



UNIVERSIDAD
DON VASCO, A.C.

UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 – 15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL EDIFICIO HISTÓRICO DE LA CASA DE LA CULTURA EN URUAPAN, MICHOACÁN.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Fernando Michel Cervantes Fernández.

Asesor: M.I. Luis Arturo Muñoz Galindo.

Uruapan, Michoacán, a 24 de febrero del 2020.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo representa la culminación de mis estudios de licenciatura en Ingeniería Civil. Sin embargo, para mí es algo que va más allá de lograr una meta más en mi vida; esta tesis es realizada gracias a un cúmulo de experiencias y a una trayectoria en la que soy afortunado de decir que no estuve solo.

Por lo anterior, me tomo la libertad y es para mí un orgullo agradecer: primeramente, a Dios por no dejarme desistir en ningún momento, por acompañarme siempre, por las enseñanzas y las bendiciones que me da.

A mi madre, Rosa María Fernández Arias, porque todo lo que soy es gracias a su incansable fe en mí, por todo el esfuerzo hecho para verme realizado como hijo, estudiante y como ser humano; este logro también es tuyo. Te amo, mamá.

A mis hermanos, Sandro Luis Cervantes Fernández y Vianey Lilibiana Cervantes Fernández, por todo su apoyo incondicional y el amor brindado durante toda mi vida. Jamás tendré cómo pagarles.

A mis profesores de la carrera, en especial al M.I. Luis Arturo Muñoz Galindo, a la Ing. Sandra Natalia Parra Macías y al Lic. Juan Luis Moreno, por ayudarme a realizar de la mejor forma posible este trabajo y por compartir su experiencia y conocimientos con nosotros sus alumnos.

ÍNDICE

Introducción.

Antecedentes.	1
Planteamiento del problema.	3
Objetivo.	4
Pregunta de investigación.	5
Justificación.	5
Marco de referencia.	6

Capítulo 1.- Antecedentes históricos

1.1. Ubicación.	8
1.2. Orígenes.	9
1.3. Materiales.	13
1.3.1. Mampostería.	14
1.3.1.1. Mampostería de piedras naturales.	15
1.3.1.2. Mampostería de piedras artificiales.	17
1.3.1.3. Cimentaciones de mampostería.	17
1.3.2. Adobe.	18

1.3.2.1. Selección de tierra, fabricación y secado.	22
1.3.3. Madera.	28
1.3.3.1. Entrepisos y techos de madera.	29
1.4. Daños y modificaciones.	33
1.5. Situación actual.	35

Capítulo 2.- Sismicidad en México

2.1. Sismos y sus causas.	36
2.1.1. Tectónica de placas.	37
2.1.2. Clasificación de los sismos.	40
2.2. Ondas sísmicas.	41
2.2.1. Ondas de cuerpo.	41
2.2.2. Ondas superficiales.	42
2.3. Características de la fuente sísmica.	45
2.3.1. Energía.	45
2.3.2. Magnitud.	46
2.3.3. Magnitud y energía.	48
2.3.4. Intensidad.	48

2.3.5. Duración.	50
2.4. Tipos de sismos en México.	50
2.4.1. Regionalización sísmica.	55
2.4.2. Sismos históricos en México.	57
2.4.3. Sismicidad en Uruapan, Michoacán.	60

Capítulo 3.- Vulnerabilidad sísmica en edificaciones

3.1. Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica.	69
3.1.1. Vulnerabilidad observada.	72
3.1.1.1. Método simplificado de revisión sísmica.	73
3.1.1.2. Índice de seguridad sísmica.	74
3.1.1.3. Índice de Densidad de Muros.	74
3.1.2. Vulnerabilidad Calculada: Método del Índice de Vulnerabilidad.	75
3.1.2.1. Cálculo del índice de vulnerabilidad.	76
3.1.3. Métodos empleados en México para evaluar la vulnerabilidad sísmica.	78
3.2. Métodos de análisis.	79
3.2.1. Métodos de análisis elástico lineal.	80
3.2.2. Métodos de análisis no lineal.	81

3.2.3. Análisis dinámico.	81
3.3. Comportamiento sísmico de edificaciones de adobe.	82
3.3.1. Propiedades mecánicas y geométricas de las estructuras de adobe.	84
3.3.2. Idealización estructural.	84
3.4. Método de elementos finitos.	85
3.4.1. Notación matricial.	87
3.4.2. Generalidades del uso del método del elemento finito en el análisis estructural.	87
3.5. Método simplificado para análisis sísmico de estructuras de adobe.	88

Capítulo 4.- Resumen de macro y microlocalización

4.1. Generalidades.	90
4.1.1. Objetivo.	91
4.1.2. Alcance del proyecto.	91
4.2. Resumen ejecutivo.	92
4.3. Entorno geográfico.	93
4.3.1. Macro y microlocalización.	93
4.3.2. Geología regional y de la zona de estudio.	98

4.3.3. Climatología regional y de la zona de estudio.	98
4.4. Informe fotográfico.	99
4.4.1. Estado físico actual.	99
4.5. Alternativas de solución.	102
4.5.1. Planteamiento de alternativas.	102
4.6. Proceso de análisis.	103

Capítulo 5.- Metodología

5.1. Método empleado.	104
5.1.1. Método matemático.	105
5.2. Enfoque de la investigación.	106
5.2.1. Alcance de la investigación.	106
5.3. Diseño de investigación.	107
5.4. Instrumentos de recopilación de datos.	108
5.5. Descripción del proceso de investigación.	108

Capítulo 6.- Cálculo, análisis e interpretación de resultados

6.1. Revisión de los planos arquitectónicos y estructuración.	110
---	-----

6.2. Análisis de cargas.	111
6.3. Caracterización de materiales en software.	112
6.4. Modelado de muros y techumbres en software.	114
6.5. Análisis sísmico del edificio e interpretación de datos.	118
Conclusiones.	124
Bibliografía.	128
Otras fuentes de información.	131
Anexos	

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

México, como cualquier otro país del mundo, a través del tiempo ha generado una gran historia y que al mismo tiempo le ha permitido enriquecerse culturalmente; todo ello apreciable en las tradiciones, diversidad étnica y, sobre todo, en el gran número de edificios históricos repartidos en todo el territorio mexicano; históricos no solo por la época en la que fueron construidos, sino también porque estuvieron presentes en los acontecimientos más importantes del país, siendo algunos de ellos, protagonistas de dichos sucesos.

Estas construcciones tienen una gran relevancia para la sociedad, por su ya mencionada riqueza histórica, y también porque actualmente la economía de algunas ciudades y pueblos de la nación, dependen directamente del turismo generado por estas estructuras que son visitadas y recorridas. Por ello, la importancia de mantener en buen estado estético, y principalmente las condiciones estructurales de estas edificaciones deben tener grados de seguridad y cuidados más allá de la normatividad regional.

Cuantificar la vulnerabilidad sísmica de cualquier estructura, permite conocer la cantidad de daño en el mismo ocasionados por sismos pasados, así como determinar las circunstancias en las que la construcción puede fallar y cómo va a fallar ante la posibilidad de nuevos movimientos telúricos. México es un país con un alto nivel de sismicidad, y esta es la principal razón en el deterioro del patrimonio histórico inmueble.

Realizando una búsqueda de investigaciones similares en la biblioteca de la Universidad Don Vasco, se pudo encontrar la siguiente información: una tesis referente al tema que tiene por título “Análisis sísmico histórico del edificio de La Huatápera” del año 2001 por Laura Eugenia Sandoval Ledesma y cuyo objetivo era elaborar un análisis sísmico de la estructura del edificio de La Huatápera, considerando eventos pasados para estimar los daños en la edificación ante sismos futuros. Cabe mencionar que dicho objetivo fue logrado al obtener el tipo de sismos ante los que el edificio en cuestión es más vulnerable.

También se encontró otra tesis de título “Vulnerabilidad sísmica de edificio de once niveles y propuesta de reforzamiento para la superestructura, en la cd. de Uruapan, Mich.” del año 2004, realizada por Lizeth Vergara Farías que tuvo como objetivo principal realizar una propuesta de reforzamiento para el edificio en cuestión; este se logró y al final del proyecto se hace dicha propuesta para disminuir la vulnerabilidad sísmica del mismo.

