conos NE-SW y E-W. Algunas veces estas últimas cortan al vulcanismo monogenético.

5. Lagos y fallas (Bajío michoacano). En el sector norte del estado se han desarrollado grandes cuencas lacustres, todas ellas controladas por el fallamiento o los procesos volcánicos. Esta zona es controlada por estructuras E-W del sistema de fallas Morelia Acambay y que en algunos casos toman direcciones NE-SW.

Figura 3.3. Principales sistemas de fallas en el estado de Michoacán



Fuente: elaboración propia en software ArcMap 10.3 con base en Garduño *et al.* (1999), Padilla *et al.* (2013) e INEGI (2020).

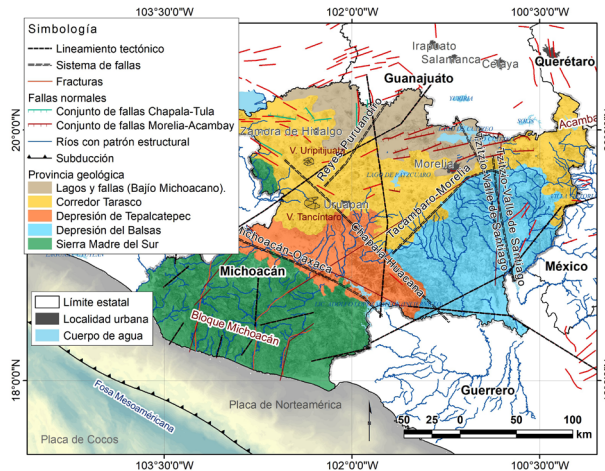
Estas cinco zonas están controladas por estructuras (figura 3.4) que, considerando el campo de esfuerzos reconocido hasta ahora (Pasquarè *et al.*, 1991) pueden tomarse en cuenta como fallas óptimamente orientadas a ese campo de esfuerzos:

1. Sistema de fallas Michoacán-Oaxaca: se trata de un sistema de estructuras regionales NW-SE que se asocian a las formaciones del semigraben de Cotija y la depresión de Tepalcatepec. Es una falla lateral izquierda que constituye el límite norte del Terreno Xolapa, hacia Guerrero.
2. Sistema de Fallas Tacámbaro-Morelia: lo conforman una serie de alineamientos de estructuras y conos monogenéticos de dirección NE-

sw, donde quedan localizadas las zonas del volcán Jorullo y las del vulcanismo de Tacámbaro (fracturas eruptivas), con fuertes evidencias morfológicas de vulcanismo del Pleistoceno-Holoceno (Guilbaud, 2011). Las fallas de este sistema son de tipo transtensional izquierdas y se encuentran óptimamente orientadas al campo de esfuerzos actual.

3. Sistemas de fracturas Los Reyes-Puruandiro: estas estructuras se encuentran concentraciones muy altas de vulcanismo monogénico con tendencias de alineamientos NE-SW, su relieve es claro y todas ellas estarían funcionando como fracturas eruptivas.
4. Sistema de fallas Tzitzio-Valle de Santiago: se trata de una estructura donde se ha reportado un hiatus sísmico y volcánico que es de orientación NNW-SSE (Garduño-Monroy *et al.*, 2009), paralelo al sistema de fallas Taxco-Querétaro. También controla mucho la deformación de las depresiones de Cuitzeo. Estas estructuras controlan la distribución del vulcanismo en la parte central del CVTM.

Figura 3.4. Contexto geodinámico dentro del estado de Michoacán con sus regiones morfoestructurales



Fuente: elaboración propia en software ArcMap 10.3 con base en Garduño *et al.* (1999), Padilla *et al.* (2013) e INEGI (2020).

Dentro de estas cuatro regiones morfoestructurales se pueden distinguir claramente tres fuentes de sismicidad:

1. Tectónicas

Los sismos tectónicos pueden ser divididos en dos: aquellos ligados con la subducción de la placa de Cocos y los sismos ligados con estructuras intraplaca, en este caso, del sistema de fallas Morelia-Acambay.

1. Subducción o interplaca: son aquellos sismos producto de la subducción de la placa de Cocos en la placa de norteamérica (que se dan en la costa de Michoacán), ellos ocurren a profundidad < 30km, como ejemplo, podemos mencionar los sismos de 1932 (M 7.4), 1979 (M 7.4) y 1985 (M 8.1).
2. Intraplaca o fallas locales sistema Morelia-Acambay: los sismos están ligados a estructuras con profundidades < 20km, unos ejemplos de estos eventos serían los de 1858 que afectan la región de Morelia-Pátzcuaro, el sismo de Acambay de 1912 (M6.9), Maravatio en 1979 (M8.1). Además están los reportados con estudios de paleosismología que nos confirman que estos segmentos corresponden a fallas activas (Langridge *et al.*, 2000; 2013; Garduño-Monroy *et al.*, 2009; Lacan *et al.*, 2013; Ortuño *et al.*, 2015; Sunye-Puchol *et al.*, 2015; Suter *et al.*, 2016).

2. Volcánicas

En el estado de Michoacán, se pueden distinguir cuatro zonas con diferentes escenarios de vulcanismo:

- 1) Tancitaro, ligada a un volcán poligenético con evidencia de valles glaciares que son cortados por una estructura de colapso, la cual se ha sugerido que ocurrió durante el Holoceno (Morelli *et al.*, 2010). En esta zona, en 1979-1999 (Pacheco y Sykes, 1992) existió una crisis sísmica que ha sido asociada más a un escenario tectónico. En estas zonas de volcanes monogenéticos y de fuerte control estructural resulta difícil separar el origen tectónico del volcánico, por ejemplo, si el magma usa una falla para llegar a la superficie, se considera como

un proceso ligado al campo de esfuerzos de estructuras óptimamente orientadas. Estos esquemas estructurales son comunes en el campo volcánico de Michoacán, donde hay tendencia de alineamientos de conos de NE-SW a E-W.

- 2) Vulcanismo monogenético: también existen los sismos ligados a nacimientos de volcanes, como los que se produjeron en las erupciones de los volcanes Jorullo (1759) y Parícutín, el 23 de febrero de 1942. Días antes de que se presentaran las erupciones de estos volcanes, se registraron tremores ligados al ascenso del magma. Ambos eventos volcánicos se caracterizaron por alineamientos de la erupción con fracturas NE-SW.
- 3) En la región de Zamora existe una zona de concentración de volcanes semi escudo afectados por estructuras NW-SE (Graben de Cotija) o fallas E-W.
- 4) En el sector oriente del estado existen complejos con domos andesíticos y riolíticos.

3. Antropogénicas

En el estado, se han presentado actividad sísmica ligada a la actividad humana como el llenado de vasos de presas en Infiernillo.

3.3. Materiales y métodos

Se trabajó con los datos epicentrales de 1900 a 2017. Estos datos corresponden a los catálogos del Servicio sismológico Nacional (SSN), Incorporate Research Institutions for seismology (IRIS) y del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Sin embargo, para el análisis estadístico se consideraron sismos del período de 1964 al 2017, por ser datos más confiables instrumentalmente. Otro insumo fueron los datos de sismos reubicados con datos del experimento Mapeo de la Región Rivera subducción, MARS (Martínez-López, 2011), los datos de la base internacional Global CMT Project y el Servicio Nacional de Sismológico (Martínez-López y Mendoza, 2015).

Se estandarizó el valor de las magnitudes y se realizaron análisis del comportamiento de la sismicidad por medio de gráficas en dos y tres dimensiones, así como las estimaciones de las longitudes posibles de fallas y grados de inclinación mediante elipses. Se calculó el valor de b usando un Bootstrap 200 y el método EMR Woessner y Wiemer (2005).

El valor b es el de la pendiente de la recta descendente en la que se busca que esta tenga una parte lineal del logaritmo del número acumulado de eventos y la magnitud en una relación de Gutenberg-Richter. Este parámetro tectónico describe la distribución relativa de los tamaños de los eventos, donde la pendiente, en caso de ser menor, implica que se tiene mayor número de sismos grandes y viceversa. Si es mayor la pendiente, el número es menor. La manera de evaluar el peligro al que está expuesto un sitio, evalúa la tasa de actividad producida por todas las fuentes que pueden afectar al sitio. La actividad de las fuentes sísmicas se especifica en términos de las tasas de excedencia de las magnitudes que se generan en dicho sitio, es decir, qué tan frecuente ocurre, en una fuente, sismos de magnitud superior a la especificada.

Para evaluar al peligro sísmico de una región, se tiene que determinar la tasa de actividad producida por todas las fuentes que pueden afectar al sitio. La actividad de estas se especifica en términos de las tasas de excedencia de las magnitudes que se generan en dicho sitio; qué tan frecuentes son generados por una fuente.

Existe una relación inversa entre el valor de b y el nivel de esfuerzo, dado que un menor valor de b implica una menor pendiente en la relación Gutenberg-Richter; se tiene un número mayor de eventos de magnitudes grandes con relación a la cantidad de eventos menores, lo que implica una concentración de esfuerzos mayor en la zona. De la misma forma, los valores de b grandes implican una concentración de esfuerzo menor (Zúñiga y Wyss, 2001). Este valor es inversamente proporcional a la magnitud obtenida en la región de evaluación, por lo que las diferencias de b también reflejan diferentes tamaños de ruptura promedio que generan sismicidad (Power *et al.*, 1998).

Una de las implicaciones que se tiene al contar con un valor de b estable es que nos permite efectuar estimaciones de peligro en la región de interés y se pueden descartar las variaciones debido a decrementos o incrementos en la actividad natural. Conocer el valor de b , con una menor incertidumbre,

permite estimar los tiempos de recurrencia para eventos de magnitudes específicas en ciertas áreas de interés. El catálogo utilizado para este estudio fue elaborado con estimaciones actuales de la magnitud y/o momento y localización para eventos importantes, en la que se incluye la homogeneidad de dicho catálogo con respecto a la magnitud de los eventos que se tienen.

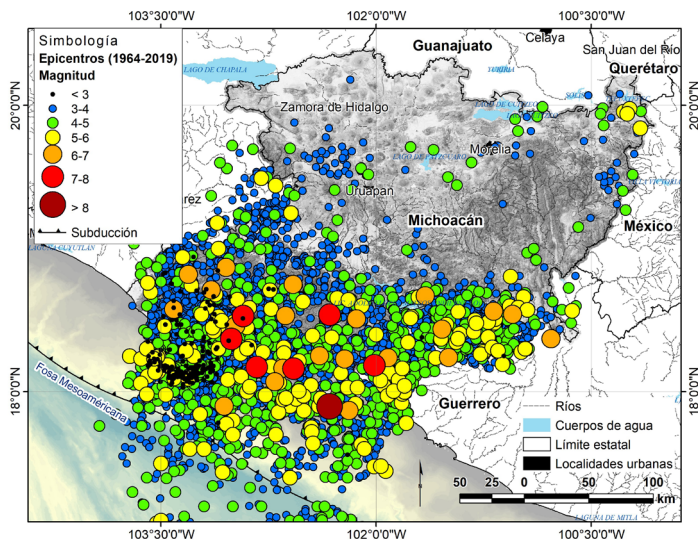
La base de datos utilizada para el análisis espacial de los datos epicentrales fue de 1964 a 2017 y para la elaboración de la cartografía se usó el software ArcMap 10.3. (Distribución polígonos de Thissen y la densidad de puntos).

Resultados

Análisis espacial

En la figura 3.5 se muestran los epicentros reportados por el SSN y del catálogo del IRIS, así como algunos datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Se usaron datos epicentrales iguales y superiores a magnitud 3. Los círculos indican la posición epicentral y el tamaño está en función de la magnitud.

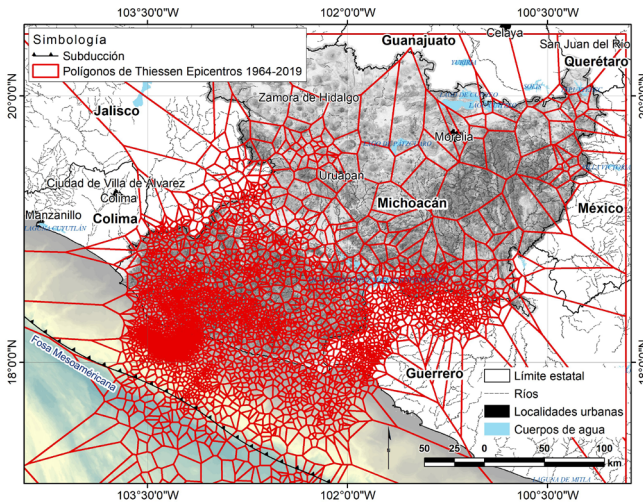
Figura 3.5. Muestra la sismicidad registrada desde 1964 al 2017



Fuente: elaboración propia en software ArcMap 10.3 con base en registros del SSN y catálogo del IRIS.

En la figura 3.6 se presenta el trazo de polígonos de Thiessen de los epicentros de 1964 a 2017 con magnitudes mayores a 3, en el estado de Michoacán. Si bien el método es usado tradicionalmente para obtener el área de dominio de un elemento puntual, el objetivo de emplearlo, para la zonificación sísmica, es identificar la distribución de las zonas con mayor actividad, con base a la cercanía entre epicentros. El resultado muestra una malla continua con diferentes patrones espaciales. Los polígonos con menor tamaño se concentran en las zonas con mayor frecuencia de registros de epicentros, donde se observan alineados a la costa y acumulados sobre la Sierra Madre del Sur. Los polígonos presentan una clara tendencia a aumentar su tamaño conforme se alejan de la costa. Aunque es importante resaltar tres anomalías en dicha tendencia: una es el Corredor Tarasco; dos en el trayecto de la falla Acambay-Morelia y tres en el municipio de Zitácuaro, esto los cataloga como áreas con concentración de actividad sísmica.

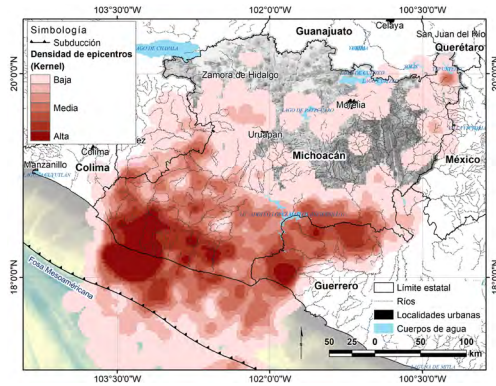
Figura 3.6. Muestra la distribución espacial de los polígonos de Thiessen.



Fuente: elaboración propia en software ArcMap 10.3 con base en registros del SSN y catálogo del IRIS.

En la figura 3.7 se puede apreciar las zonas con una alta densidad de sismicidad de magnitudes pequeñas frente a las costas de Michoacán y sismos no tan densos en la zona de intra placa. Esto indica que las zonas de mayor actividad son las áreas de ruptura de la placa de subducción.

Figura 3.7. Densidad de sismicidad en el estado de Michoacán

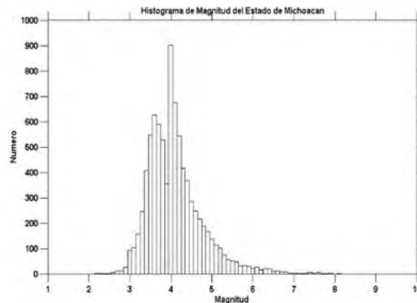


Fuente: elaboración propia en software ArcMap 10.3 con base en registros del SSN y catálogo del IRIS.

3.4.2 Análisis estadístico

En esta recopilación, se observa que en el estado de Michoacán la sismicidad es latente. Los datos instrumentales más confiables son los registrados a partir de 1964. La figura 3.8 muestra los sismos de 1964 al 2017. La sismicidad en la región de subducción frente a las costas de Michoacán es enriquecida por sismos de magnitud 4 a 5, manifestando pocos sismos de magnitudes mayores a 6. También en los límites de Michoacán y Guerrero es muy notable la sismicidad y en general se observa que Michoacán es una zona de alta sismicidad.

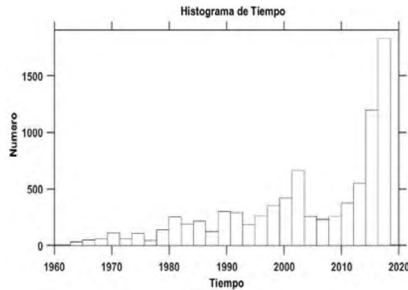
Figura 3.8. Muestra la tendencia del número de eventos versus magnitud de 1964-2017



Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

En el histograma de la figura 3.9 se muestra la tendencia a través del tiempo: se ha tenido mayor número de localizaciones de la sismicidad, esto derivado a la mejor cobertura instrumental que ha ido incrementando el SSN.

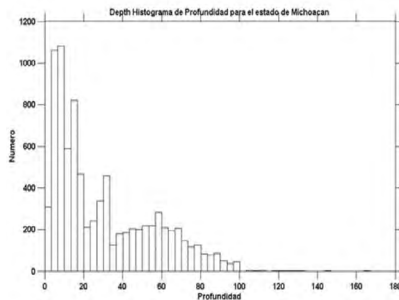
Figura 3.9. *Histograma de tiempo versus número de eventos ($M \geq 3$) reportados entre los años de 1964-2017*



Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

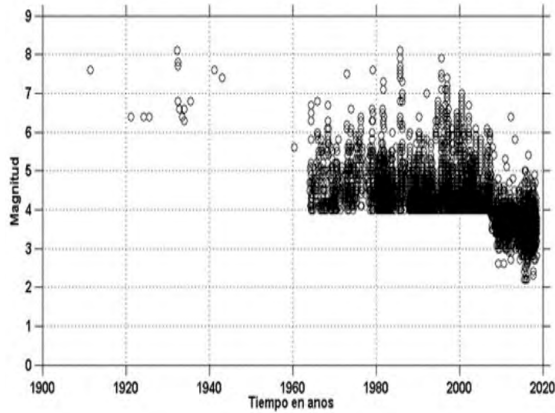
De los sismos registrados, la mayoría son superficiales localizados a menos de 50 km de profundidad. La mayoría ellos tienen hipocentros entre 0 y 20 km de profundidad, mientras que los de entre 40 y 70 km se reportan alrededor de 200 sismos que presentan una sismicidad uniforme (figuras 3.10 y 3.11). En la figura 3.11 se observa que de los años 60 al 2007, la sismicidad se concentra en los mayores a $M5$, mientras que de 2007 a 2017 hay un aumento de la densidad de aquellos que en su mayoría son menores a $M5$. Esto ilustra la importancia del incremento instrumental en la red para la detección de sismos de magnitudes pequeñas.

Figura 3.10. *Histograma de profundidad versus número de eventos entre los años 1964-2017*



Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

Figura 3.11. *Tiempo versus magnitud de eventos entre los años 1964-2017*

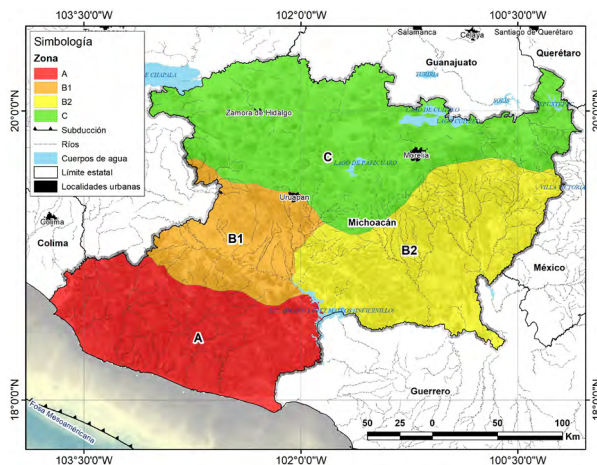


Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

Regiones sismogénicas del estado de Michoacán

Derivado del análisis geológico, geomorfológico, espacial y estadístico de la sismicidad descrito en este trabajo, se propone dividir al estado de Michoacán en cuatro regiones sísmicas como se muestran en la figura 3.12.

Figura 3.12. *Regionalización sísmica del estado de Michoacán actualizada*



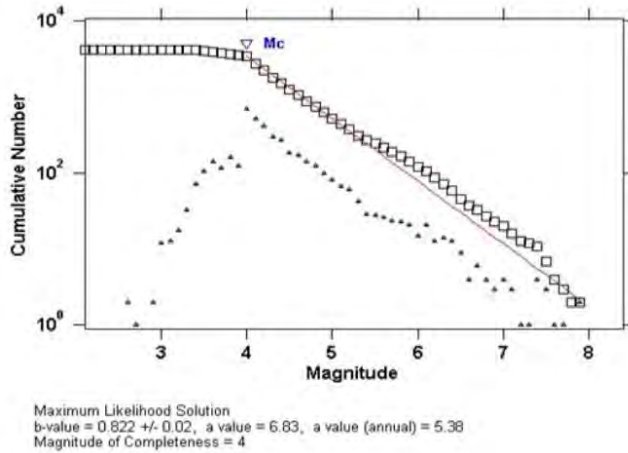
Fuente: elaboración propia en software ArcMap 10.3.

Sistema de Fallas Morelia Acambay (región C). Algunos terremotos se registraron entre los años 1786 y 1787, y que causan daños en Tlalpujahua, Araró y Zinapécuaro (Urquiza, 1872; Ramírez y Reyes, 1873). También se debe mencionar los terremotos con epicentros situados cerca de Acambay y Maravatio que ocurrieron en 1912, 1979 y 1998.

Sistema de subducción, región A. Los datos de MARS (Mapping the Rivera Subduction Zone, por sus siglas en inglés) procesados por Martínez-López (2011), los datos de la base internacional Global CMT Project y el Servicio Sismológico Nacional (1964-2017), Martínez-López y Mendoza (2015) muestran que la región sismogénica del acoplamiento de la placa de Cocos con la placa de América del norte en el segmento de Michoacán, tiene una profundidad máxima de 40 km, una anchura sismogénica de 95 kilómetros y una longitud total de 300 km, teniendo en cuenta un ángulo de 25 grados.

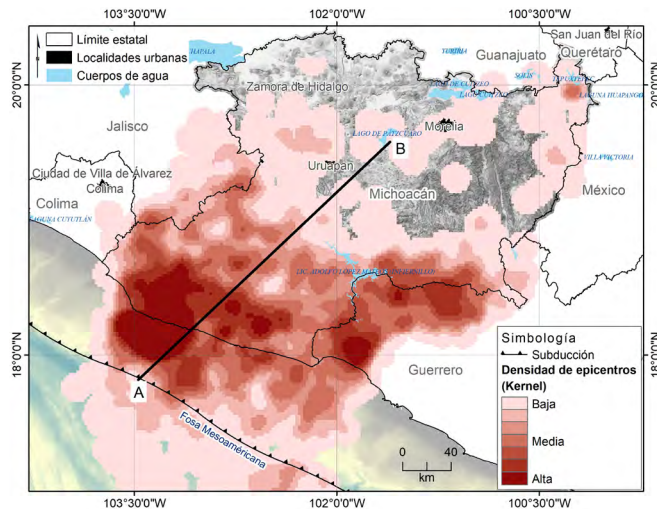
Región B1: sismicidad volcánica (Triángulo de Michoacán). Particularmente cerca de los volcanes Tancítaro y Parícutín en la región se presentó una crisis sísmica en los días previos al 21 de febrero de 1997 hasta el 18 de marzo del mismo año, con terremotos de magnitudes entre 3,9 y 4,1 (Pacheco et al., 1999). Esta región se encuentra dentro de los límites de Jalisco y Michoacán, la cual tiene parte de las fallas generales de la depresión de Tepalcatepec y el área límite de fractura Jorullo-Tacámbaro sureste. Esta región también contiene la parte oriental del rift de Colima y del rift Chapala, así como las fallas del sistema del Graben de Cotija. En particular, en esta área ocurren terremotos generados por la actividad volcánica producida por los volcanes Tancítaro y Parícutín en el Triángulo de la actividad sísmica de Michoacán.

Región B2: depresión Tepalcatepec. esta área se encuentra dentro de los límites de Michoacán y Guerrero, contiene parte del complejo Michoacán-Oaxaca, depresión Tepalcatepec, Tzitzio, Infiernillo-Penjamillo y Valle de Santiago, así como la región de fractura Jorullo-Tacámbaro. Por otro lado, utilizando todo el catálogo del estado, se determinó la distribución del valor de b (Gutenberg Richter) como se muestra en la figura 3.13. Se utilizó para el estado de Michoacán.

Figura 3.13. Resultados de la estimación de b , para el estado de Michoacán

Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

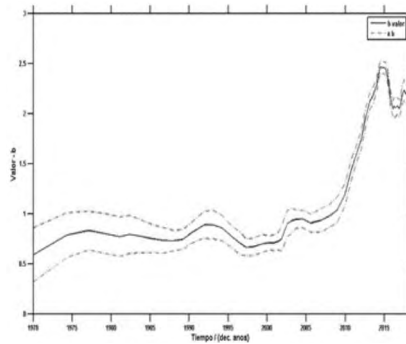
En la figura 3.14 se muestra el perfil para el cual se estimó el valor de b en función de la magnitud, profundidad y tiempo, este perfil se realizó en la parte central del estado con una línea perpendicular a la línea de la costa.

Figura 3.14. Muestra el perfil utilizado para la estimación del valor de b con una longitud de 200km que va de A-B.

Fuente: Elaboración propia en software ArcMap 10.3 con base registros del SSN y catálogo del IRIS.

Se determinó la distribución del valor b en función del tiempo (figura 3.15), magnitud (figura 3.16) y profundidad (figura 3.17) donde se muestran las variaciones estimadas del valor b . Se observa que los valores, a través del tiempo, muestran una acumulación de esfuerzos en los últimos 5 años aproximadamente (figura 3.15).

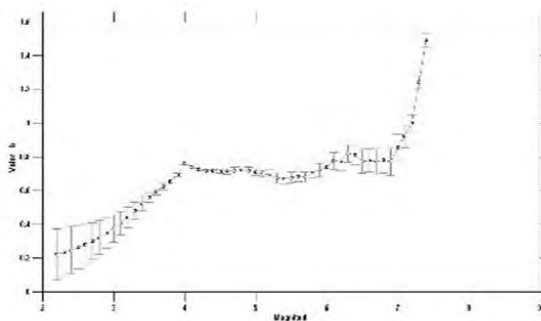
Figura 3.15. Muestra la estimación del valor b en función del tiempo



Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

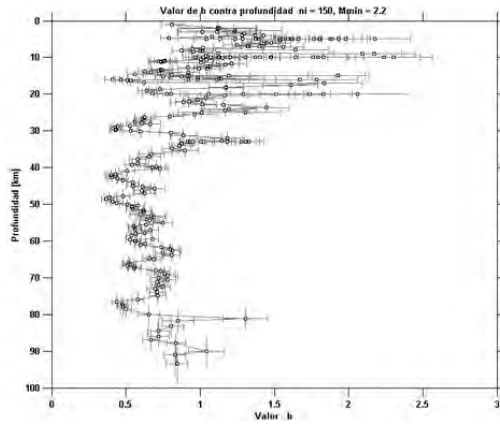
Para la gráfica en función de la magnitud se muestra que la tendencia entre los sismos de $M4$ a $M5$ tienen una distribución constante mientras que para los sismos $>M5$ tienen un sesgo lo que muestra una carencia de sismos de magnitud considerable. Sin embargo, esta observación puede ser algo arbitraria porque la cobertura instrumental era escasa antes de la década de 1990.

Figura 3.16. Muestra la estimación del valor b en función de la magnitud



Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

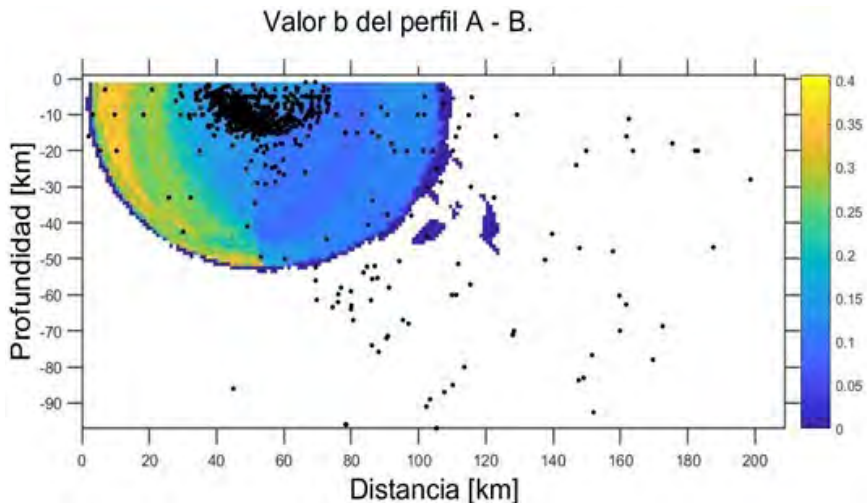
Figura 3.17. Muestra la estimación del valor b en función de la profundidad



Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

Para el mismo perfil se determinó la distribución del valor de b para el trayecto del perfil A-B. En la figura 3.18 se muestra la zona de acumulación de los esfuerzos que está dentro de la corteza continental, donde se ha ido acumulando la energía y se considera una de las regiones de mayor sismicidad dentro del estado.

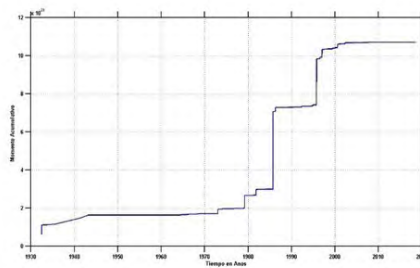
Figura 3.18. Muestra la estimación del valor b a lo largo del perfil A-B.



Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

También se determinó el momento acumulado desde 1932 hasta 2017 (figura 3.19). En la figura 3.20 se muestra que, después del sismo de 1985 y después del sismo de 1998, existe una acumulación de energía la cual se ha visto reflejada en los de magnitud considerable. Asumiendo una tendencia progresiva, a partir del 2003, se tendría una acumulación de energía y, asumiendo un comportamiento cíclico, se estimaría que en los próximos años manifestaría un evento de magnitud considerable en la zona de estudio.

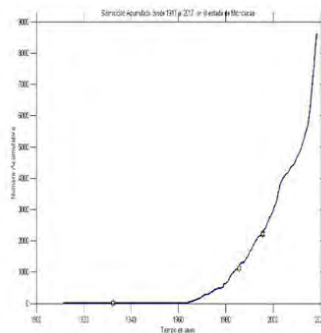
Figura 3.19. Muestra el Momento acumulado contra el tiempo



Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

La sismicidad que se ha registrado hoy en día muestra un aumento en la sismicidad debido al incremento y cobertura instrumental. Aunque para el caso de estudio aún se cuenta con grandes incertidumbres, puesto que en Michoacán no se tiene una red estatal que permita disminuirla en la localización de magnitudes $< M4$.

Figura 3.20. Muestra el número acumulado de los eventos contra el tiempo en años



Fuente: elaboración propia en software Matlab R2007b (Zmap 6.0) con base en SSN e IRIS.

Conclusiones

En este trabajo se realizó una recolección de los datos epicentrales de 1911 a 2017, que fueron analizados estadísticamente. Se utilizaron terremotos de igual o mayor magnitud a M3, los cuales fueron analizados de acuerdo con la profundidad y magnitud para la correlación con la geotectónica y geomorfología del Michoacán. Este estudio permitió definir cuatro regiones dentro del estado de Michoacán que fueron las zonas: A, B1, B2, y C de acuerdo con el nivel de peligro sísmico.

La geomorfología del estado de Michoacán es el resultado de una historia geológica diversa y estrechamente relacionada con procesos tectónicos que resultan de procesos de subducción y otros procesos intraplaca. La regionalización propuesta ayudará a evaluar mejor el peligro sísmico en el estado de Michoacán. Esta regionalización debe ser la base para la instalación y diseño de una red sísmica, así como para mejorar los estudios de peligro y riesgo. Los resultados presentados en este trabajo son preliminares de un trabajo en proceso. La instrumentación desplegada después de los sismos de septiembre de 2022 proporcionará datos indispensables para una mejor evaluación del peligro y riesgo sísmico en el estado de Michoacán.

Referencias

- Campa, M. y Coney, P. (1983, junio). Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in México. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(6), 1040–1051. <https://doi.org/10.1139/e83-094>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). (2003, 20 de enero). *El sismo de Tecomán, Colima 21 de enero 2003: Informe técnico para sustento de la declaratoria de desastre natural de 3 municipios del estado de Michoacán, 10 del estado de Colima y 27 del estado de Jalisco*. Cenapred. <https://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/el-sismo-de-2003-en-tecoman-colima>
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (1993). *Manual de diseño de obras civiles: Diseño por sismo*. CFE.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2008). *Manual de diseño de obras civiles: Diseño por sismo*. CFE.

- Esteva, L. (1976). Seismicity. En C. Lomnitz y E. Rosenblueth (Comps.), *Seismic risk and engineering decisions* (pp. 179–224). Elsevier.
- García, V. y Suárez, F. (1996). *Los sismos en la historia de México*. Ediciones Científicas Universitarias / Fondo de Cultura Económica.
- Garduño, M., Corona, P., Israde, L., Arreygue, E., Bigiogero, B. y Chiesa, S. (1999). *Carta geológica de Michoacán (escala 1:250,000)*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo / Secretaría de Difusión Cultural.
- Garduño, M., Arreigue, R., Chiesa, S., Israde, I., Rodríguez, T. y Ayala, G. (1998). Las fallas geológicas y sísmicas de la ciudad de Morelia y su influencia en la amplificación del territorio. *Ingeniería Civil*, 1(5), 3–12.
- Garduño, M. y Torres, J. (1996). Revisión histórica de la sismicidad en Michoacán. *Ciencia Nicolaita*, 57–81.
- Garduño, V., Israde, I., Francalanci, L., Carranza, O., Chiesa, S., Corona, P. y Arreygue, E. (1997). *Sedimentology, volcanism and tectonics of the southern margin of the lacustrine basins of Maravatio and Cuitzeo, Mich., Mexico*. International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI).
- Guilbaud, M.-N., Siebe, C., Layer, P., Salinas, S., Castro-Govea, R., Garduño-Monroy, V. H. y Le Corvec, N. (2011). Geology, geochronology, and tectonic setting of the Jorullo Volcano region, Michoacan, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 201(1–4), 97–112. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.09.005>
- Gutiérrez, C. y Montoya, D. (2000). *Mapa de isosistas de la República Mexicana*. Cenapred.
- Gutenberg, C. (1954). *Seismicity of the Earth and associated phenomena*. Princeton University.
- Hagiwara, Y. (1974). Probability of earthquake occurrence as obtained from a Weibull distribution analysis of crustal strain. *Tectonophysics*, 23, 313–318.
- Havskov, J., Cruz de la, S., Singh, S., Medina, F. y Gutierrez, C. (1983, abril). Seismic activity related to the March-April, 1982 eruption of El Chichon Volcano, Chiapas, Mexico. *Geophysical Research Letters*, 10(4), 293–296. <https://doi.org/10.1029/gl010i004p00293>
- Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). (s/f). *Data set*. IRIS. <http://www.iris.edu/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Datos vectoriales de las cartas topográficas 1:1'000,000 y 1:250,000*. INEGI.
- Kelleher, J., Sykes L. y Oliver J. (1973). Possible criteria for predicting earthquake locations and their applications to major plate boundaries of the Pacific and the Caribbean. *Journal of Geophysical Research*, 78(14), 2547–2585. <https://doi.org/10.1029/jb078i014p02547>
- Martínez, A. (1987). *Isosistas del macrosismo del 19 de septiembre de 1985*. UNAM, Instituto de Ingeniería.
- McCann, W. R., Nishenko, S. P., Sykes, L. R. y Krause, J. (1979). Seismic gaps and plate tectonics: Seismic potential for major boundaries. *Pure and Applied Geophysics*, 117, 1082–1147. <https://doi.org/10.1007/bf00876211>