El último texto de investigación que se encontró con características afines a este trabajo, fue en la biblioteca digital de la Universidad Nacional Autónoma de México y lleva por título “Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del municipio de Naucalpan de Juárez” del año 2013, realizada por Arturo Castañeda Vargas; teniendo como objetivo principal valorar el nivel de vulnerabilidad que pueden tener diferentes edificaciones del municipio de Naucalpan de Juárez, ante diferentes escenarios sísmicos. El objetivo fue logrado al brindar una vista general de lo que es la vulnerabilidad sísmica en una comunidad, analizando construcciones comunes y de abundancia.

Planteamiento del problema.

Anteriormente se mencionó la importancia cultural y social que tienen los edificios históricos. Sin embargo, ahora se hace hincapié en la complejidad que puede significar realizar un análisis de cualquier índole estructural en este tipo de construcciones. Principalmente, por las magnitudes en los elementos que conforman la estructura (suelen ser construcciones robustas), por la geometría de las mismas; y por los materiales con los que fueron contruidos originalmente.

De esta manera es necesario que se comprenda de forma completa el comportamiento estructural de la edificación. Por esta razón, es necesario que el ingeniero encargado de realizar el análisis o estudio de una construcción histórica conozca los métodos que fueron usados para edificarla, así como también las características y el comportamiento de los materiales que fueron usados en su proceso constructivo; contando también con el criterio adecuado para determinar la seguridad actual y futura del inmueble, así como su uso y el resguardo de la integridad de las personas que disponen de él.

Aunque actualmente existen teorías que permiten el análisis de este tipo de estructuras, son un desafío y mantienen un grado de complejidad numérica y matemática. Esto debido a que los materiales utilizados en las construcciones de mampostería y adobe cuentan con una alta resistencia a esfuerzos de compresión, pero prácticamente no resisten esfuerzos de tensión; dificultando una reproducción fiel del comportamiento real de la estructura. Por todo lo anterior es válido preguntar: de acuerdo con un modelado computacional y matemático, ¿es seguro el estado y la estructura actual del edificio de la Casa de la Cultura, ante posibles sismos?

Objetivo.

Objetivo general:

Evaluar la vulnerabilidad sísmica del edificio histórico de la Casa de la Cultura, ubicado en Uruapan, Michoacán.

Objetivos específicos:

1. Establecer de forma cronológica las condiciones pasadas y actuales de la estructura, para identificar los posibles daños y modificaciones a la edificación original.
2. Caracterizar materiales de la estructura, así como su geometría y propiedades mecánicas, a partir de la información recopilada (investigación teórica y de campo).
3. Definir los principales conceptos de sismicidad.
4. Establecer el contexto sísmico a nivel nacional, estatal y municipal.
5. Definir lo que representa el riesgo sísmico.
6. Explicar los métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica en edificaciones históricas.
7. Establecer las bases del método del elemento finito.
8. Modelar la estructura con un software apropiado para su análisis numérico.
9. Evaluar la situación sísmica más desfavorable a la que podría enfrentarse la estructura.
10. Analizar los resultados obtenidos mediante el modelado y su interpretación numérica.

11. Establecer las conclusiones de la investigación.

Pregunta de investigación.

El objeto de estudio es una construcción que data del siglo XVI, y se sabe que los sismos pueden ser una de las causas que generan más daños a estas estructuras históricas. Teniendo en cuenta que México es un país con alta sismicidad es necesario preguntarse, ¿cuál es la vulnerabilidad sísmica del edificio de la Casa de la Cultura?, ¿qué daños tiene actualmente la estructura? y también, ¿qué comportamiento se espera que tenga la estructura ante un nuevo movimiento telúrico? y una vez obtenidos los resultados determinar: ¿es segura o está comprometida la estabilidad de la construcción?

Justificación.

Ya se mencionó anteriormente la importancia histórica y cultural que tienen este tipo de edificaciones para la sociedad que está involucrada de manera directa o de forma indirecta con ellas, pero también se debe hacer hincapié en la trascendencia de la investigación, así como el análisis y estudio de las mismas (algunas de ellas funcionales, algunas no) porque nos permiten anticiparnos a situaciones en las que se vea comprometida la estabilidad de las construcciones. Aunque en los últimos años se le ha dado mayor importancia al patrimonio cultural inmueble del país, la realidad es que aún falta mucho por conocer sobre el comportamiento de estas estructuras por la falta de estudios realizados en las mismas.

Se mencionaron previamente los trabajos de investigaciones similares al que se llevará a cabo, y es notoria la falta de un análisis estructural para determinar la

vulnerabilidad que tenga esta, ante nuevos sismos que puedan registrarse en un futuro próximo.

Llevar a cabo el presente trabajo permitirá profundizar en el conocimiento sobre la propia construcción y que puede servir para que las instituciones competentes determinen las acciones preventivas a realizar para la conservación de un edificio que tiene tanto valor cultural en la ciudad de Uruapan, Michoacán; y por la zona en la que se encuentra ubicado el lugar de estudio, también tiene un impacto directo en la economía del municipio, pues además de ser la fuente de ingresos de las personas que laboran ahí, es un punto turístico estratégico que no pasa desapercibido.

Así mismo, también servirá como base para futuros estudiantes o lectores que deseen conocer más sobre el edificio en cuestión, y para aquellos jóvenes de la carrera de ingeniería civil o carreras afines a la construcción, que pretendan realizar trabajos de investigación relacionados con el tema aquí tratado.

Marco de referencia.

La ubicación geográfica del lugar de estudio será el edificio de la Casa de la Cultura en el municipio de Uruapan con coordenadas (19.4214368, -102.0635278) perteneciente al Estado de Michoacán, situado en los Estados Unidos Mexicanos.

De acuerdo con el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), Uruapan fue un pueblo prehispánico que fue habitado principalmente por la cultura tarasca. Y que, debido a la búsqueda del último gobernante tarasco, llegaron los españoles al territorio uruapense alrededor del año 1522. Asimismo, se considera que fue fundado por la orden franciscana alrededor del

año 1534, considerándose particularmente a Fray Juan de San Miguel el fundador de la ciudad porque dio inicio a la obra urbanística del lugar. En ese mismo año inicia la construcción de lo que es ahora el edificio de la Casa de la Cultura en dicho municipio.

Debido a esto, y aunque las características del lugar, así como su tamaño y demografía le permiten tener el título de Ciudad (pero antiguamente era todavía considerado un pueblo), Uruapan tiene una gran riqueza cultural y legado de la evangelización de los españoles que se ve reflejado sobre todo en muchas construcciones que datan de esa época repartidas en el territorio del municipio.

La economía de Uruapan depende principalmente del sector agricultor, en particular de la producción, corte y exportación del aguacate; contando con dos tipos de clases sociales muy marcadas: la clase baja y la clase alta. La ciudad también cuenta con eventos tradicionales que atraen al turismo en temporadas altas como semana santa; eventos en donde las raíces culturales de Uruapan, sus construcciones antiguas y su gente son el principal atractivo.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

En este capítulo se desarrollan los temas relacionados a la historia y orígenes del edificio de la actual Casa de la Cultura de la ciudad de Uruapan, Michoacán; así como lo relacionado a su arquitectura y situación estructural; los materiales utilizados en su construcción, entre otras cuestiones de esta índole.

1.1. Ubicación.

El edificio de lo que actualmente es la Casa de la Cultura está ubicado exactamente en el centro de la ciudad de Uruapan; sobre la calle Portal Mercado esquina con García Ortiz, colinda al norte con la plazuela José María y al sur con la Plaza Mártires de Uruapan.



Imagen 1.1. Área Interior de la Casa de la Cultura en Uruapan, Michoacán. (Fuente: www.mexicoescultura.com; 2019)

1.2. Orígenes.

De acuerdo con Ramos (2011), se ha justificado que, en 1534, el franciscano Fray Juan de San Miguel un año después de llevar a cabo la fundación hispánica de Uruapan, y con ayuda de los nativos, eligieron los lugares donde se construirían las dependencias y edificios que la Orden requería. Entre los inmuebles edificados están: el Hospital de Indios, mejor conocido como La Huatápera, la Capilla del Santo Sepulcro, el Templo de la Inmaculada Concepción; la Iglesia Principal (actualmente Templo de San Francisco) y la locación destinada al convento franciscano y que dio lugar a lo que hoy es la Casa de la Cultura. Resaltando que, de estas edificaciones, la Iglesia Mayor y el convento fueron las primeras en erigirse.