- Morelli, S., Garduño Monroy, V. H., Gigli, G., Falorni, G., Arreygue Rocha, E. y Casagli, N. (2010). The Tancitaro debris avalanche: Characterization, propagation and modeling. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 193(1–2), 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.03.008>
- Nava, A. (1998). *Terremotos*. Fondo de Cultura Económica.
- Nishenko, S. y Singh, S. (1987). Conditional probabilities for the recurrence of large and great interpolate earthquakes along the Mexican subduction zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77(6), 2095–2114.
- Pacheco, J. F. y Sykes, L. R. (1992). Seismic moment catalog of large shallow earthquakes, 1900 to 1989. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(3), 1306–1349
- Padilla y Sánchez, R. J., Domínguez Trejo, I., López Azcárraga, A. G., Mota Nieto, J., Fuentes Menes, A. O., Rosique Naranjo, F., Germán Castelán, E. A. y Campos Arriola, S. E. (2013). *Tectonic map of Mexico*. Data Pages. <http://www.datapages.com/AssociatedWebsites/GISOpenFiles.aspx>
- Pasquarè, G., Ferrari, L., Covelli, P. y Agostini de, G. (1991). *Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacan, Mexico*. Sociedad Geológica de América.
- Power, J. A., Wyss, M. y Latchman, J. L. (1998). Spatial variation in the frequency magnitude distribution of earthquakes at Soufriere Hill Volcano, Monserrat, West Indies. *Geophysical Research Letters*, 25(19), 3653–3656. <https://doi.org/10.1029/98gl00430>
- Servicio Sismológico Nacional (SSN). (s/f). [Archivos]. <http://www.ssn.unam.mx/>
- Singh, S. K., Astiz, L. y Havskov, J. (1981, junio). Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: A reexamination. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71, 827–843. <https://doi.org/10.1785/bssa0710030827>
- Vázquez Rosas, R. (2013). *Estimación de escenarios sísmicos en Michoacán* [Tesis de doctorado]. UNAM. <http://132.248.9.195/ptd2013/noviembre/0704641/0704641.pdf>
- Zuñiga, F. R. y Wyss, M. (2001). Most- and least-likely localizations of large to great earthquakes along the Pacific coast of Mexico estimated from local recurrence times based on b-values. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91(6), 1717–1728 <https://doi.org/10.1785/0120000303>

4. Características del movimiento sísmico

IVÁN FRANCISCO HUERGO RÍOS*

HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS**

JUAN GERARDO ALCÁNTAR SÁNCHEZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.266.04>

Resumen

El 19 de septiembre de 2022, en el Estado de Michoacán ocurrió un sismo de subducción con magnitud de momento de 7.6 a 37 km al suroeste del municipio de Aquila, Michoacán, el cual ocasionó daños estructurales y personas lesionadas en ciudades localizadas en la costa del Pacífico mexicano. Se calcularon los parámetros de los registros de las aceleraciones sísmicas proporcionadas por el Servicio Sismológico Nacional (SSN), obtenidas en las estaciones ubicadas en las localidades de Maruata, Tancítaro y Morelia; entre los cuales destacan la aceleración máxima del suelo (PGA), la intensidad espectral de Housner (IH), la intensidad de Arias, potencial destructivo (PD), velocidad absoluta acumulada (CAV) e intensidad de la Agencia Meteorológica de Japón (JMA).

Palabras clave: *sismo del 19 septiembre de 2022, intensidad de Arias, aceleración máxima del suelo, intensidad de Housner, potencial destructivo, velocidad absoluta acumulada, intensidad de la Agencia Meteorológica de Japón.*

* Doctor en Ingeniería. Profesor de tiempo completo en la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Monterrey, Nuevo León, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9122-4832>; ID'Scopus: 57210997993; Correo: ivan.huergo@udem.edu

** 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>

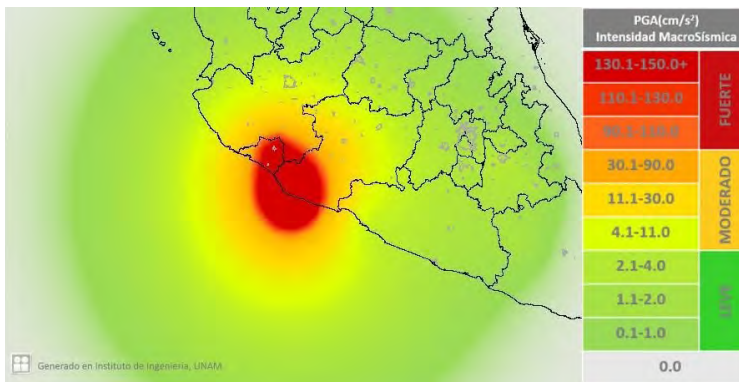
*** Maestro en Ingeniería. Profesor-investigador de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9349-5684>

Introducción

El día 19 de septiembre del año 2022, a las 13:05 h ocurrió un evento sísmico en las costas del Pacífico mexicano, muy cercano a los municipios de Aquila y Coalcomán en el estado de Michoacán, México. Este fenómeno tuvo lugar en la zona llamada de subducción, entre la placa tectónica de Cocos y la placa Continental Norteamericana. El Servicio Sismológico Nacional, SSN, reportó que el sismo tuvo una magnitud de 7.7 Mw con epicentro en las coordenadas 18.22° latitud Norte y -103.29° longitud Oeste, el hipocentro se ubicó a una profundidad de 15 km y según la información desplegada por el SSN (<http://www.ssn.unam.mx>) hasta las 20:00 h del 31 de diciembre de 2022, se registraron 13 140 réplicas del sismo, siendo la más grande de 6.9 Mw.

En la figura 4.1, se muestra el mapa de intensidades del sismo del 19 de septiembre del año 2022, el cual fue publicado en el reporte especial del Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2022). Como se puede observar las intensidades mayores se presentaron en los estados de Colima y Michoacán, en donde se estimaron intensidades entre 130 y 150 cm/s^2 .

Figura 4.1. Mapa de aceleraciones máximas del suelo: sismo del 19 de septiembre de 2022

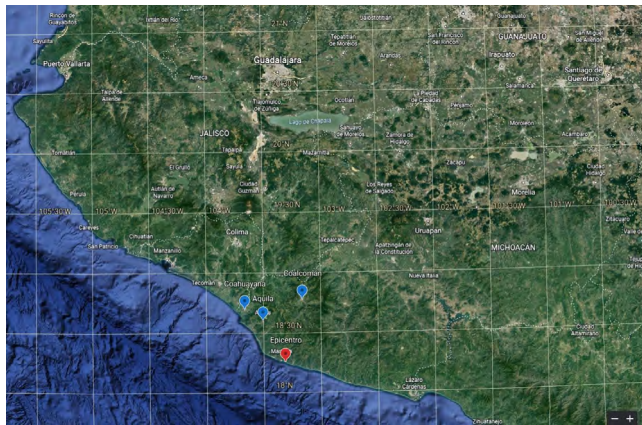


Fuente: SSN (2022).

El sismo del 19 de septiembre de 2022, dejó una gran cantidad de estructuras dañadas en diversas comunidades de Michoacán, pero principal-

mente en las comunidades que forman la Sierra-Costa. Un equipo conformado por profesores y estudiantes del posgrado y de la Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), realizaron la inspección y evaluación de los daños estructurales en diversas comunidades, en particular en los municipios de Aquila, Coahuayana y Coalcomán, cuyas cabeceras municipales se encuentran a una distancia entre 42 y 65 km del epicentro, como se observa en la figura 4.2.

Figura 4.2. Localización del epicentro y de las comunidades de Michoacán con mayor daño



Fuente: elaboración propia.

Se reportaron daños en casas, escuelas, en los municipios más afectados clínicas, hospitales, hoteles, iglesias, oficinas administrativas y comercios. En varios lugares se interrumpieron las actividades económicas, comerciales y administrativas, pero, sobre todo, debe resaltarse el hecho de que algunos centros de salud y un gran número de escuelas suspendieron sus actividades por más de dos semanas después de lo ocurrido.

Según el comunicado emitido el 19 de septiembre del 2022 por la Secretaría de Seguridad y Protección ciudadana, el evento sísmico fue percibido por aproximadamente 48 millones de personas. El comité nacional de emergencias se declaró en sesión permanente para monitorear la actividad sísmica en la región y concluir la evaluación de daños. También se informó que no se esperaba incremento significativo en el nivel del mar. En lo que respecta a la información de la Comisión Federal de Electricidad, se repor-

taron 2 millones de usuarios afectados en el servicio eléctrico, aunque el 90% se restableció antes de las 15:00 horas.

Se reportaron una gran cantidad de estructuras afectadas en Michoacán y Colima, pero los daños se extendieron a los estados vecinos de Jalisco, Aguascalientes, Nayarit, Estado de México, incluyendo a la ciudad de México, localizada a más de 425 km de distancia del epicentro, pero con daños mínimos. Las afectaciones se produjeron en la infraestructura urbana, puentes, carreteras y deslizamientos de tierra que interrumpieron el tránsito en carreteras cercanas al epicentro en el estado de Michoacán.

Demanda sísmica

De acuerdo con el reporte preliminar elaborado por un equipo del Earthquake Engineering Research Institute (EERI) y de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS) (Miranda *et al.*, 2022), la aceleración máxima del terreno (PGA) —registrada en la estación COMA, localizada en la comunidad de Comala, Colima, a 132 km del epicentro y a 55 km del plano de falla— fue de 207 cm/s^2 . En cuanto a la aceleración espectral Samax, el valor pico fue de 682 cm/s^2 para un periodo de 0.32 s (Miranda *et al.*, 2022, tabla 3.1). En la figura 4.3 se observa la localización de las estaciones más cercanas al epicentro, operadas por el Instituto de Ingeniería y el Instituto de Geofísica, ambos de la UNAM (Miranda *et al.*, 2022).

Figura 4.3. Localización de las estaciones sísmicas más cercanas al epicentro



Fuente: recuperada de Miranda *et al.* (2022).

La tabla 4.1 muestra los valores de aceleración de diseño que especifica el *Manual de diseño de obras civiles: Diseño por sismo* (CFE, 2015), para la comunidad de Aquila, que es el lugar en el que se reportaron la mayor cantidad de daños estructurales. Se presentan los valores de aceleración de diseño para periodo cero (aceleración del terreno) y los valores de aceleración máximos del espectro elástico, tanto para estructuras del grupo B, que corresponde a estructuras de importancia normal, como son oficinas, comercios, viviendas, entre otras, y para estructuras clasificadas como del grupo A, que corresponden a las de mayor importancia social y económica, como son escuelas, clínicas, hospitales e iglesias, etcétera.

Tabla 4.1. Aceleraciones de diseño del MDOC (2015) para Aquila, Michoacán

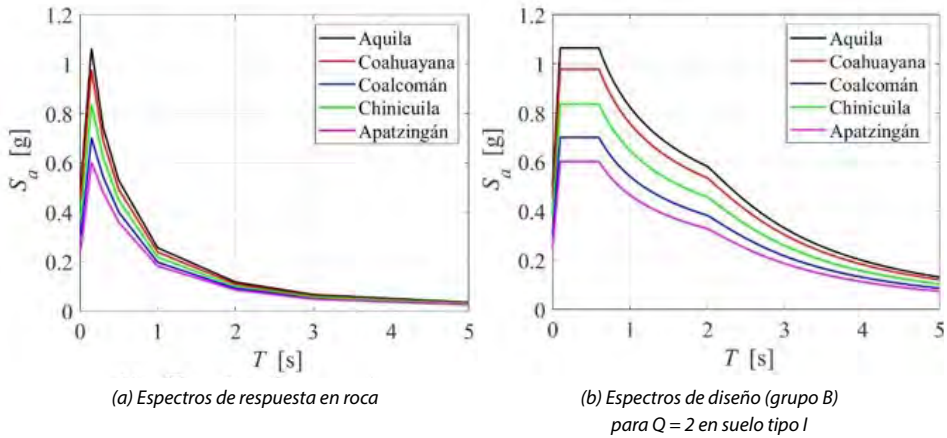
Aceleración en roca (cm/s ²)		Aceleración máxima de diseño (cm/s ²)	
Grupo B	Grupo A	Grupo B	Grupo A
500	750	1 044	1 566

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.3 se muestran los espectros de respuesta y de Diseño, realizados utilizando las recomendaciones del Manual (CFE, 2015) para los municipios de Aquila, Coahuayana, Coalcomán, Chinicuila y Apatzingán. Para la realización de los espectros se consideró un terreno rocoso, suelo tipo I y un factor de comportamiento sísmico $Q = 2$, para estructuras del grupo B.

Dadas las características de las estructuras existentes en las comunidades afectadas de la Sierra-Costa de Michoacán, se estima que tienen periodos de vibrar Cortos, del orden de 0.1 a 0.2 s. Se considera que un periodo de 0.15 s, de la figura 4.4, para las estructuras del grupo B, se esperan aceleraciones del orden de 1 044 cm/s² para Aquila, 959 cm/s²; Coahuayana, 820 cm/s²; Chinicuila; 687 cm/s²; Coalcomán, y de 591 cm/s² para Apatzingán.

Figura 4.4. Espectros de respuesta y diseño obtenidos según el Manual de Obras Civiles



Fuente: recuperado de CFE (2015).

Intensidad del movimiento

En la página electrónica del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) se muestra el mapa de Intensidades sísmicas del movimiento sísmico M 7.6-35 km de Aquila, México. Las estaciones sísmicas ubicadas en Michoacán y reportadas en dicha referencia, se resumen en la tabla 4.2. En la tabla 4.2 se indica la denominación de la estación sísmica, las coordenadas utm y la intensidad sísmica reportada en el sitio.

Tabla 4.2. Estaciones sísmicas en Michoacán y valor de la Intensidades sísmicas reportadas en USGS, Geological Survey

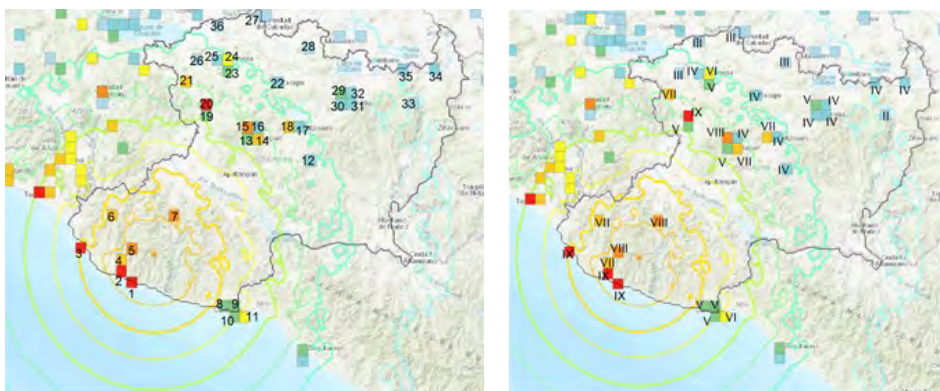
No	Estación	UTM	I	No	Estación	UTM	I
1	Coalcomán	13Q 069 201 10000	IX	19	Santa Clara de Valladares	13Q 076 216 1000	V
2	Coahuayana	13Q 068 202 10000	IX	20	Santa Clara de Valladares*	13Q 076 217 1000	IX
3	Coahuayana	13Q 064 204 10000	IX	21	Cotija	13Q 074 219 1000	VII
4	Coalcomán	13Q 068 203 1000	VII	22	Zacapu	14Q 020 219 1000	IV
5	Coalcomán	13Q 069 204 1000	VIII	23	Jacona	13Q 078 220 1000	V
6	Coalcomán	13Q 067 207 1000	VII	24	Zamora	13Q 078 221 1000	VI
7	Aguililla	13Q 073 207 1000	VIII	25	Ario	13Q 077 221 1000	IV

8	Las Guacamayas	13Q 078 199 1000	V	26	Rincón de San Nicolás Romero	13Q 075 221 1000	III
9	Las Guacamayas	13Q 079 199 1000	V	27	La Piedad	13Q 081 225 1000	III
10	Lázaro Cárdenas	13Q 079 198 1000	V	28	Puruándiro	14Q 023 222 1000	III
11	Lázaro Cárdenas	13Q 080 198 1000	VI	29	Morelia	14Q 026 218 1000	V
12	Tacámbaro	14Q 023 212 1000	IV	30	Morelia	14Q 026 217 1000	IV
13	Uruapan	13Q 080 214 1000	V	31	Morelia	14Q 027 217 1000	IV
14	Uruapan	13Q 081 214 1000	VII	32	Morelia	14Q 027 218 1000	IV
15	Uruapan	13Q 080 215 1000	VIII	33	Hidalgo	14Q 033 217 1000	II
16	Uruapan	13Q 081 215 1000	IV	34	Tungareo	14Q 035 220 1000	IV
17	Pátzcuaro	14Q 022 215 1000	IV	35	Zinapécuaro	14Q 032 220 1000	IV
18	Santa Clara del Cobre	14Q 021 215 1000	VII	36	Tanguato	13Q 077 224 1000	III

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.4a se muestra el mapa del estado de Michoacán con la ubicación numerada de cada estación según la tabla 4.1. En la figura 4.5b se muestra la intensidad sísmica en cada estación de la tabla 4.1.

Figura 4.5. Ubicación de las estaciones sísmicas ubicadas en Michoacán y la intensidad sísmica del evento del 19 de septiembre de 2022



Fuente: adaptada de la USGS (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000i9bw/dyfi/intensity>).

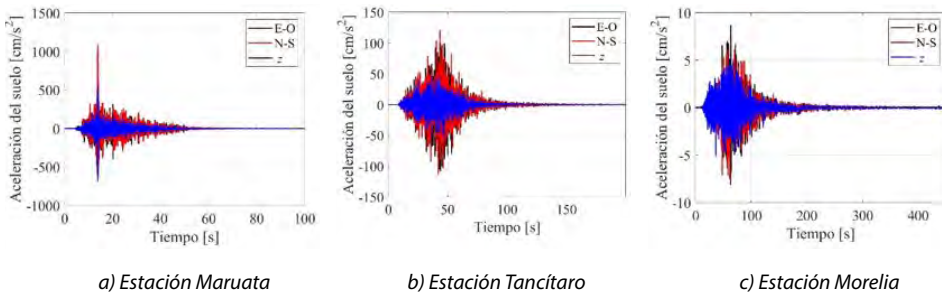
En la figura 4.4 se puede ver que las comunidades ubicadas en la costa de Michoacán tuvieron una intensidad sísmica de IX (estaciones

números 1, 2 y 3), es raro que la estación 20, ubicada en la comunidad de Santa Clara de Valladares, también tenga una similar. Por otro lado, como se espera, para comunidades alejadas del epicentro las intensidades sísmicas disminuyen. Se presentó una Intensidad sísmica de IV-V, para las estaciones ubicadas en Morelia (estaciones 29, 30, 31 y 32), capital del estado.

Parámetros sísmicos

El Servicio Sismológico Nacional, adscrito al Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México opera exitosamente una red de banda ancha distribuida en toda la República Mexicana para el monitoreo continuo de los eventos sísmicos que se registran en el país. El SSN, proporcionó los registros de aceleraciones obtenidos el 19 de septiembre en tres estaciones ubicadas en el Estado de Michoacán: (1) estación MMIC, ubicada en la comunidad de Maruata municipio de Aquila, latitud 18.288528° , longitud -103.345565° , esta estación está próxima al sitio en el que se reportó el epicentro del evento sísmico; (2) estación TMIG, localizada en Tancítaro, latitud 19.348953° , longitud -102.311172° , y (3) estación MOIG, localizada en la ciudad de Morelia (latitud 19.646812° , longitud -101.2271135°) en las instalaciones de la UNAM campus Morelia. Se muestran los registros de aceleraciones de las tres estaciones antes descritas en la figura 4.6.

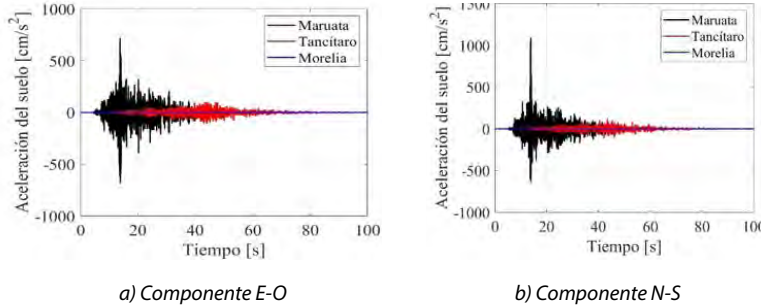
Figura 4.6. Registros sísmicos de estudio: 19 de septiembre de 2022



Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.7 se muestran los registros de aceleraciones para las componentes horizontales E-O y N-S, de los tres obtenidos en las estaciones de Maruata, Tancítaro y Morelia.

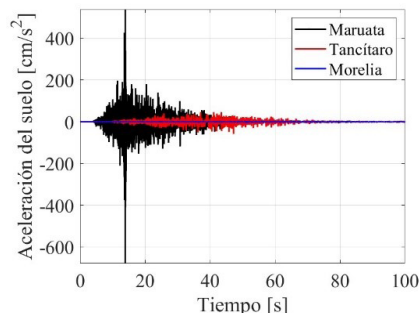
Figura 4.7. Registros sísmicos horizontales en las estaciones Maruata, Tancítaro y Morelia



Fuente: elaboración propia.

Se puede ver la diferencia de aceleraciones del terreno en las tres estaciones sísmicas de estudio en la figuras 4.6. La mayor aceleración del terreno se obtiene en la estación Maruata, siendo mayor en la dirección de la componente N-S. Para el caso de la estación Morelia, las aceleraciones del terreno son muy pequeñas, en ambas direcciones. La figura 4.8 muestra el componente vertical de las tres estaciones sísmicas estudiadas, se observa ver la gran diferencia de aceleraciones en la estación, que se encuentra próxima a la zona epicentral en relación con las otras dos, incluso es la más pequeña.

Figura 4.8. Comparación de los registros sísmicos verticales de las estaciones Maruata, Tancítaro y Morelia



Fuente: elaboración propia.

Para fines de identificar la variación de las aceleraciones en las tres estaciones sísmicas estudiadas, en la figura 4.9 se muestra su ubicación y los registros de aceleraciones horizontales en cada una de las estaciones.

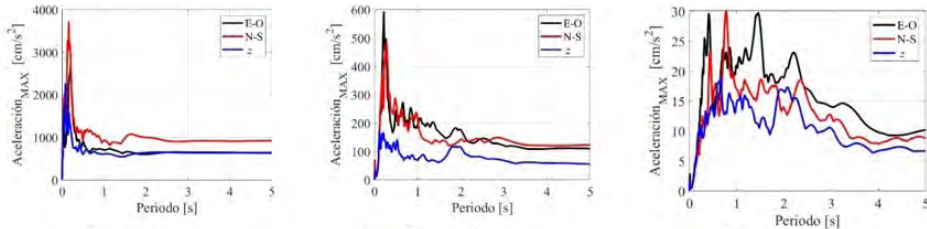
Figura 4.9. Ubicación de las estaciones sísmicas y sus registros de aceleraciones horizontales



Fuente: elaboración propia.

Se muestran los espectros de respuesta de aceleraciones para las tres estaciones antes descritas y para un amortiguamiento estructural de 5% en la figura 4.10.

Figura 4.10. Espectros de respuesta de aceleraciones relativas para un amortiguamiento de 5%



a) Estación Maruata

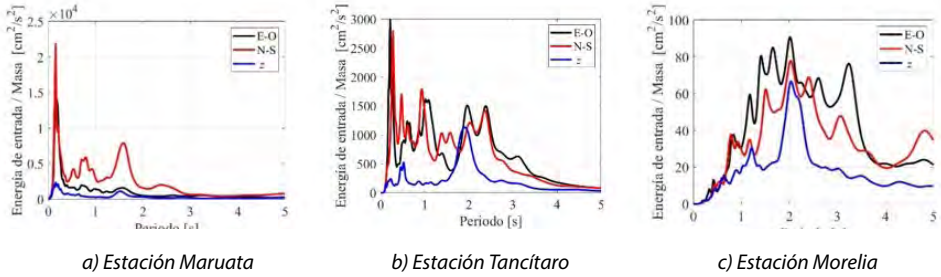
b) Estación Tancitaro

c) Estación Morelia

Fuente: elaboración propia.

Se muestran los espectros elásticos de energía de entrada para un amortiguamiento de 5% en la figura 4.11, para los registros sísmicos de las estaciones Maruata, Tancítaro y Morelia.

Figura 4.11. Espectros elásticos de energía de entrada para un amortiguamiento de 5%



Fuente: elaboración propia.

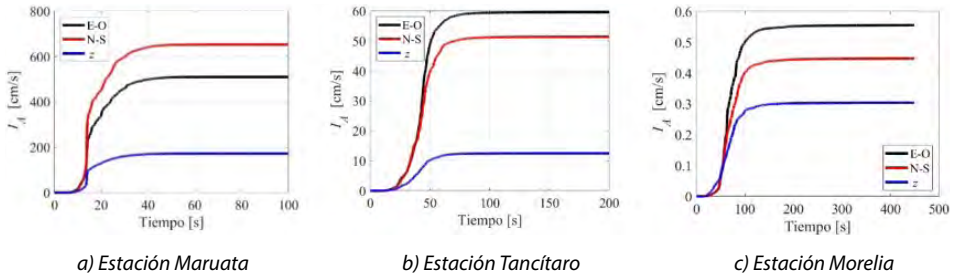
En la ingeniería estructural es de vital importancia caracterizar los sismos con el objetivo de poder realizar estudios de peligro sísmico para el correcto diseño de estructuras, ya que es necesario definir una serie de parámetros que proporcionen un indicio del daño que puede causar un sismo en una determinada localidad; entre ellos se puede mencionar la aceleración máxima del suelo (PGA), la intensidad espectral de Housner (IH), el potencial destructivo (PD), la velocidad absoluta acumulada (CAV), la intensidad de la JMA, etcétera.

La intensidad de Arias (1970), en honor al científico chileno Arturo Arias Suárez, es un parámetro que refleja la energía total contenida en el registro de aceleraciones y se relaciona con la capacidad que tiene el sismo de producir daño estructural. La intensidad de Arias (I_A) está dada por:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_{t_0}^{t_0 + D} a(t)^2 dt \tag{4.1}$$

donde I_A es la intensidad de Arias, g es la aceleración de la gravedad, t_0 es el tiempo inicial del registro de aceleraciones, D es la duración del registro de aceleraciones y $a(t)$ es la aceleración del suelo del registro sísmico. Para los tres registros sísmicos estudiados, las intensidades de Arias se muestran en la figura 4.12.

Figura 4.12. Intensidades de Arias, registros sísmicos 19 septiembre de 2022



Fuente: elaboración propia.

El potencial destructivo definido por Araya y Saragoni (1984), es un parámetro que permite evaluar la capacidad destructiva de un evento sísmico, es decir, mediante este parámetro es posible distinguir entre un sismo que realmente es capaz de producir daño y otro que no lo es, para distintos lugares del mundo (Jorquera, 2014). El potencial destructivo (PD) está dado por:

$$P_D = \frac{I_A}{v_0^2} \quad (4.2)$$

donde I_A es la intensidad de Arias y v_0 es la intensidad de cruces por cero; ésta última es calculada del registro de aceleraciones del suelo contabilizando la cantidad total de cruces por cero dividido por el tiempo total transcurrido (Jorquera, 2014).

Otro parámetro sísmico que en ocasiones puede resultar de interés es la intensidad de Housner (1952), la cual mide la severidad de un movimiento en estructuras elásticas. La intensidad de Housner (IH) está definida por el área bajo la curva del espectro de respuesta de velocidades y está dada por:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_{0.1}^{2.5} S_v(T, \xi = 0.2) dt \quad (4.3)$$

S_v es el espectro de respuesta elástico de velocidades relativas para un amortiguamiento $\xi = 0.2$ (para suavizar el espectro), el cual se integra para periodos (T) desde 0.1 s hasta 2.5 s (valores que incluyen el rango de periodos comunes en el diseño de estructuras). Cabe mencionar que este parámetro sísmico suele no utilizarse en estructuras flexibles con bajo amortiguamiento.

Por otra parte, la velocidad absoluta acumulada (CAV) fue definida por el Electrical Power Research Institute (EPRI, 1991). Este parámetro sísmico se define como el área bajo la curva del acelerograma absoluto, es decir, considera la contribución de la amplitud y la duración del movimiento y está dado por:











$$CAV = \int_{t_0}^{t_0 + D} a(t) dt \quad (4.4)$$

$a(t)$ es el registro de aceleraciones, y donde t_0 y D son el tiempo inicial y la duración total del registro sísmico, respectivamente.

Para caracterizar los sismos se suelen utilizar dos escalas: la de Richter; que representa la energía sísmica, y la de Mercalli, que se basa en el efecto o daño producido en las estructuras y en la sensación percibida por la gente. Sin embargo, existe otra escala desarrollada por la JMA, la cual fue creada como una estimación del daño estructural producido por un movimiento sísmico, determinado de manera subjetiva mediante una escala de 1 a 7 cuya unidad de medida es el *Shindo* (intensidad del terremoto/grado de agitación en japonés).

Mientras la escala de Richter mide la energía liberada por un sismo en su epicentro, la escala JMA mide, de 0 a 7, el grado de agitación en un punto de la superficie terrestre y el efecto que deja sentir en ese punto. En la tabla 4.3 muestra de manera descriptiva los diferentes grados de intensidad sísmica asociados a la escala JMA, I_{JMA} , los cuales están basados en el sitio web de la Agencia Japonesa.

Tabla 4.3. Escala de intensidad sísmica de la Agencia Meteorológica de Japón.

Intensidad sísmica I_{JMA} [Shindo]				
0	1	2	3	4
				
Sismo imperceptible para los humanos	Solo algunas personas en el edificio perciben el temblor	La mayoría de las personas en el edificio perciben el temblor. Los objetos colgantes como lámparas oscilan ligeramente	Casi todas las personas en el edificio perciben el temblor. Los platos en el armario de la cocina pueden sonar por la sacudida	Casi todas las personas se asustan. Los objetos colgantes tales como lámparas oscilan violentamente y los adornos inestables pueden caer
Intensidad sísmica I_{JMA} [Shindo]				
5-	5+	6-	6+	7
				
La mayoría de las personas sienten temor y tratan de apoyarse en algo. Los platos en el armario de la cocina y los libros en los estantes pueden caer.	La mayoría de las personas encuentran dificultad para moverse. Algunos muebles no fijados pueden caer	Es difícil mantenerse en pie. En muchos casos es imposible abrir la puerta. Los azulejos en paredes y vidrios de ventanas pueden quebrarse y caerse	Imposible mantenerse en pie y moverse a voluntad debido a la sacudida. Casi todos los muebles no fijados se desplazan y algunos caen	Casi todos los muebles no fijados se desplazan y caen, y también algunos pueden ser lanzados por el aire debido al movimiento

Fuente: adaptada de JMA y USGS (2022)

Para calcular la intensidad JMA , I_{JMA} , se aplica la transformada de Fourier para las tres componentes de aceleración del registro (Jorquera, 2014). Luego, se aplica un filtro pasa-banda en el dominio de las frecuencias. Este filtro está determinado por (Karim y Yamazaki, 2001):

$$F(f) = F_1(f) F_2(f) F_3(f) \quad (4.5)$$

donde

$$F_1(f) = \sqrt{1/f} \quad (4.6)$$

$$F_2(f) = \frac{1}{\sqrt{1+0.649x^2+0.241x^2+0.0557x^6+0.009664x^8+0.00134x^{10}+0.000155x^{12}}} \quad (4.7)$$

$$x = \sqrt{\frac{f}{f_c}} \quad (4.8)$$

$$F_3(f) = \sqrt{1 - e^{-\left(\frac{f}{f_c}\right)}} \quad (4.9)$$

$F_2(f)$ el filtro pasa-bajo; $F_3(f)$, el filtro pasa-alto; f , la frecuencia en Hz; f_c , la frecuencia pasa-bajo; y f_0 , la frecuencia pasa-alto. Finalmente, la intensidad sísmica JMA está dada por (Jorquera, 2014):

$$I_{JMA} = 2 \log_{10} (a_0) + 0.94 \quad (4.10)$$

a_0 es una aceleración característica resultante de sumar vectorialmente los tres componentes de aceleración. Dicha aceleración característica debe cumplir que $\tau(a_0) \geq 0.3$ s, donde $\tau(a)$ es el total de tiempo, el cual excede la aceleración a .

Con base en las definiciones anteriores, los parámetros sísmicos calculados para las 3 componentes de los registros sísmicos en las 3 estaciones de interés se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. *Parámetros sísmicos para el evento del 19 de septiembre de 2022 en Michoacán*

Parámetro E-O	Estación Maruata			Estación Tancítaro			Estación Morelia		
	N-S	z	E-O	N-S	z	E-O	N-S	z	
[cm/s ²]	719.27	1094.80	678.95	108.30	121.55	58.08	8.73	7.55	5.10
PGA [g]	0.7332	1.1160	0.6921	0.1104	0.1239	0.0592	0.0089	0.0077	0.0052
[%g]	73.32	111.60	69.21	11.04	12.40	5.92	0.89	0.77	0.52
I_A [cm/s]	509.83	652.62	172.04	59.55	51.34	12.47	0.5552	0.4472	0.3038
I_H [cm]	53.23	83.62	35.84	25.67	26.91	15.21	4.90	3.54	2.77
I_{JMA} [Shindo]	4.87	4.87	4.87	3.87	3.87	3.87	2.09	2.09	2.09
v_0 [1/s]	14.52	14.28	16.93	6.72	7.36	7.68	21.54	20.70	21.88
CAV [cm/s]	2421.47	2657.48	1282.12	959.26	876.12	328.95	0	0	0
PD [cm s]	2.42	3.20	0.60	1.32	0.95	0.21	0.0012	0.0010	0.0006

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 4.4 se puede ver que la aceleración máxima que se presentó durante el sismo del 19 de septiembre en la estación de Maruata es de 1094.80 cm/s² en componente N-S, en Tancítaro de 121.55 cm/s² y en Morelia de 8.73 cm/s².

Con base en la escala de intensidad sísmica I_{JMA} , el sismo en Morelia probablemente fue percibido por la población ($I_{JMA} = 2$ Shindo) pero sin generar problemas estructurales; caso contrario para las comunidades de Maruata y Tancítaro donde el valor de I_{JMA} varía aproximadamente entre 4 y 5 shindo. Lo anterior también se corrobora revisando la intensidad de Arias (IA) y potencial de daño (PD) en las tres estaciones, donde claramente dichos valores en Maruata y Tancítaro resultaron ser cientos de veces mayores que los de Morelia.

En Miranda *et al.* (2022) se reporta que la aceleración máxima del terreno, PGA, registrada en la estación COMA, localizada en la comunidad de Comala, Colima, fue de 207 cm/s², lo cual no es representativo para el estado de Michoacán en las zonas cercanas al sitio donde fue el epicentro.

En la tabla 4.5 se muestran los parámetros que determinan la Intensidad sísmica en un sitio después de evento sísmico (Giles, 2016).

Tabla 4.5. *Escala de Intensidad de Mercalli*

Movimiento	No percibido	Débil	Ligero	Moderado	Fuerte	Muy fuerte	Severo	Violento	Extremo
Daño	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Muy ligero	Ligero	Moderado	Moderado/severo	Severo	Muy severo
PGA (%g)	< 0.0464	0.297	2.76	6.2	11.50	21.50	40.10	74.7	> 139
PGV (cm/s)	< 0.0215	0.135	1.41	4.65	9.64	20.0	41.4	85.8	> 178
Intensidad									

Fuente: adaptada de Giles (2016).