Sin embargo, “Para otros autores en la primavera de 1535, San Miguel dirigió la construcción de la iglesia y convento. Este fue levantado junto al templo de San Francisco, los autores calculan su término entre los años de 1535 y 1536. Esta casa conventual debió albergar entre cuatro y seis religiosos encargados de administrar la vida espiritual de los habitantes. El gobierno del convento estaba en manos del prior quien se encargaba de organizar la doctrina y encauzar el trabajo de los misioneros en la evangelización, economía y política del pueblo.” (Talavera; 2008: 66, 67)

Retomando a Ramos (2011), la historia y evolución del edificio en cuestión se puede dividir en cinco épocas: la primera de estas comienza con la edificación de lo que fue la construcción original, y que fue realizada entre los años 1534 y 1536 aproximadamente, y que culmina en el año de 1767, fecha en que dejó de ser Convento Franciscano y que dio lugar a la llamada “Casa Cural”, dando inicio a la segunda etapa de su historia ya que en ese año Fray Francisco Tejada cede la finca

al clero diocesano por órdenes reales para secularizar las parroquias de la Nueva España.

Durante el año de 1924 se establece la Escuela Federal Ignacio Manuel Altamirano, dando inicio a la tercera etapa del edificio y que perdura hasta el año de 1954, fecha en que la escuela cambia de domicilio y a partir de ahí la mayoría de las oficinas del gobierno municipal se trasladan al inmueble, dando inicio con esto a la cuarta etapa histórica de la construcción.

La última etapa o época, comprende el período de tiempo en el que las oficinas de la presidencia municipal cambian nuevamente de dirección, dando paso al destino final de la edificación y que hoy conocemos como Casa de la Cultura. Más adelante se abordará más cada etapa de la edificación.

La construcción en un principio no era como se conoce hoy, ya que el convento original consistía en una sola planta con varias habitaciones y que tenían como finalidad el albergar a cuatro o hasta seis franciscanos quienes eran los encargados de los asuntos más importantes del pueblo. Antiguamente la edificación contaba con un gran atrio que comunicaba al convento con la Huatápera, y en ese espacio entre construcciones estaba una plaza donde se hacía el tianguis. “Al correr de los años, y hasta 1767 fue cuando la edificación a la que nos referimos representó al Convento Franciscano o Casa Conventual de la Orden Franciscana, misma que servía de residencia para el prior y los católicos religiosos.” (Ramos; 2011: 171)

En 1767 ocurre un cambio de poderes eclesiásticos por lo que Fray Francisco de Tejada fue la persona designada para cuidar la iglesia y su edificio, y fue también

el encargado de entregar la propiedad del convento al Clero Secular. Los nuevos responsables tomaron posesión del inmueble y este dejó de llamarse Convento Franciscano y quedó bajo el nuevo nombre de Casa Cural. Dicha edificación conservó ese nombre por mucho tiempo y a finales del siglo XVIII, fue sede de una pequeña escuela que incluso atendió al héroe de la Patria, José María Morelos; teniendo este último el puesto de maestro en un par de materias. Es uno de los personajes más recordados que se albergaron en la Casa Cural.

Ramos (2011), menciona que varios párrocos conocidos estuvieron a cargo de esta casa; uno de los más estimados por los vecinos fue el Padre Francisco García Ortiz, conocido como “Tata Panchito” y a quien años después de su muerte como honra a su memoria, pusieron su nombre a la calle localizada a un costado de la Casa de la Cultura.

Aproximadamente en 1892 el edificio tuvo la función de escuela particular, donde las religiosas del Sagrado Corazón establecieron su Colegio de San Joaquín; esto durante la época del porfiriato y donde la propiedad aún continuaba bajo la administración del clero. Esto cambió después de la Revolución Mexicana, ya que durante un período entre 1914 y 1920, el edificio estuvo en riesgo de ser destruido ya que se encontraba abandonado.

Años posteriores, debido a la expropiación de bienes inmuebles que pertenecieron a la Iglesia por parte del gobierno federal, fue que el edificio pasó a convertirse en escuela pública. A partir de 1924 fue que la construcción fue ocupada en su totalidad por el plantel escolar; actividades que se impartieron hasta el año de

1954 y a cambio las oficinas de la presidencia municipal se trasladaron a este inmueble en el año de 1955.



Imagen 1.2. Foto antigua de la Casa de la Cultura (al fondo) en Uruapan, Michoacán. (Fuente: www.poetajc.blogspot.mx; 2009)

“En 1954, -comenta Rendón Guillén-, el Gral. Lázaro Cárdenas del Río, Vocal Ejecutivo de la Comisión del Tepalcatepec, efectuó una visita a los planteles educativos de la ciudad para constatar su estado material. De dicha inspección resultó que el inmueble de la escuela “Altamirano” representaba un constante peligro para la vida de los infantes. Por tal razón, el Gral. Cárdenas sugirió el traslado de la institución al edificio del Palacio Municipal, ubicado en la esquina de Morelos y 5 de febrero, donde la vida de los niños quedaba bien garantizada, por las magníficas condiciones materiales del edificio.” (Ramos; 2011: 173)

Ramos (2011), menciona que las oficinas del gobierno se mantuvieron en la actual Casa de la Cultura hasta el año de 1992, cuando el entonces edil de Uruapan gestionó ante el gobierno federal con la finalidad de que les fueran concedidas otras instalaciones donde finalmente se estableciera la sede del gobierno municipal.

El 21 de octubre de 1992, fue el día en el que finalmente ocurrió la inauguración del inmueble de origen hispano con el título de “Casa de la Cultura”. Durante el evento fueron testigos funcionarios de los tres niveles de gobierno y que quedó registrado en la placa que se encuentra al entrar a dicho lugar. Hasta el día de hoy, la edificación sigue funcionando como difusora y promoviendo actividades para fomentar el arte.

1.3. Materiales.

De acuerdo con Guerrero (2007), la tierra cruda ha sido utilizada y funcional durante toda la historia de México debido a las necesidades económicas y arquitectónicas del país, como material básico de construcción. El hecho de que se mezclaran los conocimientos de las civilizaciones prehispánicas con los conocimientos y las tradiciones de construcción traídos por los conquistadores generó una vasta riqueza cultural inmueble en la nación y que se ve reflejado en sus distintas edificaciones como lo son haciendas, conventos, templos, palacios, edificios de gobiernos y gran parte de la arquitectura doméstica y rural. Los materiales constructivos empleados durante la época colonial y hasta el siglo XX se destinaban a funciones particulares de la edificación: el adobe para la construcción de muros, la piedra para los cimientos, la madera usada en techos, puertas, ventanas y pisos.

Anteriormente se ha mencionado que el edificio actual de la Casa de la Cultura en Uruapan, Michoacán, no es el original; la construcción que data del siglo XVI fue remodelada y ampliada de una a dos plantas entre los años 1880 y 1895 aproximadamente, cuya estructura es la que se mantiene al día de hoy.

Sin embargo, la ampliación de la edificación se hizo con los mismos materiales constructivos, pues de otra forma no hubiera sido posible dicha remodelación y porque eran los materiales disponibles y de uso común en la época en que aconteció dicha ampliación. A continuación, se mencionan los materiales que fueron empleados para la construcción de la estructura y para la urbanización general durante el siglo XVI en Uruapan, Michoacán.

1.3.1. Mampostería.

Se define como “mampostería al sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (denominados mampuestos), que pueden caracterizarse por estar sin labrar (o con una labra muy tosca).” (es.wikipedia.org; 2017)

De acuerdo con la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C. (1999), México tiene una larga historia en cuanto al conocimiento y empleo de la construcción en mampostería, ya que hasta la fecha las pruebas de ello (construcciones prehispánicas de las antiguas culturas), siguen en pie y en un estado considerablemente bueno. A lo largo del país se encuentran distribuidos las grandes edificaciones civiles y religiosas que datan de la época colonial y que todavía se

encuentran en uso, estas muestran la validez del conocimiento constructivo y de las soluciones empíricas empleadas para satisfacer las necesidades de aquellos años.