Relacionando los valores de las aceleraciones PGA (%g) registrados en la tabla 4.4, para cada estación estudiada, con los valores de la tabla 4.5, se puede determinar la intensidad sísmica en las comunidades en las que se ubican las estaciones sísmicas estudiadas.

Tabla 4.6. *Parámetros asociados a la intensidad sísmica para las estaciones sísmicas estudiadas.*

Parámetro	Estación Maruata			Estación Tancitaro			Estación Morelia		
	E-O	N-S	z	E-O	N-S	z	E-O	N-S	z
PGA [%g]	73.32	111.60	69.21	11.04	12.40	5.92	0.89	0.77	0.52
Movimiento	Violento	Violento	Violento	Fuerte	Fuerte	Moderado	Ligero	Ligero	Débil
Daño	Grave	Grave	Grave	Ligero	Ligero	Muy Ligero	Sin daño	Sin daño	Sin daño
Intensidad	IX	IX	IX	VI	VI	V	III-IV	III-IV	I-II
CAV [cm/s]	2421.47	2657.48	1282.12	959.26	876.12	328.95	0	0	0

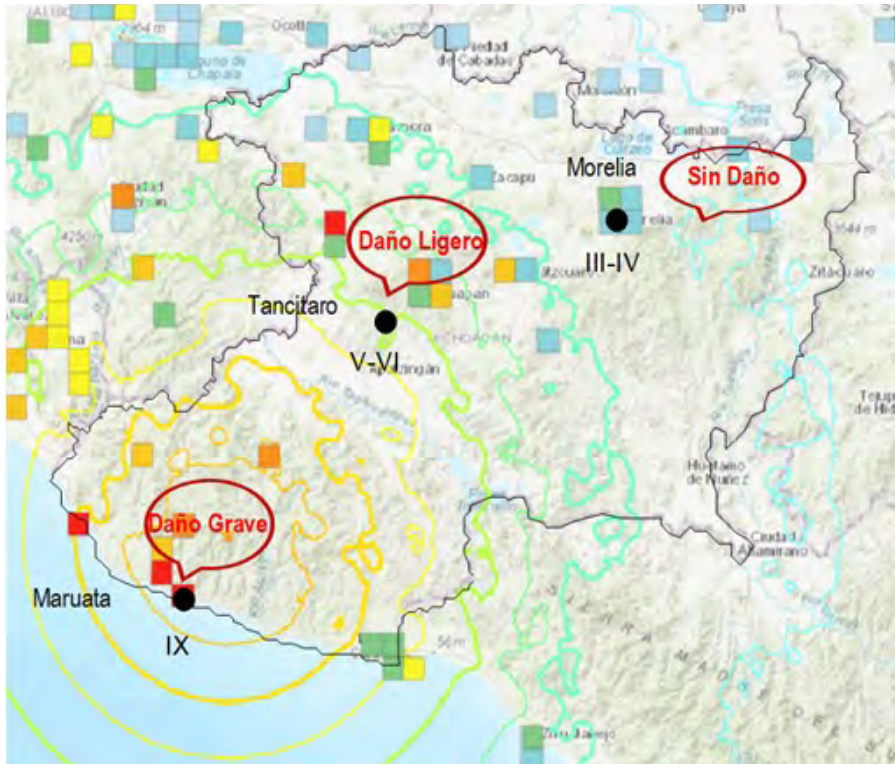
Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4.5 se muestra que en la estación Maruata se presentó una Intensidad de IX, a la que le corresponde daño grave de las estructuras ubicadas en el sitio. En la estación Tancitaro, la Intensidad fue de V-VI, y en la estación Morelia de III-IV, que le corresponde un estado sin daño estructural. Lo anterior es congruente con los daños encontrados durante la evaluación estructural en dichos sitios.

En la figura 4.13 se muestra en forma esquemática la ubicación de las estaciones sísmicas Maruata, Tancitaro y Morelia, en donde también se indica la Intensidad sísmica y el daño asociado a ella. Si se comparan los datos

de la figura 4.12 con los datos de la figura 4.4 adaptada de USGS, se concluye que hay congruencia con los valores obtenidos

Figura 4.13. *Intensidad sísmica en de las estaciones Maruata, Tancitaro y Morelia y el daño asociado a ella*



Fuente: elaboración propia.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Universidad de Monterrey por el apoyo proporcionado y de forma especial a todos los investigadores del Servicio Sismológico Nacional (SSN), en particular al Dr. Víctor Hugo Espíndola Castro, jefe de Análisis e Interpretación de Datos Sísmicos, quienes amablemente proporcionaron la información necesaria para la realización de este trabajo.

Referencias

- Agencia Meteorológica de Japón (JMA). (s/f). *Información de terremoto: Explicación sobre intensidad sísmica*. JMA. https://www.data.jma.go.jp/multi/quake/quake_advisory.html?lang=es
- Araya, R. y Saragoni, G. (1984). Earthquake accelerogram destructiveness potential factor. En *Proceedings of the 8th World Conference of Earthquake Engineering* (pp. 835–842). EERI.
- Arias, A. (1970). A measure of earthquake intensity. En R. Hansen (Ed.), *Seismic design for nuclear power plant* (pp. 438–483). MIT.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2015). *Manual de diseño de obras civiles: Diseño por sismo (MDOC)*. CFE / Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Electric Power Research Institute (EPRI). (1991). *Standardization of the cumulative absolute velocity (TR-100082)*. EPRI.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2017). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. FEMA.
- Giles, D. (2016). Intensity scales. En P. T. Bobrowsky (Ed.), *Encyclopedia of natural hazards* (pp. 544–552) (Encyclopedia of Earth Sciences Series). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4_198
- Housner, G. (1952). *Intensity of ground motions during strong earthquakes*. California Institute of Technology, Earthquake Research Laboratory.
- Jorquera, R. (2014). *Catálogo de terremotos subductivos chilenos para la generación de curvas de fragilidad* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil.
- Karim, K. y Yamazaki, F. (2001). Correlation of JMA instrumental seismic intensity with strong motion parameters. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 1191–1212.
- Miranda, E., Abucar, V., Alcocer, S., Aldea, S., ... y Velasco, L. (2022). *Aguila, Michoacán, Mexico September 19, 2022, Mw 7.6 Earthquake: Preliminary virtual reconnaissance report*. Design Safe. <https://doi.org/10.17603/ds2-sbcj-nx44>
- Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). (2022, 19 de septiembre). *M 7.6 - 35 km SSW of Aguililla, Mexico*. USGS. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000i9bw/executive>
- Servicio Sismológico Nacional (SSN). (2022). *Sismo del 19 de septiembre de 2022, Michoacán (M 7.7)* (Reporte especial). SSN. http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2022/SSNMX_rep_esp_20220919_Michoacan_M74.pdf

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 Efen 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

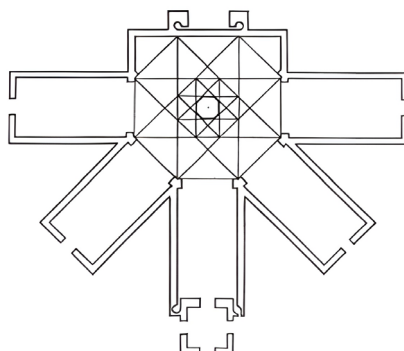


Fuente: elaboración propia.

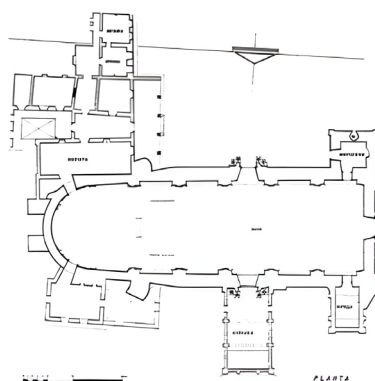
El proyecto original constaba de cinco naves orientadas hacia el altar mayor (figura 5.2a). Solo se construyó la nave central cuya planta se muestra en la figura 5.2b (Torres, 2017).

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



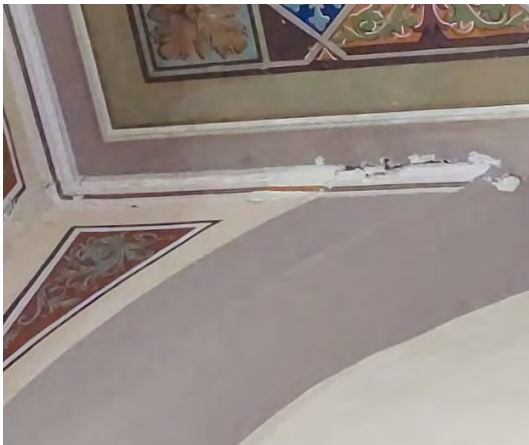
a) Fachada



b) Segundo nivel y frontón
y arranque del campanario

Fuente: elaboración propia.

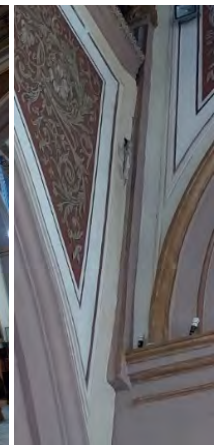
Figura 5.6. Daños en el interior de la *Básilica de Nuestra Señora de la Salud*



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

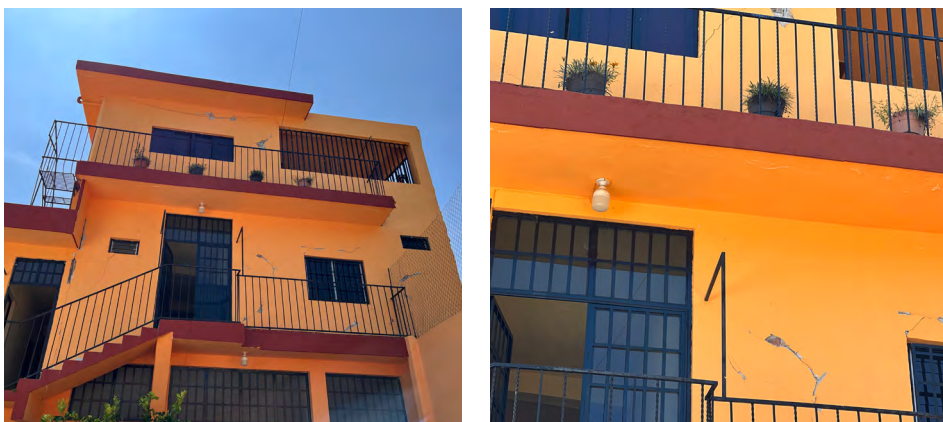


Fuente: elaboración propia.

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 travesaños 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

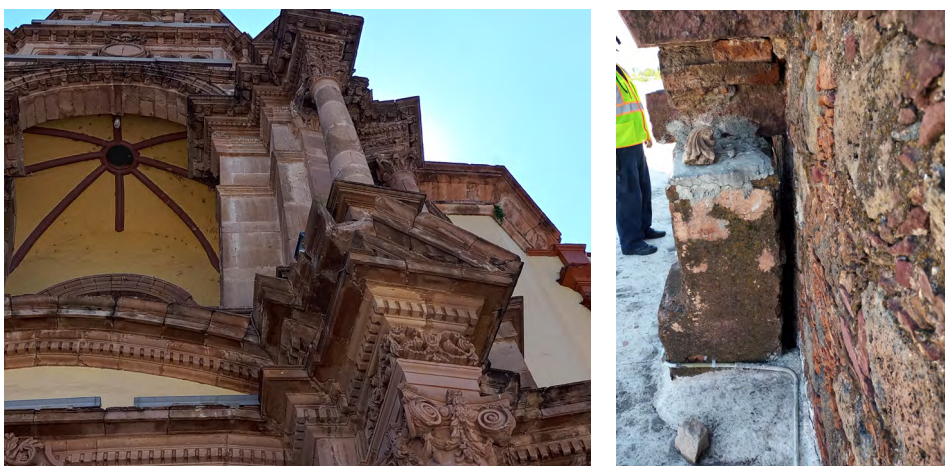
El templo La Purísima se encuentra ubicado en la esquina que forman las calles de Cristóbal Colón poniente con Madero sur, en el centro de la Ciudad de Zamora. Sus antecedentes se remontan a mediados del siglo XIX. Se comenta que ante la grave epidemia de cólera morbus que se desató en la ciudad entre 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.

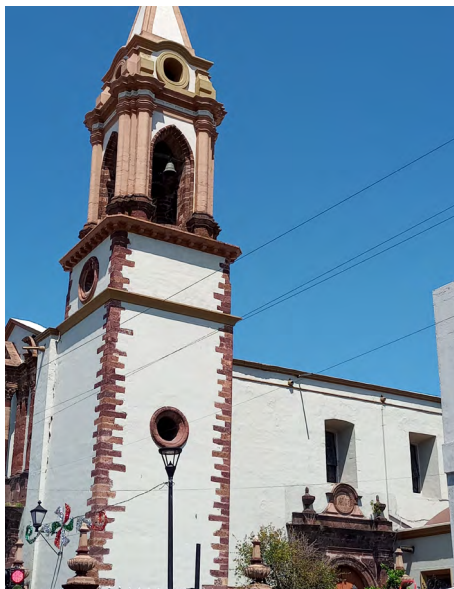
Los daños que se presentaron después del sismo del 19 de septiembre de 2022 indican que, aun cuando la torre del campanario se consideró como una estructura independiente a la nave, la junta constructiva no fue realizada adecuadamente, en el nivel de la cubierta y en el arranque del primer cuerpo, en 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).

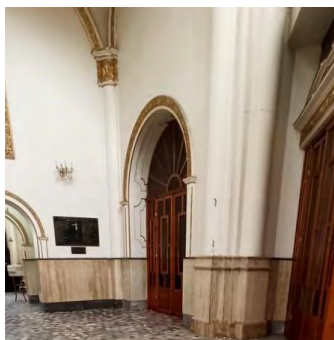
Figura 5.23. Daños estructurales en el santuario del Señor de los Milagros



a) Bóveda del Santuario



b) Arranque de columnas

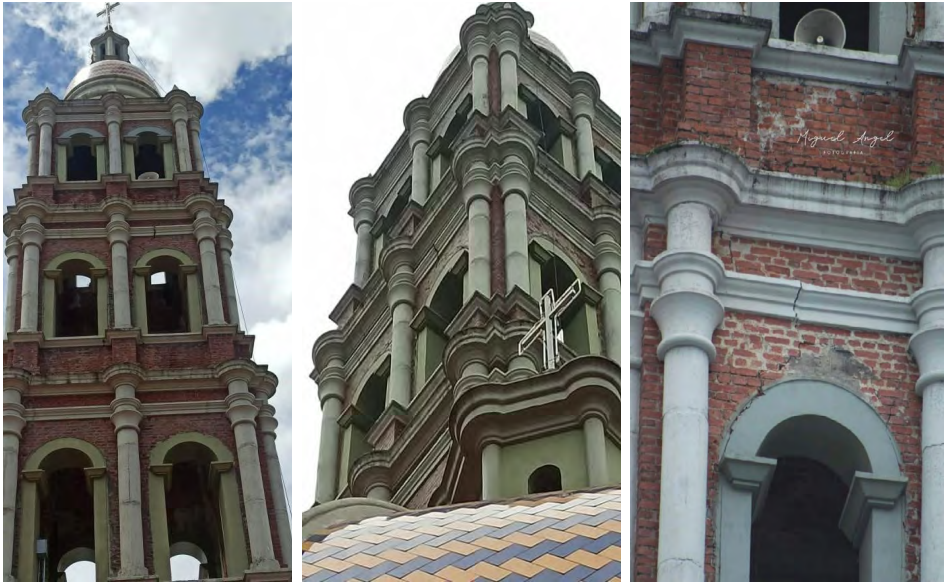


c) Intersección de muros

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

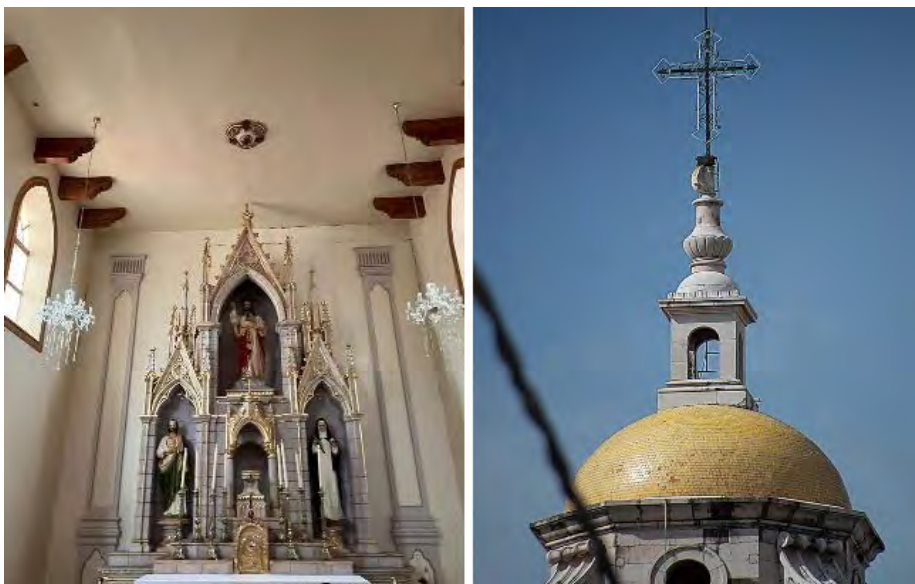


Fuente: elaboración propia.