La preferencia por este material está tan arraigada en el territorio mexicano que es la causa principal de que no se haya hecho el cambio hacia las nuevas técnicas y más modernas formas de construcción. Sin embargo, la mampostería no es considerada como un material estructural primario si se compara con el acero y el concreto, y por ello que los estudios y cálculos en la ingeniería no abarcan completamente, ni se enfocan en este material constructivo.

A raíz del sismo de 1957 ocurrido en México, los estudios e investigaciones sobre la mampostería comenzaron a darse por parte de especialistas y dichos análisis e investigaciones se mantienen hasta la fecha. Cabe mencionar, que, de acuerdo con la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C. (1999), los reglamentos de construcciones del país han estado a la vanguardia y han sido pioneros en normas referentes a la mampostería; por ello que otros países hayan adaptado dichas consideraciones.

1.3.1.1. Mampostería de piedras naturales.

La Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C. (1999) menciona que, para la construcción de mampostería el factor o elemento básico es la unidad o pieza y que puede ser clasificado de acuerdo con su origen como natural o artificial. Teniendo en cuenta que las unidades de piedra natural se trabajan sin labrar o labradas. En México se distinguen principalmente los siguientes tipos de mampostería considerando la forma en que ha sido labrada la piedra natural:

a) Mampostería de primera. La piedra se labra en paralelepípedos regulares con su cara expuesta de forma rectangular y reciben el nombre de sillares.

b) Mampostería de segunda. La piedra se labra en paralelepípedos de forma variable siguiendo la configuración natural con que llega de la cantera.

c) Mampostería de tercera. La piedra se utiliza con la forma irregular con que llega de la cantera, procurando que la cara expuesta sea aproximadamente plana.

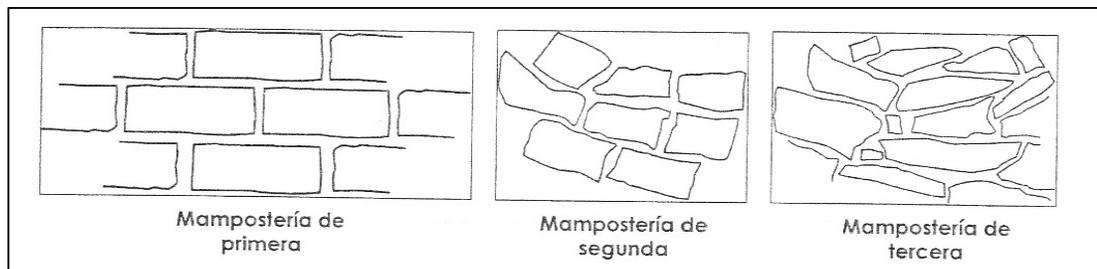


Imagen 1.3. Tipos de mampostería de piedras naturales. (Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.; 1999: 20)

Las piedras naturales tienen propiedades que varían de acuerdo al tipo de piedra. A continuación, se muestran algunas características aproximadas de ellas.

Piedra	Peso volumétrico seco (t/m^3)	Resistencia a compresión (kg/cm^2)	Resistencia a tensión en flexión (kg/cm^2)	Módulo de Elasticidad (kg/cm^2)* 10^3
Areniscas	1.75 - 2.65	150 - 3200	60 - 120	40 - 200
Basaltos (piedra braza)	2.30 - 3.00	800 - 5800	200 - 300	100 - 300
Granito Natural	2.40 - 3.20	800 - 3000	100 - 200	400 - 500
Mármol	2.40 - 2.85	300 - 3000	35 - 200	900

Tabla 1.1. Propiedades mecánicas de piedras naturales. (Fuente: Propia, basada en Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.; 1999: 20)

1.3.1.2. Mampostería de piedras artificiales.

En el caso de las piedras artificiales existe una mayor variedad, ya que en este tipo de elementos figuran distintas materias primas, las características geométricas de las piezas y por su proceso de fabricación. Dentro de las materias primas con las que son creadas estas unidades se encuentra: el concreto con agregados normales o ligeros, el barro y la arena con cal; y hay hechos de forma artesanal (tabique común) y los que pasan por un proceso industrial como los bloques de concreto. Se mantiene una forma prismática, pero las dimensiones de las piezas varían unas con otras.

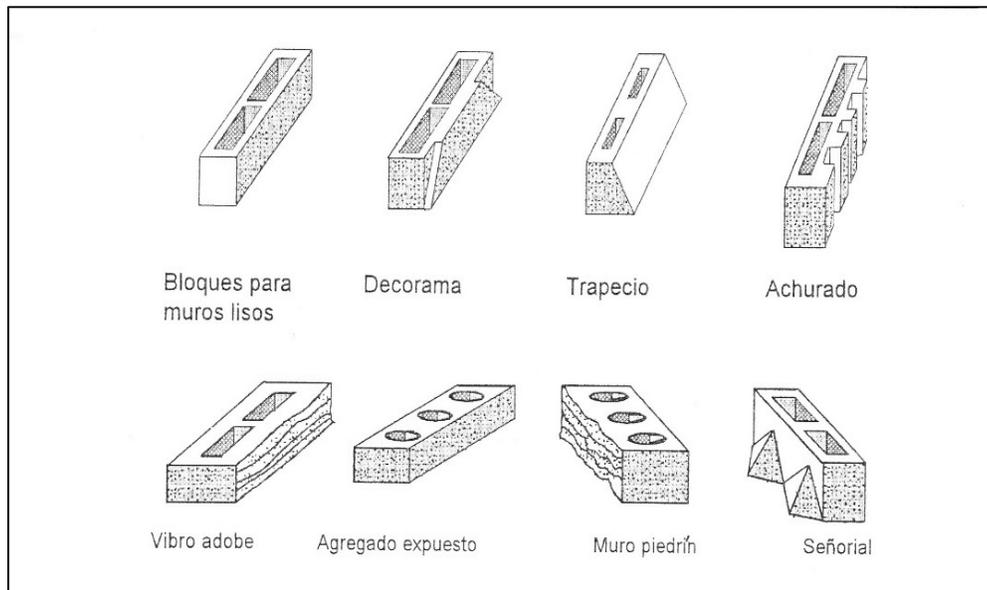


Imagen 1.4. Piezas en relieve para mampostería. (Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.; 1999: 21)

1.3.1.3. Cimentaciones de mampostería.

La Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C. (1999), menciona que los objetivos de una cimentación eficiente deben ser los siguientes: mínimo de hundimientos y en especial los diferenciales, facilidad de colocación de instalaciones,

procedimiento constructivo fácil (especialmente en suelos saturados) y la previsión de corrección a futuro.

De acuerdo con Yamin et al (2007), en edificaciones construidas con adobe el tipo de cimentación se compone en forma general por vigas corridas en piedra y material de relleno; de esta manera se conforma un entramado de vigas de cimentación por debajo de los muros cargantes hechos con adobe. Las formas de las vigas de cimentación encontradas en este tipo de estructuras son en “L”, en “T” invertida o en sección prismática equivalente al ancho del muro.

Para el relleno de las cimentaciones se sabe que se utilizaban diferentes tipos de materiales como suelos arenoso o lleno de cal y canto, y las rocas utilizadas con ángulos pronunciados o redondeadas y también una mezcla de ambas.

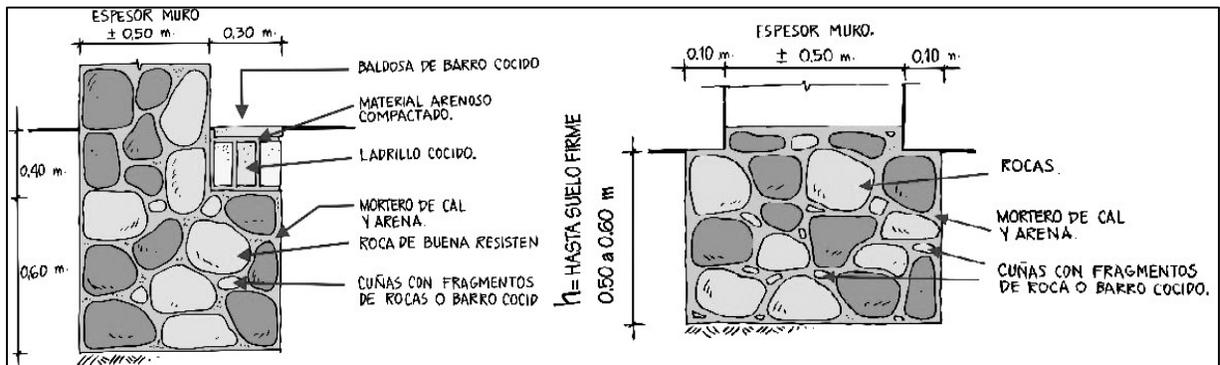


Imagen 1.5. Cimentación en “L” (izquierda) y cimentación en “T” invertida (derecha).