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>

6. Daños en las viviendas a causa del sismo de septiembre 19 de 2022

MANUEL JARA DÍAZ*

HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS**

JUAN GERARDO ALCÁNTAR SÁNCHEZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.266.06>

Resumen

En este capítulo se analizan los daños en las viviendas de los municipios de Coahuayana, Aquila y Coalcomán, en el estado de Michoacán, después del sismo del 19 de septiembre de 2022. Los municipios se localizan próximos al epicentro y representan el nivel de daño y condiciones de las estructuras en la región. El trabajo se basa en la inspección física de las viviendas, realizada unos días después del terremoto y se enfoca en la descripción de la tipología estructural y los daños experimentados con mayor frecuencia en la región. En la parte final se presentan recomendaciones generales para la construcción de viviendas nuevas y posibles técnicas de rehabilitación para las estructuras existentes.

Palabras clave: *viviendas en Michoacán, daños sísmicos, estructuras tipo, sismo 19 septiembre 2022*

* 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> ; correo: manuel.jara.diaz@umich.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/0000-0001-8515-5965>

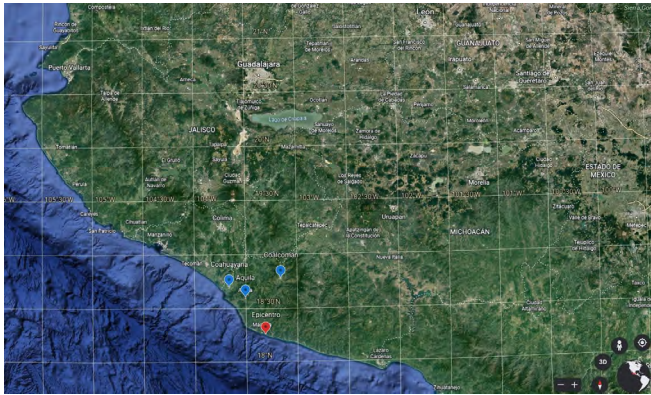
*** Maestro en Ingeniería (Estructura). Docente de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9349-5684>

Introducción

El día 19 de septiembre del año 2022 ocurrió un evento sísmico en las costas del Pacífico michoacano; el Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2022) reportó que el sismo tuvo una magnitud de 7.7 Mw, con epicentro en las coordenadas 18.24 latitud Norte y -103.29 longitud Oeste, muy cercano a los municipios de Aquila y Coalcomán. Las mayores intensidades se presentaron en los estados de Colima y Michoacán, en donde se estimaron aceleraciones entre 130 y 150 cm/s^2 .

Un equipo conformado por profesores y estudiantes de posgrado y de licenciatura de la Facultad de Ingeniería Civil, realizaron una visita a los municipios más afectados. Se realizó una inspección a las viviendas dañadas, particularmente en los municipios de Aquila, Coahuayana y Coalcomán, en el estado de Michoacán. Las capitales de los municipios se encuentran a una distancia aproximadamente, de 42 y 65 km del epicentro, como se observa en la figura 6.1.

Figura 6.1. Localización del epicentro y de los municipios donde se inspeccionaron las viviendas



Fuente: elaboración propia.

Los principales objetivos de la inspección fueron: evaluar los daños provocados por el sismo, identificar las principales tipologías estructurales de las viviendas que se construyen en la región, y evaluar la respuesta de las estructuras ante un temblor con epicentro cercano.

Daños en estructuras típicas de viviendas

De acuerdo con información del INEGI (2017), en el municipio de Aquila, en 2015 existían 5 766 viviendas, ocupadas por 24 864 personas. El mismo establece que el material del piso de las viviendas es de cemento o firme en 58% de los casos y casi 38% es de tierra. En el 51% de los casos las paredes son de madera o adobe y cerca de 44% de piedra, tabique o concreto. El techo del 41% de las viviendas consiste en lámina metálica, asbesto, fibrocemento, madera o paja; de teja o terrado con viguería en el 38% de los casos; y el 16% es losa de concreto o viguetas con bovedilla.

La mayor parte de las viviendas en el área visitada forman parte del sector de la autoconstrucción o construcción informal, en la que no se cuenta con un ingeniero o arquitecto como encargado; a pesar de ello, se puede considerar que el número de colapsos es reducido si se toma en cuenta el conjunto de viviendas en la región, en la que predominaron el colapso de techos y de muros simples sin confinar. En la figura 6.2 se muestran casos de colapso total, colapso parcial y caída de techos observados durante la inspección. En general, los daños en las viviendas con muros de mampostería confinados o de concreto fueron moderados o ligeros.

Figura 6.2. Colapso total, parcial y caída de techo de tejas sobre elementos de madera



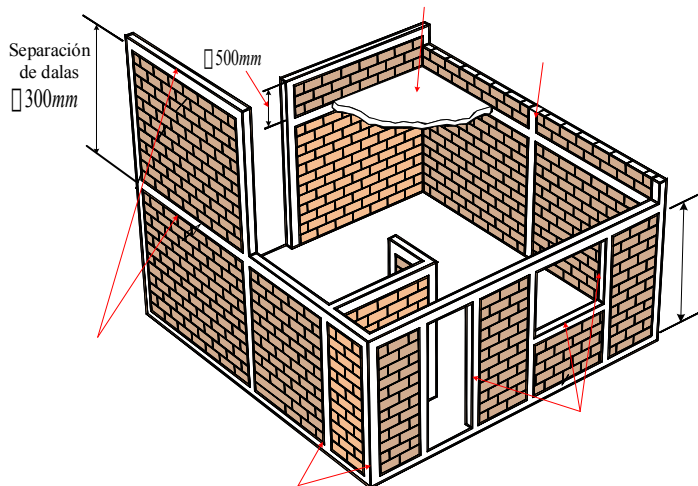


Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

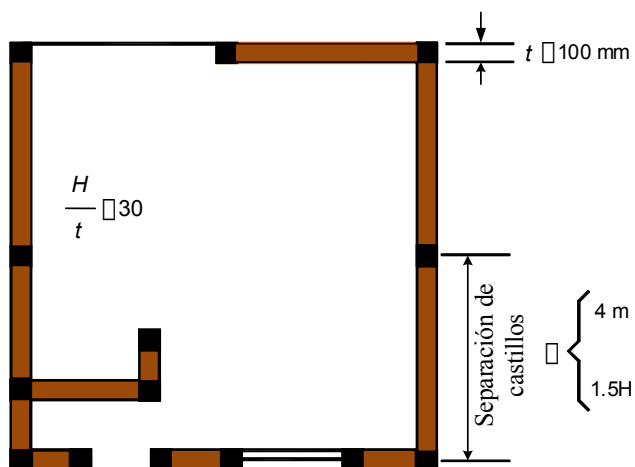
Muros de mampostería simple sin confinamiento

La mayoría de las viviendas visitadas, que tenían muros de mampostería simple contruidos con tabique o tabicón, no contaban con elementos de confinamiento con las características que se exigen en los reglamentos de las zonas sísmicas del país. Es importante recordar que la falta de confinamiento de los muros reduce de manera importante su capacidad para resistir fuerzas laterales. El confinamiento debe proporcionarse en los extremos, en la intersección de muros perpendiculares entre sí y en los extremos de aberturas como las que se dejan para puertas y ventanas. Los castillos deben colarse una vez que el muro esté terminado. Las características que deben cumplir los elementos de confinamiento (dadas y castillos), según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, vigentes en la Ciudad de México (NTC, 2017), se muestran en la figura 6.3.

Figura 6.3. Confinamiento de muros de mampostería



a) Detalles en elevación



b) Planta, castillos en extremos de muros e intersecciones

Fuente: recuperada de NTC (2017).

Las NTC (2017) indican que los bordes verticales de los muros deben dentarse o colocarse conectores entre muro y castillo, condiciones que no se observaron en las viviendas de la región. La ausencia de castillos en la intersección de muros perpendiculares, conduce a fallas como las que observaron en las viviendas (figura 6.4).

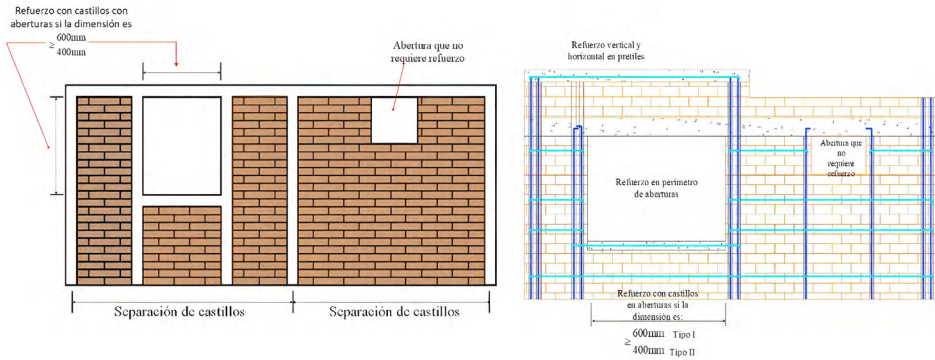
Figura 6.4 .Fallas típicas en muros de mampostería sin castillos en la intersección de muros perpendiculares



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

La figura 6.5 indica la forma recomendada para reforzar el perímetro de las aberturas que se dejan para colocar puertas y ventanas (NTC, 2017).

Figura 6.5. Refuerzo en los bordes de puertas y ventanas



Fuente: recuperada de NTC (2017).

Se observa que en la figura 6.6, se presentan daños típicos, originados por la ausencia de castillos en el perímetro de las ventanas. En la figura 6.7 se observa una dala en la parte superior del muro, pero la falta de un castillo de refuerzo en la abertura de la puerta debilitó al muro y permitió una falla fuera de su plano.

Figura 6.6. Fallas en muros de mampostería sin castillos en aberturas de puertas o ventanas



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Figura 6.7. Colapso de muros por falta de confinamiento lateral



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Habían fallas debidas al apoyo directo de las vigas que dan soporte a los techos sobre el muro, cuya reacción conduce a una concentración de esfuerzos que da origen a fallas en el muro (figura 6.8).

Figura 6.8. Concentraciones de esfuerzo sobre el muro en la zona de apoyo de la viga que soporta el techo



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Muros de mampostería enmarcados por elementos de madera

El uso de marcos de madera que dan soporte a los tejados es común en los municipios de Aquila, Coacomán y Coahuayana. Los muros de mampostería quedan enmarcados dentro de los marcos de madera, sin embargo, debido a la falta de adherencia entre ambos materiales, no se puede esperar que los polines actúen como castillos que confinan a los muros, aunado a la falta de una zona de contacto adecuada entre el muro y el poste o dala de madera, así como a la falta de una cimentación apropiada de los elementos verticales (postes o polines). En la figura 6.9 se muestran algunas viviendas con este tipo de estructuración.

Figura 6.9. Estructuración típica de la región, con muros de mampostería dentro de un marco de elementos de madera

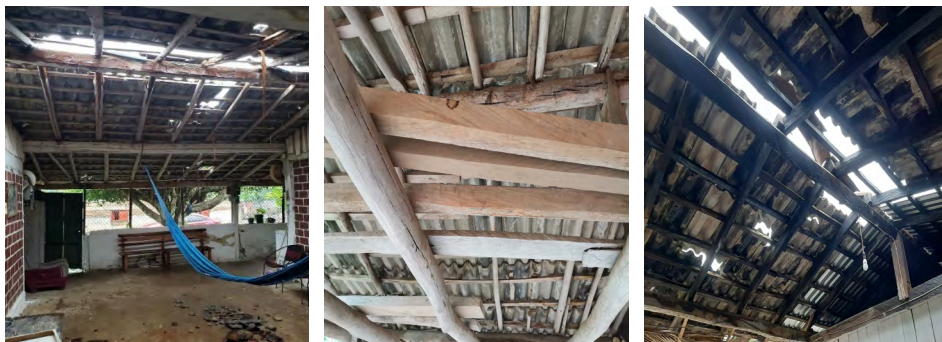


Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Casi todos los muros enmarcados en elementos de madera, presentan fallas fuera de su plano y otros tipos de falla comunes. Sin embargo, en algunos casos, los muros de mampostería, a pesar de no estar confinados y no tener una liga apropiada con los elementos de madera, si llegan a contribuir con cierta resistencia y rigidez al interactuar con la madera durante los desplazamientos laterales que produce el sismo.

La viga de madera en la cumbrera se apoya sobre un elemento vertical de madera que ofrece poca estabilidad lateral al conjunto de la techumbre, esto se observa en la mayoría de las viviendas. Sin embargo, falla como se puede observar en la figura 6.10.

Figura 6.10. Soporte de la techumbre mediante un elemento de madera vertical



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Muros de adobe sin confinar

El adobe es un material común para la construcción de viviendas en los municipios que forman parte de la Sierra-Costa de Michoacán; en la figura 6.11, se muestran viviendas con muros de adobe en los que se aprecia la falta de confinamiento y algunos daños típicos. Es necesario que las normas de diseño mexicanas incluyan recomendaciones referentes al diseño y construcción de estructuras de adobe en zonas sísmicas, ya que actualmente no están incluidas y en muchas poblaciones de la costa del Pacífico mexicano existe una gran cantidad de viviendas construidas con este material, en la literatura hay algunas referencias que pueden ser adaptadas para tal caso como Blondet *et al.* (2005), De Sensi (2003), IAEE (1987), MTC (2000) y CYTED (1995).

Figura 6.11. Muros de adobe sin confinamiento y daños típicos



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Paredes de bajareque

Este tipo de autoconstrucción artesanal se observa con frecuencia en poblaciones rurales y también es característico en países centroamericanos y sudamericanos. Consiste de la unión de un entramado de madera revestido de barro, generalmente por ambas caras. El entramado de madera puede ser una celosía de carrizo o cañas. A diferencia de algunos países latinoamericanos (AIS, 2010), en México no contamos con una reglamentación para el uso de este sistema estructural, a pesar de tener algunas ventajas en regiones de escasos recursos, como la economía, la disponibilidad de recursos, las ventajas térmicas y características sustentables de este sistema.

En la figura 6.12 se muestran viviendas con paredes de bajareque, en donde se observa también que las paredes cumplen con una función no estructural, debido a que es el marco de madera el encargado de soportar las cargas verticales; sin embargo, en caso de sismo, los desplazamientos laterales de la estructura de madera provocan la interacción entre los marcos de madera y las paredes de bajareque, con lo cual el sistema incrementa su rigidez y resistencia, en una magnitud que no se puede cuantificar por la falta de estudios al respecto. Por tal motivo, algunos de estos muros quedaron con desplazamientos laterales permanentes, acompañando a los polines de madera en su desplazamiento (figura 6.13). La ligereza del sistema estructural genera fuerzas de inercia bajas que contribuyeron a que los daños en este tipo de sistemas no fueran extendidos.

Figura 6.12. Marco de madera que da soporte a un techo de lámina con elementos de madera y paredes de bajareque



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Figura 6.13. *Desplazamiento lateral de las paredes de madera*



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Paredes formadas con elementos de madera

También existen viviendas construidas con madera sin revestir con ningún otro material. En la figura 6.14a se muestra una estructura con techo de lámina y paredes de carrizo sin ningún revestimiento. La holgura entre el

polín de madera y la pared evitó la interacción de la pared con el marco de madera, la cual no experimentó ningún daño. En la figura 6.14b se muestra un entramado de madera, que se observa con frecuencia en la vivienda de las zonas más alejadas de las cabeceras municipales, los daños en este tipo de estructuras no fueron comunes. La figura 6.14c es otra alternativa en el uso de la madera, en la que las paredes se forman con tablones de madera que sirven de apoyo a la vigería de madera que soporta un techo de teja. Quizá la poca masa del sistema, que conduce a fuerzas de inercia bajas, fue la causa de que no se observaran daños en este tipo de viviendas.

Figura 6.14. Casas habitación formadas con elementos de madera



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Pórticos con techos soportados por una vigería de madera

Existen también viviendas que cuentan con un pórtico en la fachada frontal, cuya estructura consiste en un techo de teja, lámina metálica o asbesto, soportado por vigas de madera. Uno de los extremos del techo se apoya en los muros de carga de la fachada de la vivienda y el otro extremo se apoya en una estructura de madera o concreto. En la figura 6.15 se muestran las tipologías estructurales de los pórticos más comunes. Algunos de los techos de los pórticos se derrumbaron durante el movimiento sísmico a causa de una deficiente conexión entre el techo y el sistema de soporte, o bien, por la diferencia de rigidez entre los dos extremos que dan soporte al techo.

Figura 6.15. Pórticos con techo de teja, lámina metálica o lámina de asbesto.



Los muros de la vivienda son de mampostería simple, mampostería confinada o adobe

Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Otros tipos de estructuración

La falta de recursos económicos y de apoyo técnico en la construcción de viviendas en zonas rurales conducen a estructuras como la mostrada en la figura 6.16, donde se observa una vivienda con techo de teja y paredes de tabicón sin cementante que una las piezas.

Figura 6.16. *Techo de lámina de cartón sobre un marco de madera y paredes de tabicón sin cementante*

Fuente: brigadas de inspección UMSNH.



En contraparte, también hay casas de uno o dos niveles construidas con materiales más resistentes. Este tipo de construcción es frecuente en las comunidades con mayor número de habitantes y en las cabeceras municipales. En la figura 6.17 se presenta una casa de dos niveles en la que la losa de azotea es discontinua y las partes que la constituyen no coinciden en su plano horizontal, de manera que una de ellas queda en contacto directo con uno de los muros de mampostería del segundo nivel, dando origen al agrietamiento mostrado. En la figura 6.19 de la derecha, se observa la caída de parte del techo de lámina como consecuencia de la deficiente conexión entre la techumbre y la columna de concreto que la soportaba.

Figura 6.17. *Deficiencias de estructuración que dieron origen a daños*



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

En la figura 6.18, se muestra una casa de dos niveles pero con la planta baja destruida. No es posible determinar con precisión la causa de la falla, quizá se deba a una menor densidad de muros en la planta baja, esto dejaría al primer nivel con una menor resistencia.

Figura 6.18. *Falla de los muros de la planta baja de una vivienda de dos niveles*



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Finalmente, se muestran casas de dos niveles con muros de tabicón sin un confinamiento adecuado (figura 6.19), lo que da origen a grietas típicas en muros y ventanas. En una de las viviendas se colocaron castillos en los bordes de las ventanas y se inhibió el agrietamiento en esos muros. En la figura 6.19, se puede ver al caso de un pretil en el volado del primer nivel que se derrumbó por falta de resistencia fuera del plano.