(Fuente: Yamin et al; 2007: 291)

1.3.2. Adobe.

La arquitectura a base de tierra es una de las técnicas constructivas más antiguas en la historia de la humanidad. “Los adobes son bloques de tierra cruda,

fabricados con arcilla, arena y agua, moldeados en forma de ladrillo, secados al aire o bajo al sol”. (Aguilar; 2008: 19)

Por su origen, el adobe se encuentra dentro de la clasificación de mampostería de origen artificial, pues “el adobe es un material de gran importancia en el medio rural. Se trata de un tabique de barro sin cocer, mezclado con fibras de distintos tipos (estiércol, paja, hojas, etc.) y secado al aire libre.” (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.; 1999: 23)

De acuerdo con Gama et al (2012), durante miles de años se ha utilizado adobe como material constructivo en todo el continente americano; y se estima que un 50 por ciento de las casas existentes en el planeta están construidas con dicho material debido a la accesibilidad de las materias primas y a que significa una alternativa viable para resolver la falta de vivienda en zonas marginadas, por su bajo costo de elaboración y de construcción. Sin embargo, esta alternativa es limitada porque las técnicas constructivas que involucran este material son de origen empírico y varían de una región a otra, careciendo, por lo tanto, de una base tecnológica universal.

El adobe, como ya se mencionó, tiene propiedades que lo caracterizan y lo colocan como un material altamente funcional como lo son: su bajo costo y su gran disponibilidad, al alto ahorro de energía (hace uso de energías completamente renovables), a la gran trabajabilidad y propiedades mecánicas aceptables para la construcción, su fácil adaptación a las necesidades locales y su accesible reciclamiento de las materias excedentes.

Rivera (2012), menciona que los sistemas constructivos hechos con tierra de edificaciones patrimoniales consisten principalmente en muros de carga y que estos no fueron diseñados para soportar fuerzas generadas por movimientos de origen sísmico; estos sistemas solo soportan cargas verticales (incluyendo peso propio, entrepisos, cubiertas y otros) y de servicio (carga viva).

La Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C. (1999), reafirma esta característica de comportamiento pobre del adobe ante efectos sísmicos y su baja resistencia a tensión (que se ve reflejado en agrietamientos por tensión diagonal, por corte o verticales), que puede conducir a la falla parcial o total de la edificación.

En el medio rural mexicano la mayoría de las casas son de adobe y las más comunes se caracterizan por tener una sola planta rectangular y alargada que va de los 30 a los 50 m² de área, no cuentan con muros divisorios y los muros de carga son de 3 a 3.5 m de altura con espesores que pueden variar entre los 40 y 60 cm. Sin embargo, el sistema de techo empleado en estas edificaciones varía de acuerdo al tipo de clima del lugar donde se construye; teniendo techos más pesados en regiones de climas extremos.

González (s/f), menciona que el adobe y la tierra apisonada alcanzan un 70% de su resistencia final a los seis meses y, a los dos años de fabricación, ésta se estabiliza. Sin embargo, existen diversos factores que afectan dicha resistencia en los muros de tierra: la calidad del adobe, la calidad del mortero (hecho del mismo material que el adobe), la calidad en el proceso constructivo, el curado apropiado (protección solar en los primeros días) y la protección contra la desecación (donde disminuye

excesivamente la cantidad de agua en el material y que es provocado por una gran circulación de aire).

Otro aspecto que deteriora y que compromete la durabilidad de este tipo de estructuras construidas con tierra, es la exposición de la edificación a la acción del agua. No existe una estimación exacta de la calidad que tiene el adobe o cualquier elemento a base de tierra, debido a que es prácticamente imposible establecer y reproducir en laboratorio los fenómenos de intemperismo (estos varían de un lugar a otro), y a que se requiere de un largo tiempo de exposición para obtener resultados válidos, pero, se conoce que contenidos mayores al 30% de material muy fino en la mezcla producen una deterioración más rápida en los elementos de tierra.

Cabe mencionar que, pese a sus pobres características de resistencia sísmica, el adobe presenta propiedades de aislamiento térmico y acústico excelentes.



Imagen 1.6. Fabricación piezas de adobe. (Fuente: www.albaniles.org; 2015)

De acuerdo con Graham (1996), la cantidad disponible de tierra para la fabricación de ladrillos de adobe y, por consecuencia, la construcción con este material

es prácticamente ilimitada casi en cualquier parte. No existe un tipo de tierra especial para poder llamar “adobe” al material resultante.

Aunque todo el proceso de fabricación de este tipo de ladrillos es empírico, se puede considerar que existe una tierra ideal en cuanto al contenido de sus elementos se refiere; siendo de ellos cuatro los más importantes: arena gruesa o agregado, arena fina, sedimento y arcilla. En teoría, alguno de estos elementos podría no estar presente en el suelo a utilizar y, sin embargo, tener resultados aceptables; pero es recomendado que la tierra contenga los cuatro elementos mencionados.

Hay que considerar las proporciones con las que cuenta el suelo al momento de fabricar los ladrillos de adobe, porque “las estructuras de tierra con un alto porcentaje de agregado (arena gruesa) pueden ser fuertes al secarse, pero son más vulnerables a la erosión ocasionada por la lluvia. Las estructuras de tierra con mucha arcilla pueden ser mucho más resistentes al agua y a la erosión, pero menos fuertes.” (Graham; 1996: 63)

1.3.2.1. Selección de tierra, fabricación y secado.

Gonzáles (s/f), menciona que, cuando se va a edificar con tierra se debe conocer la calidad del suelo a utilizar, es decir, conocer el material disponible; debido a que la construcción con adobe es con base en la experiencia (y recientemente a los ensayos tecnológicos), el analizar el suelo y su composición permite mejorarlo con otros materiales como arena o paja, por ejemplo: las tierras que contienen una gran cantidad de arcilla pueden mejorar su comportamiento si se les agrega alguno de los ya mencionados materiales, evitando así contracciones del adobe durante la

construcción; provocando estas contracciones durante el secado del mismo con estas adiciones.

De acuerdo con Morales et al (1993), la composición de la tierra para fabricar adobe debe contener del 25 al 45% de limos y arcilla y el resto debe ser arena, tomando en cuenta que la tierra no debe de ser de cultivo. Una vez seleccionada la tierra se pueden llevar a cabo pruebas cuyo resultado muestra la calidad de dicha tierra seleccionada. Morales et al (1993), menciona tres tipos de pruebas a las que puede ser sometida la muestra de suelo y que son muy prácticas y sencillas de realizar in situ. A continuación, se hace mención de ellas:

1.- Prueba granulométrica: sirve para determinar la proporción de los componentes principales de la tierra y consiste en llenar hasta la mitad con tierra tamizada una botella de boca ancha y con capacidad de un litro. La mitad restante es llenada con agua. Hecho esto se tapa la botella y se agita por un tiempo hasta que todas las partículas queden suspendidas; a continuación, se deja reposar la botella sobre una superficie plana y se verá el asentamiento de las partículas: primero las arenas, y los limos y arcillas tardarán en sedimentarse por lo que se pueden medir las capas y ver el contenido de las mismas.