Figura 6.19. *Muros de mampostería sin confinamiento adecuado en puertas y ventanas*





Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Daños en estructuras con elementos de concreto

Es ampliamente aceptado que el componente vertical de los sismos tiene una mayor intensidad cerca de la zona epicentral (Jara, Hernández y Álvarez, 2022). En las figura 6.20 y 6.21 se observan fallas en elementos de concreto, esto se atribuye a las oscilaciones verticales. La figura 6.20 muestra la falla por compresión en dos columnas que sufrieron grietas verticales sin una rotación apreciable. Este tipo de falla se observó también en algunas escuelas y clínicas ubicadas en la zona epicentral.

Figura 6.20. *Falla por compresión en columnas de concreto*



Fuente: elaboración propia.

En la figura 6.20 se muestra una viga de concreto con una falla por flexión que se origina en una reducida relación peralte/longitud (h/L) aunado a las oscilaciones verticales que se producen por una mayor intensidad sísmica de dicha componente en la zona epicentral.

Figura 6.21. *Falla por flexión en una viga de concreto debido a una baja relación peralte/longitud*



Fuente: elaboración propia.

Otras fallas en estructuras de concreto se produjeron en los extremos superiores de las columnas y en la zona de la conexión viga-columna en estructuras tipo marco. Se atribuyen a una o varias de las siguientes deficiencias: separación excesiva de estribos, bajas cuantías de acero longitudinal, adherencia insuficiente en la región del nudo y diferencia de dimensiones entre las vigas y las columnas que impidieron la continuidad del acero longitudinal en la conexión y en el caso de fallas por compresión, a la elevada aceleración vertical (figura 6.22).

Figura 6.22. Fallas en la zona de conexión por falta de estribos, anclaje del acero, adherencia, falta de continuidad del acero longitudinal y bajas cuantías de acero



Fuente: elaboración propia.

También se observó el colapso de una vivienda debido a la presencia de una planta baja flexible (figura 6.23). El incremento de la demanda sobre las columnas de la planta baja se agravó por una conexión deficiente entre las columnas y las vigas, esto provocó el colapso de la estructura.

Figura 6.23. Colapso de una vivienda por el incremento de la fuerza cortante en la planta baja flexible, agravado por una deficiente conexión viga-columna.



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Falta de mantenimiento

Se observaron problemas asociados a la falta de mantenimiento en varias viviendas, principalmente, humedades, agrietamientos excesivos, pérdida del recubrimiento del acero de refuerzo y oxidación de las varillas. En la figura 6.24 se muestran algunos elementos con excesiva humedad, que deben ser atendidas para evitar afectaciones más serias en el futuro y que deriven en la disminución de la capacidad de los elementos afectados.

Figura 6.24. Problemas de humedad en muros



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

En la figura 6.25 se observan problemas originados en el pequeño espesor del recubrimiento de concreto, las varillas de refuerzo quedaron expuestas y con niveles de corrosión que deben corregirse.

Figura 6.25. *Espesor insuficiente del recubrimiento que deja expuesto el acero*



Fuente: elaboración propia.

Elementos no estructurales

Se observaron fallas en los muros que servían como base para los tinacos, debido a la falta de confinamiento o sujeción a la base sobre la que se apoyan, la cual actúa como apéndices estructurales durante el evento sísmico (figura 6.26). También se tuvo conocimiento del vuelco de tanques de gas, que pueden dar origen a fugas de gas y en algunos casos a explosiones e incendios. La aparición de grietas en los firmes de piso fue otra de las consecuencias que se derivaron del sismo.

Figura 6.26. *Caída de tinacos por falta de sujeción a la base de soporte y agrietamientos de los firmes de piso*



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

El problema más frecuente en elementos no estructurales fue la caída de pretilos y ornamentos fuera de su plano. Esta falla puede provocar lesiones serias sobre las personas que lleguen a ser golpeadas por los materiales, así como a la obstrucción de las salidas. En la Figura 6.27 se muestra la caída de pretilos y ornamentos, además de fallas por volteo en muros desligados que no contaban con sujeción lateral.

Figura 6.27. Caída de pretilos y ornamentos de fachada



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

En la figura 6.28 se muestran fallas de muros de mampostería en cercas perimetrales de casas habitación, debido a una incorrecta o inexistente cimentación y/o debido a la falta de elementos de confinamiento. Estos elementos, aun cuando no forman parte del sistema estructural de la vivienda, al colapsarse pueden poner en riesgo la integridad física de los habitantes.

Figura 6.28. Caída de muros perimetrales de terrenos



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

En México debido a la ocurrencia de un evento sísmico, es recurrente que se presenten fallas de muros de mampostería fuera de su plano, debido a la falta de confinamiento o de una cimentación correcta (figura 6.29).

Figura 6.29. *Falla de los muros fuera de su plano*



Fuente: brigadas de inspección UMSNH.

Recomendaciones

La falta de confinamiento en los muros de mampostería y de adobe fue la causa principal del daño en este tipo de viviendas, motivo por el cual se considera importante que se difunda entre la población la necesidad de colocar castillos y dalas en los muros, especialmente en la intersección entre muros perpendiculares, y como refuerzo de las aberturas en puertas y ventanas. Se deben colocar también castillos en la zona de apoyo de las vigas que dan soporte al techo para evitar concentraciones de esfuerzo que favorecen la aparición de grietas. Debe ponerse especial atención a una adecuada conexión entre los elementos de soporte del techo y de los muros de carga para evitar la caída de la techumbre y, a su vez, evitar el vuelco de los muros fuera de su plano. Es recomendable evitar apoyos con distintas características en los extremos de los techos, por ejemplo, marcos de madera o concreto en un extremo del techo, para evitar la caída de las techumbres debido a las distintas propiedades de los apoyos. La cimentación de los

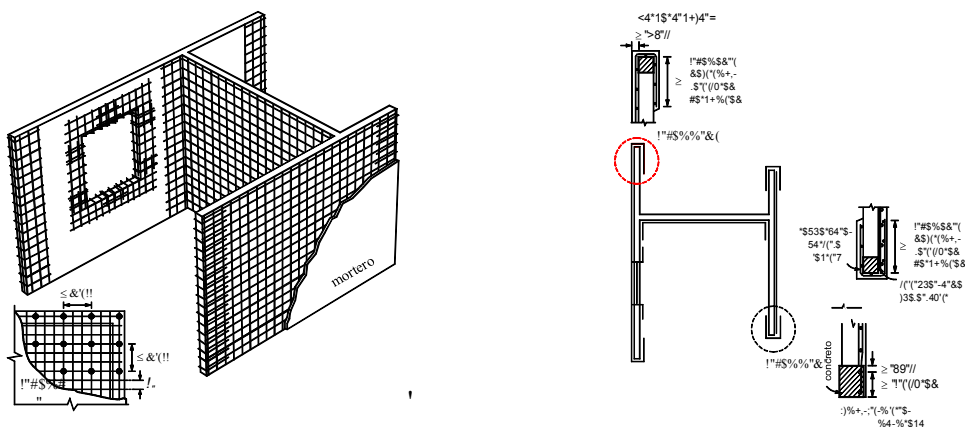
muros, castillos y polines de madera debe estar preparado para la posibilidad del volteo en caso de sismos.

En las estructuras de concreto se observaron conexiones deficientes entre las vigas y las columnas, razón por la cual también se sugiere dar difusión a la práctica correcta de estos detalles para evitar la caída de las estructuras en el futuro. Los problemas de configuración, como el caso de planta baja flexible, deben evitarse, ya que es común que se quiten muros de la planta baja o se hagan aberturas de gran dimensión con el fin de usarla como negocio o estacionamiento.

En los elementos no estructurales deben fijarse adecuadamente muros y pretilas para evitar su caída fuera del plano. Deben anclarse adecuadamente a su base tanques de agua y de gas, y verificar que no se dañen tuberías e instalaciones, para evitar fugas, explosiones e incendios. Es importante dar mantenimiento a las casas para evitar la disminución de su capacidad.

Un elevado porcentaje de las casas pueden rehabilitarse y seguir dando servicio a los inquilinos. Las técnicas de rehabilitación típicas de estructuras de mampostería y concreto se pueden aplicar a las afectadas. La reparación de grietas de 3 mm o menores, puede realizarse mediante la inyección de una lechada de mortero de cemento-arena; en caso de grietas hasta de 10 mm se puede agregar un aditivo expansor a la lechada y en grietas mayores a 5 mm también se puede recurrir a la técnica de rajueleo, que consiste en la colocación de pedazos de piezas en las grietas, las cuales deben acuñarse y pegarse con mortero. En grietas mayores pueden sustituirse las piezas dañadas o colocar castillos, mismos que pueden colocarse para dar confinamiento adecuado a los muros que no cuenten con ellos. Puede usarse malla de alambre en donde existan grietas, o para reforzar el muro al colocarla y que cubra todo. La malla (figura 6.30) debe rodear ambos bordes verticales del muro o castillos, así como los bordes de las aberturas. Si la malla se coloca de un solo lado del muro, esta debe rodear los extremos del muro y anclarse adecuadamente (NTC, 2017).

Figura 6.30. Refuerzo de muros mediante malla de alambre



Fuente: recuperada de NTC (2017).

En estructuras de concreto deben sustituirse el concreto y las varillas dañadas siguiendo las recomendaciones que se ofrecen en la literatura especializada (Iglesias *et al.*, 1987; INIFED, 2021).

Conclusiones

Con base en la información recabada durante la inspección de las viviendas en los municipios de Aquila, Coahuayana y Coalcomán, en el estado de Michoacán, se llega a las siguientes conclusiones con relación a los daños y tipología de las estructuras.

La mayor parte de las viviendas en el área visitada son del sector de la autoconstrucción o construcción informal, en la que no se cuenta con un ingeniero o arquitecto como encargado de la construcción. Las tipologías estructurales más comunes de las viviendas construidas en la región pueden agruparse en los siguientes tipos: muros de mampostería simple de tabique, tabicón o adobe, sin confinamiento, ni refuerzo con dalas y castillos en las aberturas de puertas y ventanas; es común el uso de techos ligeros de lámina metálica, asbesto, teja, cartón asfaltado y paja. En algunos casos, las vigas descansan sobre marcos de madera que transmiten las cargas verticales

directamente al terreno. En estas construcciones las paredes de mampostería quedan enmarcadas por la madera, pero no proporcionan confinamiento debido a la falta de una liga adecuada entre ambos elementos. Son comunes también estructuras con paredes de bajareque y entramados de madera sin ningún tipo de revestimiento.

Los daños principales consistieron en el agrietamiento diagonal de los muros, grietas en puertas y ventanas, derrumbe de techos y vuelco de muros fuera de su plano debido a la falta de una sujeción adecuada de los muros. En los elementos no estructurales, como pretiles y bardas no existían elementos de refuerzo para proporcionarles estabilidad lateral y fallaron fuera de su plano. La falta de anclaje de tanques y ornamentos también dio lugar a su caída.

Se identificaron problemas de mantenimiento, en especial la corrosión del acero de refuerzo, la pérdida del recubrimiento y la presencia de humedad en muros y losas de concreto.

Se recomienda difundir algunos aspectos básicos entre los responsables de la construcción de viviendas en la región, para que atiendan los problemas básicos, tales como el confinamiento de muros, refuerzo de aberturas de puertas y ventanas, anclaje adecuado de techos, muros, pretiles y otros elementos no estructurales.

Agradecimientos

Se agradece a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Facultad de Ingeniería Civil, por su apoyo en la realización y difusión de este trabajo. Asimismo, se agradece a las autoridades municipales y centros de Protección Civil de los municipios por su invaluable apoyo. Se agradece el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Michoacán, que por medio de la convocatoria PICIR, Proyectos de Investigación Científica de Impacto Regional, del 2022, proporcionó parte del apoyo para la realización de este trabajo.

Referencias

- AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). (2010). *Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente NSR-10* (título E: Casas de uno y dos pisos; título G: Estructuras de madera, estructuras de Guadua). AIS.
- Alcocer S., M. y Muriá, D. (2021). *Rehabilitación sísmica de la infraestructura física educativa de México: Guía técnica*. INIFED / Banobras.
- Blondet, M., Madueño, I., Torrealva, D., Villa, G. y Ginocchio, F. (2005). *Using industrial materials for the construction of safe adobe houses in seismic areas*. Earth Build.
- Brito, O. (2022, 23 de septiembre). Con mil 501 réplicas, sismo en Michoacán deja casas dañadas y tierra cimbrada. *Milenio*. <https://www.milenio.com/estados/sismo-19-s-michoacan-deja-casas-danadas-tierra-cimbrada>
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2015). *Manual de diseño de obras civiles (MDOC)*. CFE.
- CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo). (1995). *Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento*. Red Habitterra.
- De Sensi, B. (2003). Terra cruda, la diffusione dell'architettura di terra. En *Soil, dissemination of earth architecture*. <http://www.terracruda.com/architetturadiffusione.htm>
- IAEE (Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica). (1987). *Guidelines for earthquake-resistant non-engineered construction*. IAEE.
- Iglesias, J., Robles, F., De la Cera, J. y González, O. (1985). *Reparación de estructuras de concreto y mampostería*. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Materiales.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Michoacán de Ocampo, 2017*. INEGI / Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo.
- Jara Díaz, M., Hernández Barrios, H. y Álvarez Mosqueda, O. (2022). Efecto del componente sísmico vertical en puentes. *Revista Ingeniería Sísmica*, (108), 79–107. <https://doi.org/10.18867/ris.108.602>
- Miranda, E., Abucar, V., Alcocer, S., Aldea, S., ... y Velasco, L. (2022). *Aquila, Michoacán, Mexico September 19, 2022, Mw 7.6 Earthquake: Preliminary virtual reconnaissance report*. Design Safe. <https://doi.org/10.17603/ds2-sbcj-nx44>
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú). (s/f). *Reglamento nacional de construcciones: Norma técnica de edificación (NTE) E.080: Adobe*. MTC.
- NTC. (2017, 15 de diciembre). Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*.
- Secretaría de Cultura. (2022, 19 de septiembre). *Daños menores en el patrimonio cultural de cuatro estados, saldo preliminar del sismo del 19 de septiembre de 2022* (Comunicado). Secretaría de Cultura. <https://www.gob.mx/cultura/prensa/danos-menores-en-el-patrimonio-cultural-de-cuatro-estados-saldo-preliminar-del-sismo-del-19-de-septiembre-de-2022>
- Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (SSPC). (2022, 19 de septiembre). *Re-*

porte de afectaciones por sismo de magnitud 7.7 con epicentro en Coalcomán, Michoacán (Comunicado). SSPC. <https://www.gob.mx/sspc/prensa/reporte-de-afectaciones-por-sismo-de-magnitud-7-7-con-epicentro-en-coalcoman-michoacan>

Servicio Sismológico Nacional (SSN). (2022). *Sismo del 19 de septiembre de 2022, Michoacán (M 7.7)* (Reporte especial). SSN. http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2022/SSNMX_rep_esp_20220919_Michoacan_M74.pdf

UIS (Unidad de Instrumentación Sísmica). (2022, septiembre). *Sismo del 22 de septiembre de 2022, Coalcomán, Michoacán, México (M 6.9): Reporte preliminar: Parámetros del movimiento del terreno*. UNAM, Instituto de Ingeniería.

7. Evaluación de daños en edificios públicos

BLANCA ALICIA FLORES GONZÁLEZ*
MIGUEL ANGEL HUERAMO ESCUTIA**
CESAR MARÍN SANDOVAL***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.266.07>

Resumen

Se presentan los resultados de las evaluaciones estructurales postsísmicas, en edificios públicos administrativos empleados por las autoridades locales y municipales, que se ubican en las comunidades de la Sierra Costa de Michoacán en los municipios de Aquila y Coalcomán y que sufrieron algún daño estructural debido al sismo del 19 de septiembre de 2022. Además, se incluyen algunas estructuras ubicadas en el municipio de Pátzcuaro. Las autoridades locales consideraron prioritarias la realización de dichas evaluaciones para poder sesionar de una forma segura y tomar decisiones en cuanto al programa de Protección Civil que debiera aplicarse.

Palabras clave: *sismo septiembre 2022, daños estructurales, edificios públicos administrativos.*

* Maestra en Ingeniería. Estudiante de posgrado en Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7488-6145> ; correo: 2132181x@umich.mx

** Ingeniero civil. Estudiante de Maestría en Estructuras, posgrado en Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7780-8372>

*** Maestro en Ingeniería (Estructuras). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1737-7253>

Introducción

El día 19 de septiembre de 2022 ocurrió un evento sísmico de magnitud 7.6, con epicentro frente a las costas de Michoacán, según el reporte del Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2022). Este evento dejó una gran cantidad de estructuras con diversos tipos de daño, principalmente en las cabeceras municipales de Aquila: Coalcomán, Apatzingán, Chinicuila y Coahuayana, pero también en zonas alejadas de las cabeceras municipales. Entre las estructuras dañadas se encuentran escuelas, hospitales, casas habitación, centros de culto religioso y edificios públicos. Para garantizar la ocupación y servicio de todas ellas, fue necesario realizar una inspección en campo denominada, *inspección rápida*, la cual permitió definir el grado del daño que presentaron las estructuras y por tanto si es posible su ocupación inmediata o no.

Una vez realizada la visita a algunos de los sitios en los que se ubican dichas estructuras, se realizó un análisis estadístico de los daños más relevantes, con el fin de proponer técnicas de reparación o refuerzo estructural afines a las técnicas de construcción de la zona. La visita al sitio del desastre se realizó con el apoyo de brigadas formadas por estudiantes de licenciatura de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH, lideradas por algunos profesores y alumnos de la Maestría en Estructuras de la misma. Durante el recorrido se observó que las autoridades locales de los municipios y de las comunidades afectadas estaban preocupadas por la condición estructural de los edificios en los que se reunían para tomar acuerdos políticos urgentes en cuanto al Programa de Protección Civil, por lo que solicitaron ayuda para que dichos edificios fueran evaluados y que se estableciera el nivel de daño (si es que existió), para que dichos edificios pudieran volver a usarse urgentemente. En ese sentido, las brigadas de inspección visual acudieron a levantar un dictamen preliminar de la situación de los edificios que aquí se denominan como *edificios públicos*.

Algunas características físicas relevantes para realizar el dictamen estructural son, entre otras: el número de pisos, el sistema estructural, los

materiales de que está hecha la estructura y su ubicación. En la tabla 7.1, se resumen las estructuras evaluadas y sus características.

Tabla 7.1 Ubicación de edificios públicos evaluados y sus características.

<i>Municipio</i>	<i>Comunidad</i>	<i>Edificio</i>	<i>Sistema estructural y material</i>	<i>No. de pisos</i>
Aquila	Aquila	Ayudantía	Marcos de concreto	2
	Cachan de Santa Cruz	Encargatura	Marcos de concreto	1
	Coire	Encargatura	Muros de carga de mampostería	1
		Casa comunal	Muros de carga de mampostería	1
	Pomaro	Encargatura	Muros de carga de adobe	1
		Tenencia	Marcos de concreto	1
	Tizupan	Encargatura	Marcos de concreto	1
Coalcomán	Coalcomán	Administración de rentas	Muros de carga de mampostería	2
		Centro de rehabilitación	Muros de carga de mampostería	2
		DIF Municipal	Muros de carga de mampostería	2
		Juzgado Mixto	Muros de carga de mampostería	2
		Mercado	Losa plana	2
Pátzcuaro	Pátzcuaro	Edificio CEBA	Muros de carga de adobe	1

Fuente: elaboración propia.

Ayudantía de Aquila

En el edificio del ayuntamiento de Aquila, Michoacán, se observaron desprendimientos de elementos arquitectónicos en la fachada principal, caída de plafones y rotura de vidrios, los daños se debieron a un mal proceso constructivo y a la falta de un detallado adecuado sobre la manera de conectar los elementos no estructurales; por otro lado, no se presentaron daños en elementos estructurales que pudieran poner en riesgo la estabilidad estructural (figura 7.1).

Figura 7.1. Fachada principal y daños no estructurales en el edificio de la ayudantía de Aquila



Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.

Encargatura de Cachan de Santa Cruz

La comunidad rural de Cachan, Santa Cruz, pertenece al municipio de Aquila, en este lugar hay una construcción rural de lámina con techo apoyado en armaduras de madera, una estructura característica de la autoconstrucción, lo cual hace de este lugar altamente vulnerable a eventos sísmicos. Se presentaron caídas de algunos elementos de techumbre, así como el desplome de polines de madera y fenómeno de columna corta en elementos de concreto debido a la interacción de las mochetas de mampostería que impidieron el libre movimiento de la columna (figura 7.2).

Figura 7.2. Encargatura de Cachan de Santa Cruz



Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.

Encargatura de el Coire

La localidad el Coire se encuentra en el municipio de Aquila, tiene aproximadamente 550 habitantes. El sitio de reunión de las autoridades locales es la encargatura, en dicha estructura se presentó agrietamiento en muros, traveses y la losa de entrepiso. En muros se debió a tensión diagonal y la grieta en traveses se extendía a lo largo de la losa (figura 7.3). El nivel de daño identificable es moderado y reparable de mediana urgencia. Se solicitó a los usuarios apuntalar los elementos dañados y reparar lo antes posible.

Figura 7.3. Daños observados en la encargatura ubicada en El Coire



Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.

Casa comunal de Pomaro

Esta estructura se encuentra en la comunidad de Pomaro que se ubica en la parte norponiente de la cabecera municipal de Aquila. El edificio presentó agrietamiento y desplome en muros, como se observa en la figura 7.4, claramente se debió a una falla por cortante ya que no se cuenta con elementos que confinaran los muros. El desplome del muro se origina en la falta de sujeción con la cubierta: los muros perpendiculares y la falta de castillos que anclaran a la dala de cimentación. Se solicitó a los usuarios a no utilizar las instalaciones hasta que sean reparadas, mientras tanto debieron ser apuntaladas para evitar el colapso debido a la cantidad de réplicas del movimiento.

Figura 7.4. Daños observados en la Casa Comunal de Pomaro.



Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.

Encargatura de Pomaro

En la misma comunidad de Pomaro, se encuentra la instalación utilizada por la encargatura municipal, que es una construcción altamente vulnerable, de tipo rural y desarrollada como autoconstrucción. En la instalación se presentó desprendimiento del recubrimiento de los muros y grietas por tensión diagonal, se observa la ausencia de elementos confinantes en huecos como ventanas y puertas, además en las esquinas y cruces de muros (figura 7.5).

Figura 7.5. Daños observados en la encargatura de Pomaro



Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.

Administración de rentas de Coalcomán

Otro de los municipios con grandes afectaciones debido al sismo del 19 de septiembre, fue Coalcomán. En el edificio de administración de rentas se presentaron grietas por cortante en los muros debido a la falta de confinamiento (figura 7.6).

Figura 7.6. Daños observados en Administración de rentas de Coalcomán



Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.

Centro de rehabilitación de Coalcomán

El centro de rehabilitación de Coalcomán se ubica en la calle Benito Juárez 237, en el centro de Coalcomán. Debido al sismo, se presentaron grietas por cortante en los muros, nuevamente, causadas por la falta de confinamiento (figura 7.7).

Figura 7.7. Daños observados en Centro de Rehabilitación de Coalcomán

Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.



DIF municipal de Coalcomán

Las instalaciones del sistema nacional para el Desarrollo Integral de la Familia, DIF, se encuentra ubicado en la calle Miguel Hidalgo 102, zona centro. Como resultado de la inspección estructural, se concluyó que no se presentaron daños, únicamente se desprendieron algunos elementos no estructurales como acabados y el falso plafón, mas no en los estructurales (figura 7.8).

Figura 7.8. Daños observados en DIF municipal de Coalcomán



Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.

Juzgado mixto de Coalcomán

En la estructura de juzgado mixto que se ubica en la calle Ignacio Zaragoza 171, zona centro, se pudieron observar algunos daños menores en los muros de mampostería, como grietas por cortante en ambos sentidos, además de grietas verticales. No se pudo observar el ancho de estas en los muros, pues al visitarla ya se habían reparado los muros, como se observa en la figura 9.9. En una de las traveses se presentaron grietas por flexión que deben ser reparadas, pero para poder emplear el edificio, se sugirió que se apuntalara para evitar que el daño se incrementara (figura 7.9).

Figura 7.9. Daños observados en Juzgado Mixto de Coalcoman



Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.

Mercado municipal de Coalcomán

El mercado municipal ubicado en calle I. Zaragoza 73, zona centro, debiera ser considerado por su diseño, como una estructura del grupo A, aun cuando los códigos actuales no lo consideran así, la razón es que, en este tipo de comunidades con alto grado de marginación, los mercados municipales son el principal centro de reunión de los habitantes de la comunidad, además, pueden servir como centro de refugio después de un temblor destructivo para dar alojamiento a las personas que queden sin casa. Los daños que se presentaron después del sismo fueron, principalmente, en los elementos no estructurales, como desprendimiento de plafones y colapso de los pretilos (figura 7.10), cuya caída los convierte en proyectiles que pueden afectar a las personas que intentan desalojar apresuradamente el mercado durante el sismo.

Figura 7.10. Daños observados en el Mercado de Coalcomán



Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.

Edificio Ceba, Pátzcuaro

En la estructura denominada **CEBA**, ubicada en Portal F. J. Mina 156, zona centro, en el municipio de Pátzcuaro, los daños se presentaron en los muros de carga, debido a que la estructura es producto de la autoconstrucción. Se observan grietas por aplastamiento en el apoyo de las vigas de madera sobre el muro de mampostería (figura 7.11). Algunos muros también presentaron grietas verticales, como se aprecia en la misma figura.

Figura 7.11. *Daños observados en edificio CEBA en Pátzcuaro*



Fuente: brigadas de inspección visual, UMSNH.

Conclusiones

Se realizó una inspección para evaluar los daños ocasionados por el sismo de septiembre de 2022 en Michoacán, en los lugares que tuvieron más daños estructurales. A petición de las autoridades locales se evaluó la seguridad estructural de forma visual de algunos de los edificios públicos administrativos. En general, los daños observados no son considerados como graves, ya que no ponen en riesgo la estabilidad estructural, sin embargo, en algunas estructuras, se recomendó el apuntalamiento antes de poder ingresar al edificio, para hacer las reparaciones necesarias. En las zonas rurales, se pre-

sentó mayor daño en los muros de mampostería, debido a que muchas de ellas fueron realizadas con técnicas no ingenieriles y no existía confinamiento adecuado en los muros, ni elementos de sujeción para impedir el desplome de los muros fuera de su plano. Las fallas más comunes que se presentaron fueron grietas por cortante (tensión diagonal) en los muros. En general se considera que el daño estructural, en los edificios públicos revisados, fue mínimo y el porcentaje de edificios públicos con daños severos es casi nulo, a pesar de la considerable magnitud (7.7 Mw) y de la cercanía de las construcciones al epicentro.

Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Hugo Hernández Barrios y al Dr. Manuel Jara Díaz por permitirnos participar como líderes de algunas brigadas de evaluación estructural, así como a los estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por su gran apoyo en las evaluaciones. De igual manera, agradecemos a las autoridades de los distintos municipios por las facilidades que nos brindaron y al director de la Facultad de Ingeniería Civil, el Dr. Ramiro Silva Orozco.

Con este trabajo se contribuye con el cumplimiento de los objetivos relacionados con las actividades de retribución social indicados por CONACYT, en el programa de becas nacionales 2022, al que pertenecen los autores del capítulo.

Referencias

Servicio Sismológico Nacional (SSN). (2022). *Sismo del 19 de septiembre de 2022, Michoacán (M 7.7)* (Reporte especial). SSN. http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2022/SSNMX_rep_esp_20220919_Michoacan_M74.pdf

Sobre los autores

Hugo Hernández Barrios

Doctor en Ingeniería en el área de Estructuras, Profesor Investigador Tiempo Completo, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán. Líneas de Investigación: Diseño Eólico y Sísmico de estructuras Especiales. Actualmente, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNI), nivel 1.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8515-5965>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=9234075300>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Hugo-Hernandez-21>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.es/citations?user=K1ybYZoAAAA-J&hl=es>

ACADEMIA: <https://independent.academia.edu/HugoHernandezBarrios>

Manuel Jara Díaz

Doctor en Ingeniería. Profesor-investigador titular C de tiempo completo en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Se encuentra adscrito a la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. Líneas de investigación: procedimientos de análisis sísmico de puentes con aislamiento de base y configuración irregular, seguridad sísmica de puentes existentes, reparación de estructuras de concreto.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-5287>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.es/citations?user=G2cHO14AAAA-J&hl=es>

Juan Gerardo Alcántar Sánchez

Maestro en Ingeniería. Profesor-investigador de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9349-5684>

Carlos Arce León

Ingeniero Civil. Jefe de la Unidad de Riesgos Naturales y Antropogénicos, Unidad de Investigación Multidisciplinaria, Facultad de Estudios Superiores Acatlán, México. Se encuentra afiliado a la Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería

Sísmica: Santiago, Región Metropolitana, CL. Es coautor de los artículos Propiedades dinámicas y condiciones de servicio de puentes peatonales en México y Pruebas de vibración ambiental en un edificio durante su proceso de reforzamiento, entre otros.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9243-3505>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Arce-Leon-2>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=79e2y-5cAAAAJ&hl=es>

Blanca Alicia Flores González

Maestra en Ingeniería. Estudiante de posgrado en Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7488-6145>

Claudia Margarita García Paulin

Doctora en Gestión y Valoración Urbana. Profesora titular de asignatura, B, en la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Sus líneas de investigación son economía inmobiliaria y microeconomía. Además, ha colaborado como investigadora en la Universidad Politécnica de Cataluña. Es coautor de *Aportación metodológica para determinar el índice de calidad del medio ambiente urbano y edificado del Área Metropolitana de Barcelona*.

Correo: claudia.garcia@umich.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0641-8008>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Claudia-Paulin>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.dk/citations?user=q7Xn8IYAAAAAJ&hl=da>

Miguel Ángel Hueramo Escutia

Ingeniero civil. Estudiante de Maestría en Estructuras, posgrado en Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7780-8372>

Iván Francisco Huergo Ríos

Doctor en Ingeniería Estructural. Profesor-investigador en la Escuela de Ingeniería y Tecnologías (ESIT) de la Universidad de Monterrey (UdeM). Sus principales áreas de especialización incluyen ingeniería eólica, ingeniería sísmica, dinámica estructural, interacción suelo-estructura, pruebas de vibración ambiental y dispositivos de control pasivo de vibraciones. Actualmente, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII) con el nombramiento de Candidato.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9122-4832>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57210997993>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Ivan-Huergo>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=WtI8fCwAAAAAJ&hl=es>

PURE UDEM: <https://pure.udem.edu.mx/es/persons/iv%C3%A1n-francisco-huergo-r%C3%ADos>

Gerardo León Soto

Doctor en Física. Docente de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Coautor de los artículos “Mediciones telesísmicas de la anisotropía de ondas transversales del manto superior en el sur de México y Anisotropía del manto superior” y “La corteza continental en el sureste de México determinada a partir de mediciones de división de ondas de corte utilizando sismos locales intralosa”.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1271-0136>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55227334600>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Gerardo-Leon-Soto-2>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=b7i6ifoAAAAJ&hl=es>

Academia: <https://independent.academia.edu/GerardoLeonSoto>

Cesar Marín Sandoval

Maestro en Ingeniería en el Área de Estructuras. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1737-7253>

José Luis Moreno Torres

Ingeniero en Computación. Técnico académico asociado A, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2215-6503>

Jesús Arturo Muñiz Jauregui

Doctor en Geografía. Profesor asociado C en la Escuela Nacional de Educación Superior Juriquilla, UNAM, México. Su línea de investigación es el impacto de fenómenos naturales a la sociedad por medio de modelamientos estadísticos y análisis de información geográfica. Es coautor de los artículos “Evolución del paisaje contemporáneo: Relevancia de la gestión del uso del suelo frente a los factores ambientales que impulsan la erosión del suelo” y “Actualización y revisión de las mediciones del flujo de calor superficial conductivo continental en México: Un análisis de pozos profundos”.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8356-237X>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Muniz-Jauregui>

Mario Salazar Amaya

Doctor en Ingeniería Civil. Profesor-investigador titular A, en la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7331-4813>

Ricardo Vázquez Rosas

Doctor en Ciencias (Sismología). Profesor de asignatura de la Facultad de Arquitectura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Líneas de investigación: sismología de movimientos fuertes, sismología aplicada, exploración geofísica, riesgo y peligro sísmico. Es coautor de *Crosstremor: an automatic detection code of tremors with tectonic earthquakes as green's functions* y *Teleseismic measurements of upper mantle shear wave anisotropy in the Isthmus of Tehuantepec, Mexico*, entre otros textos de investigación.

Correo: rvazquezrunam@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6181-8768>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Rosas-5>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com.mx/citations?user=5P5ghHAAAAAJ&hl=es>

ACADEMIA: <https://independent.academia.edu/RicardoVazquez29>

El Sismo de Aquila, Michoacán:
19 de septiembre de 2022 de Hugo Hernández
Barrios y Manuel Jara Díaz (coords.), publicado por
Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., se termi-
nó de imprimir en abril de 2025 por Litográfica Ingramex, S. A. de
C. V., Centeno 162-1, Granjas Esmeralda, 09810, Ciudad de México.
El tiraje fue de 40 ejemplares impresos y en versión digital para
acceso abierto en los formatos PDF, EPUB y HTML.

La elevada actividad sísmica en la República Mexicana —en particular en la costa del Pacífico— provoca la pérdida de vidas humanas y daños a la infraestructura civil. Después de un evento sísmico, es necesario recorrer las zonas afectadas para identificar la magnitud del daño, para lo cual es indispensable evaluar las construcciones afectadas para determinar qué inmuebles pueden ser ocupados y continuar con sus actividades normales, a cuáles se debe restringir el acceso y realizar estudios para su posible rehabilitación, y cuáles otros deben ser demolidos. De igual manera, la visita a las zonas afectadas debe concentrarse en la identificación de las causas que provocaron los daños, clasificar los daños típicos y ofrecer recomendaciones para la comunidad ingenieril y sociedad en general, con el propósito de contribuir a mitigar en un futuro el impacto de los temblores en la región.

El presente libro intenta recoger la mayor parte de estos aspectos para que sirvan de memoria de las experiencias de lo ocurrido el 19 de septiembre de 2022, en la región Sierra Costa de Michoacán y otros municipios importantes del estado. Esperamos que la información contenida en este documento tenga un beneficio para la sociedad en general y para la comunidad de ingenieros civiles.

Hugo Hernández Barrios es doctor en Ingeniería Civil en el área de Estructuras por la División de Estudios de Posgrado de la UNAM, especialista en Diseño Sísmico y Eólico de Estructuras Especiales. Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH, en Morelia, Michoacán. Desde el año 2000, pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (nivel I), y es Ingeniero con Certificación de Idoneidad Profesional en Ingeniería Civil (2019-2023-2026).



Manuel Jara Díaz es doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña. Actualmente, es profesor-investigador de tiempo completo en la UMSNH y vicepresidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica por el bienio 2024-2025. Es coautor de dos libros, seis capítulos de libros y más de 80 artículos técnicos en el área de puentes y de ingeniería sísmica, tanto en revistas internacionales como nacionales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (nivel I).



Dimensions

RENIECYT
Registro Nacional de Instituciones,
y Empresas Científicas y Tecnológicas,
2000922



Google
Scholar



DOI.ORG/10.52501/CC.266



Sociedad
Mexicana
de Ingeniería
Sísmica
Instituto Michoacán



COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS