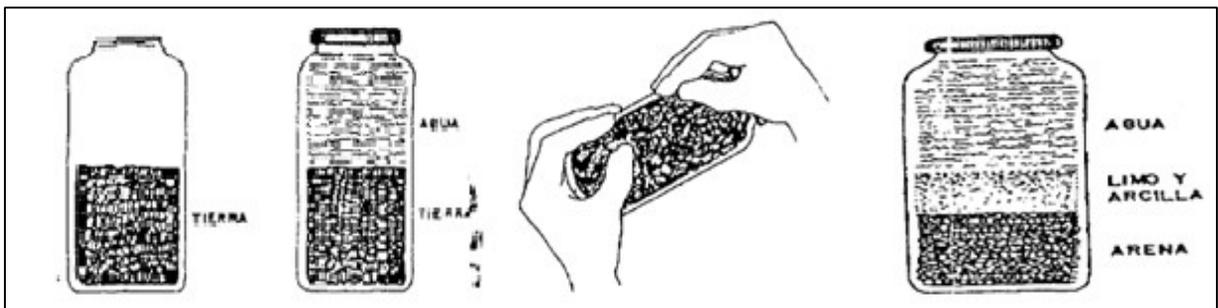


Imagen 1.7. Prueba granulométrica. (Fuente: Morales et al; 1993: 42-43)

2.- Prueba de plasticidad (prueba del rollo): esta prueba tiene la finalidad de determinar la calidad de la tierra y así mismo determinar si es arenosa, arcillosa o una combinación de estas, y consiste en formar un rollo de 1.5 cm de diámetro con tierra húmeda; a continuación, suspenderlo en el aire y finalmente medir la longitud del extremo que se rompe, pudiéndose dar los siguientes tres casos: tierra arenosa (inadecuada) cuando el rollo se rompe antes de alcanzar los 5 cm; tierra arcillo-arenosa (adecuada) cuando el rollo se rompe al alcanzar una longitud entre 5 y 15 cm; y finalmente tierra arcillosa (inadecuada) cuando el rollo alcanza una longitud mayor de 15 cm.

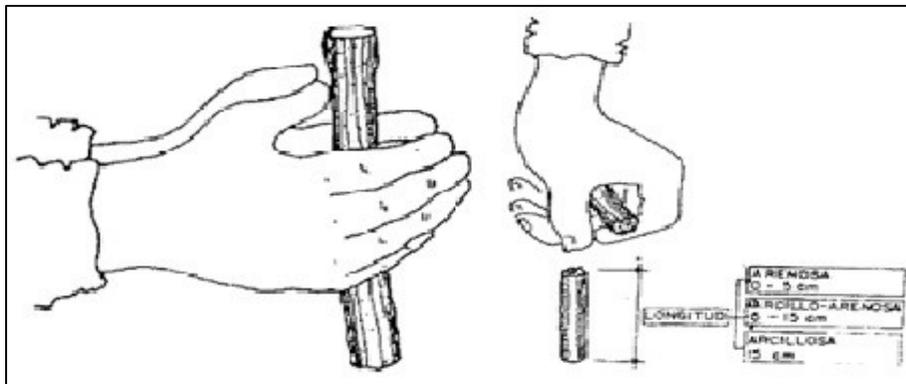


Imagen 1.8. Prueba de plasticidad. (Fuente: Morales et al; 1993: 43)

3.- Prueba de resistencia (prueba del disco): esta prueba consiste en hacer una masa de tierra húmeda y después elaborar 5 discos de 3 cm de diámetro por 1.5 de espesor y dejarlos secar 48 horas para después intentar romperlos. Presentándose dos casos: baja resistencia (inadecuada) cuando el disco se aplasta fácilmente; y media o alta resistencia (adecuada) cuando la dificultad para romper el disco se incrementa o cuando se rompe y produce un sonido seco.

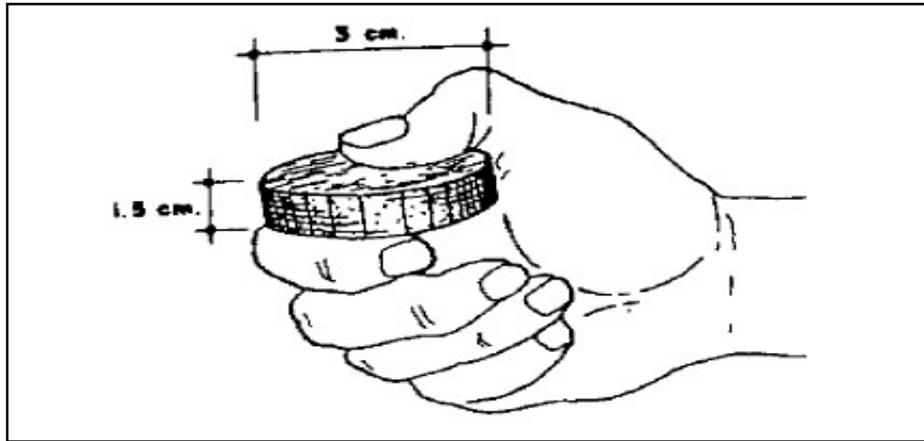


Imagen 1.9. Prueba de resistencia. (Fuente: Morales et al; 1993: 44)

Morales et al (1993), hace referencia a la estabilización de suelos, pues dependiendo del lugar, del suelo y de la calidad del adobe resultante de la tierra elegida, el suelo donde se va a construir influye en la estabilidad y la resistencia de los muros. Para estabilizar los suelos se puede utilizar asfalto, cemento o cal (siendo esta la más utilizada) pero conlleva un incremento significativo en el costo de la construcción.

La fabricación de las piezas de adobe se hace de forma artesanal agregando agua a la tierra y también se le añade otras materias inertes como paja, pasto seco, etc. Para el moldeo se utilizan moldes sin fondo o con fondo (para mejorar la uniformidad, resistencia y la presentación) y vaciando la mezcla directamente en dichos moldes. El desmolde se realiza con cuidado y con sacudidas suaves y verticales.

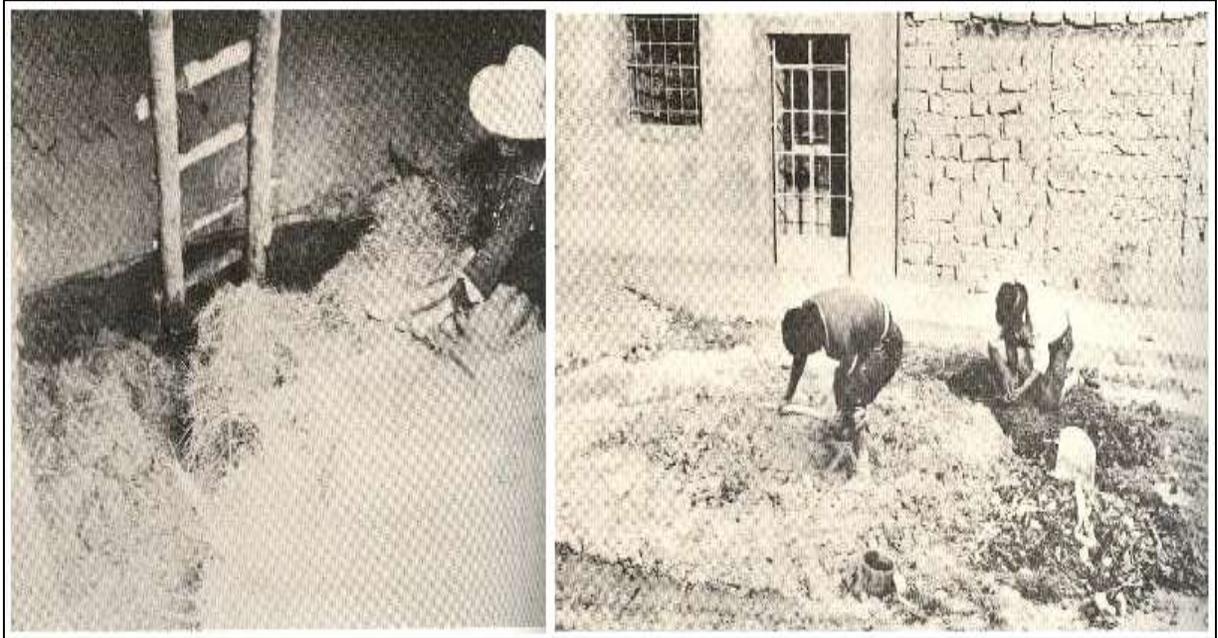


Imagen 1.10. Preparación de paja y tierra para fabricar adobes. (Fuente: Gonzáles; sin fecha; 38)

De acuerdo con Gonzáles (s/f), los procesos de fabricación de las piezas de adobe o de cualquier elemento constructivo a base de tierra, han tenido poca evolución; siendo los únicos avances el empleo de mezcladoras y pisones mecánicos. La estabilidad mecánica del material resultante de la mezcla se logra mediante la compactación de los elementos; ya que este proceso aumenta la densidad del material y mejora su resistencia.

Para el secado de las piezas de adobe se debe utilizar una superficie horizontal, limpia y libre de sales o impurezas orgánicas. Este proceso se deberá hacer considerando que el clima no afecte las piezas, pues es requerida una semana completa para el proceso de secado.



Imagen 1.11. Agregado de agua y batido de mezcla para adobe. (Fuente: Gonzáles; sin fecha; 40)

Las edificaciones de adobe suelen trabajar a base de muros, por lo que es necesario protegerlos contra la acción del agua y del intemperismo en general. Para proteger los muros se utilizan revestimientos externos, que pueden ser de mortero y por pinturas o emulsiones. Estos revestimientos serán eficaces si es utilizado el más adecuado para el lugar en donde se encuentra la construcción y para las condiciones climatológicas que debe enfrentar. Asimismo, es importante contar con una cobertura o techo superior que protejan no solo al usuario, sino también a la estructura propia. En general, se trata de proteger a las construcciones de adobe contra la acción del agua y la desecación.

1.3.3. Madera.

“La madera es un material natural no homogéneo, al estar constituida por las células especializadas en conducción, almacenamiento, y sostén, propias del árbol.”
(Arriaga et al; sin fecha: 5)

En las edificaciones de adobe, la madera es parte fundamental de la estructura, pues es utilizada antes, durante y después de la construcción; encontrándola principalmente en el techo de este tipo de estructuras. Una de las características más importantes de la madera es su densidad, debido a que cuanto mayor es esta propiedad en el material, mayor será su dureza.

De acuerdo con Arriaga (1986), a lo largo de la historia de la humanidad la madera ha sido uno de los materiales de mayor uso como elemento estructural; esto como consecuencia de su disponibilidad, junto con las grandes propiedades mecánicas que ofrece, en especial su capacidad de resistencia cuando se somete a flexión y su resistencia a la tracción y compresión, esto aunado a su fácil maleabilidad y su ligereza comparado con su tamaño.

El riesgo estructural del uso de la madera radica en que, por ser un material de origen natural y orgánico, esta se encuentra ante el constante riesgo de ser consumido por agentes xilófagos (insectos que se alimentan de la madera). Además, el riesgo de deterioro incrementa cuando por detalles constructivos o simplemente por la antigüedad del elemento, se origina humedad; todo esto tiene como consecuencia la pérdida de las propiedades mecánicas de la madera.

La madera es un material anisótropo y ortótropo, debido a que sus propiedades mecánicas dependerán de la orientación de las fibras de esta en relación a la dirección del esfuerzo aplicado; también es un material higroscópico debido a su capacidad para absorber la humedad presente en el medio en que se encuentre, y esta humedad o contenido de agua dentro de la madera también influye en sus propiedades mecánicas.

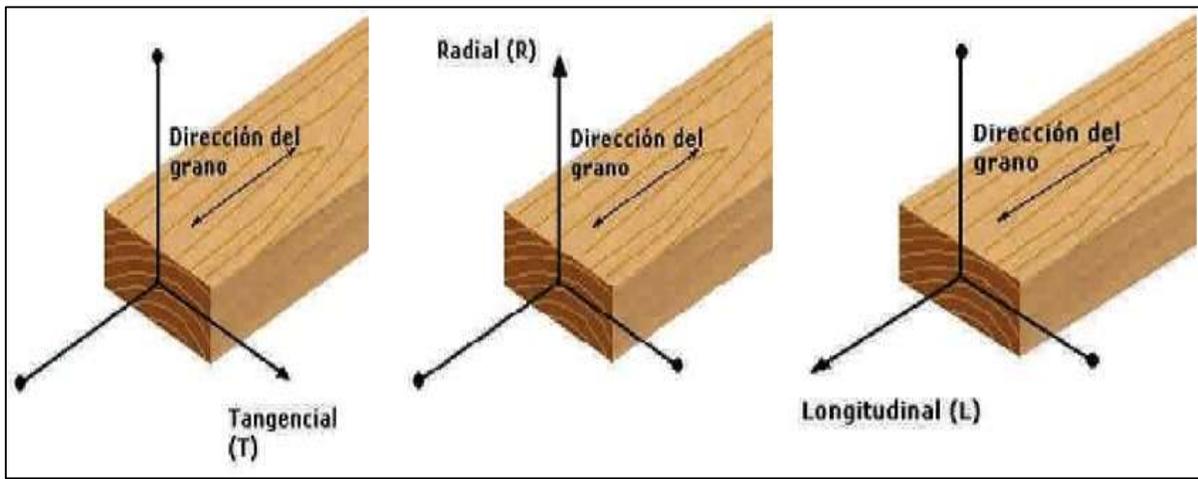


Imagen 1.12. Ejes de la madera. (Fuente: La construcción de viviendas en madera. CORMA; 2013: 19)

1.3.3.1. Entrepisos y techos de madera.

De acuerdo con Yamin et al (2007), es común encontrar entrepisos conformados por vigas cargueras en las construcciones de adobe o tapia pisada. Estas vigas se extienden de muro a muro, formando de esta manera la plataforma de apoyo del entrepiso; y a su vez estas vigas cargueras descansan en las vigas corona de entrepiso, cuya función es transmitir las solicitaciones resultantes hacia los muros de carga.

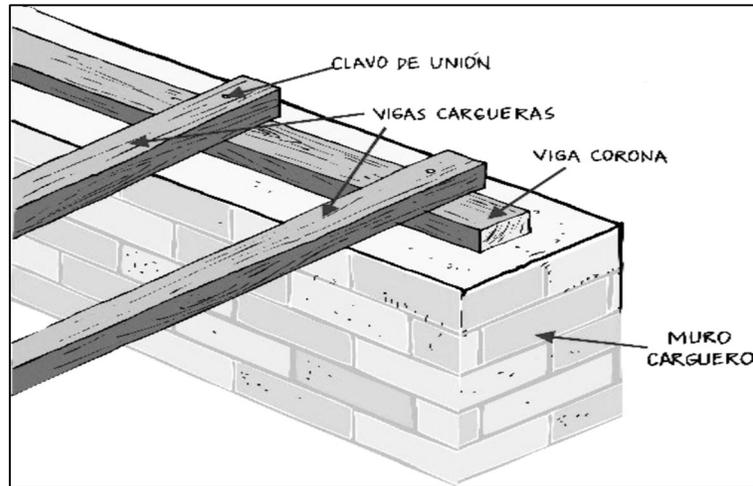


Imagen 1.13. Viga corona con vigas de carga. (Fuente: Yamin et al; 2007: 294)

Yamin et al (2007), menciona que el acabado de los entrepisos suele ser de listones de madera que se colocan apoyándose directamente sobre las vigas de carga, aunque puede haber otros sistemas compuestos por madera y adicionalmente una capa de tierra y un acabado rígido encima de esta.

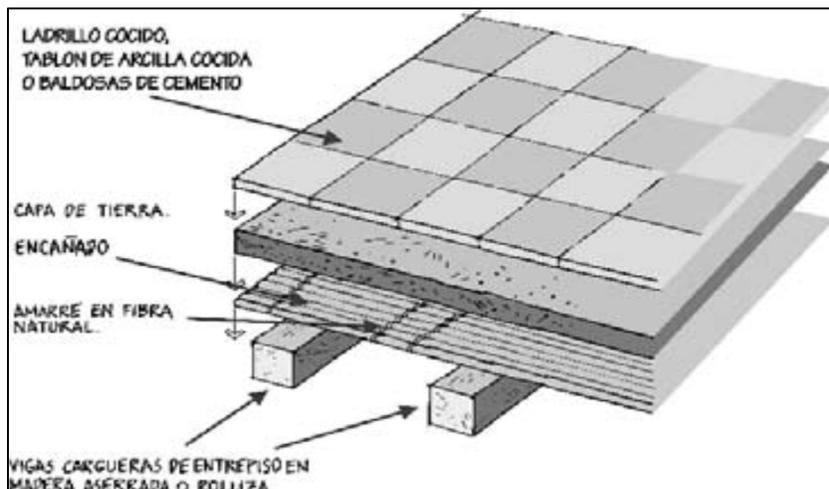


Imagen 1.14. Estructura de entrepiso. (Fuente: Yamin et al; 2007: 294)

Las vigas son “elementos estructurales lineales (horizontales o inclinados), que salvan luces y que son solicitados por reacciones tales como: peso propio,

sobrecargas de uso, viento, nieve y montaje, entre otros. Trabajan principalmente en flexión y corte. Un conjunto de vigas es lo que conforma básicamente la plataforma de piso o entrepiso.” (La construcción de viviendas en madera. CORMA; 2013: 180)

De acuerdo con la CORMA (2013), hay una clasificación de vigas de acuerdo al tipo de función realizada, así como a las solicitaciones a las que es requerida. A continuación, se hace mención de ellas:

1. Viga maestra: este tipo de viga recibe directa o indirectamente las cargas transmitidas por el apoyo de otros elementos estructurales sobre esta.
2. Vigas de piso: se les conoce también como vigas secundarias o viguetas y conforman la estructuración de piso. Este tipo de vigas solo soportan las cargas del primer nivel.

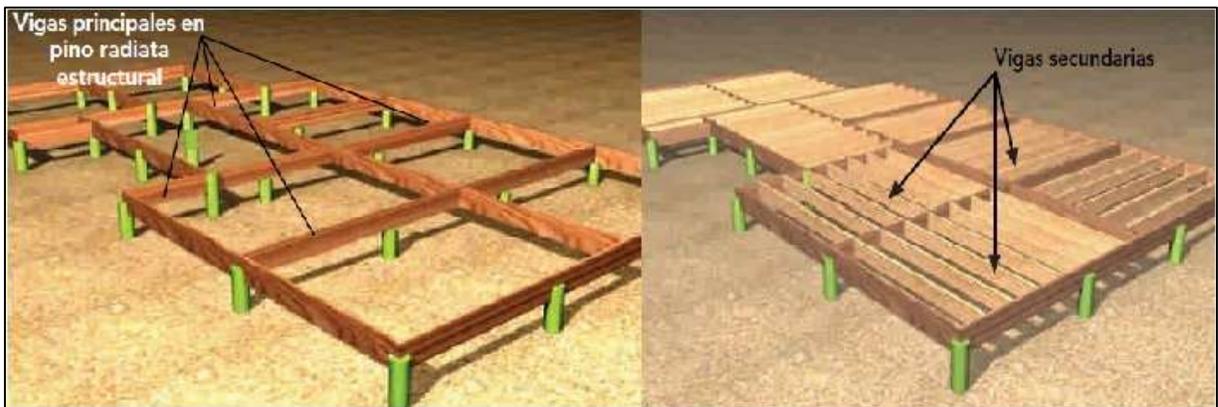


Imagen 1.15. Vigas principales (izquierda) y vigas secundarias (derecha). (Fuente: La construcción de viviendas en madera. CORMA; 2013: 185, 187)

3. Vigas de entrepiso: al igual que las vigas de piso se conforman de vigas secundarias o viguetas, teniendo la función de separar dos niveles de una edificación.

4. Vigas de cielo: estas vigas son las que separan el espacio habitable del entretecho. Suelen ser de menores dimensiones ya que no soportan cargas considerables.



Imagen 1.16. Vigas de entepiso (izquierda) y vigas de cielo (derecha). (Fuente: La construcción de viviendas en madera. CORMA; 2013: 187, 188)

En general, las estructuras de cubierta utilizadas en construcciones de adobe corresponden a elementos formados por madera y uno de los sistemas de entechado más común en estas edificaciones es la conocida como “par y nudillo”, la cual consiste en un sistema de armadura tradicional formado por “vigas cumbreiras, vigas correas, vigas diagonales o pares, vigas de madera que atraviesan el vano y descansan en las soleras (tirantes) y vigas instaladas en las cajas de los tirantes (soleras) que reciben las correas. A nivel de entechado son comunes las capas de tierra sobre el encañado y sobre este último las típicas tejas de arcilla cocida.” (Yamin et al; 2007: 294)

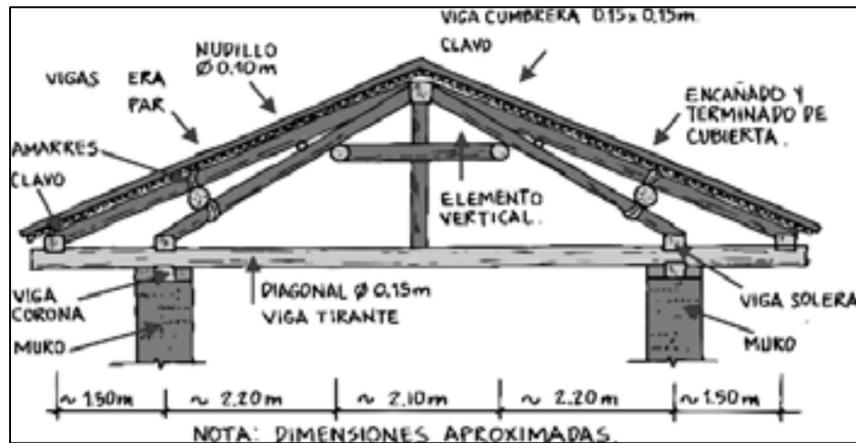


Imagen 1.17. Elementos principales de las cubiertas. (Fuente: Yamin et al; 2007:

294)

1.4. Daños y modificaciones.

De acuerdo con Ramos (2011), Uruapan durante el transcurso de su historia ha sido parte de diferentes conflictos bélicos debido a su apoyo nacionalista. Estuvo involucrado en acontecimientos durante la Guerra de Independencia, la Guerra de Reforma, la Guerra de Intervención Francesa y, en última instancia, durante la Revolución Mexicana. Todo esto como consecuencia, pasó a afectar en su momento a las edificaciones de esas épocas de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Ramos (2011), menciona que para prueba de ello se encuentran tres hechos históricos que afectaron la estructura y la parte arquitectónica del edificio de lo que hoy es la Casa de la Cultura. El primero de estos eventos sucedió en 1813, época en que sucedía la Guerra de Independencia; en ese año se incendiaron diversas fincas del centro histórico de Uruapan, incluyendo lo que en ese momento era la Casa Cural.

Asimismo, el interior del edificio de la Casa de la Cultura fue testigo de los enfrentamientos durante el tiempo de la intervención francesa; donde buscaron refugio

y un lugar para enfrentar al enemigo dos de los Mártires de Uruapan, por lo que la estructura del edificio llegó a recibir un gran número de impactos de fusil.

Después, durante el porfiriato, la administración de la entonces Casa Cural continuaba en manos eclesiásticas; época donde el edificio ya funcionaba como escuela particular. En esos años ya se aproximaba la Revolución y así, el 23 de junio de 1913, el edificio de la actual Casa de la Cultura se vio envuelto en otro enfrentamiento; esta vez entre el coronel Joaquín Amaro (perteneciente a las tropas maderistas) y los enemigos de estos.

Sin embargo, “en cuanto a los aspectos arquitectónicos y reconstrucción la Casa Cural, se amplió de una a dos plantas y se remodeló, entre 1880 y 1895 aproximadamente [...] ya de 1914 a 1920 debido a los problemas suscitados por la Revolución Mexicana estuvo abandonado y en riesgo de ser destruido, siendo presa varias veces de grupos de revolucionarios y bandoleros.” (Ramos; 2011: 173)

Durante la Administración 2008-2011 encabezada por el entonces presidente municipal, Antonio González, se inició la primera etapa de restauración. La cual consistió en la remodelación de la techumbre; desmantelando primero la estructura del techo existente que incluyeron 980 metros cuadrados de teja y 640 metros cuadrados de entortado, las cuales fueron remplazadas por nuevas piezas con madera tratada, de labor artesanal para mantener la esencia del inmueble. Todos los trabajos realizados fueron supervisados directamente por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) y el presupuesto de restauración fue obtenido mediante el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes del gobierno federal (CONACULTA).

1.5. Situación Actual.

El edificio en cuestión continúa siendo el lugar del fomento y desarrollo de la cultura de la ciudad de Uruapan, Michoacán; manteniendo sus funciones desde el año de 1992. El uso del edificio está destinado en su mayoría para talleres culturales, exposiciones artísticas y algunas oficinas propias de la Casa de la Cultura.

De acuerdo con el Sistema de Información Cultural (2016), la asistencia promedio mensual de visitantes en el año 2014 era de 6301 personas; mientras que el promedio anual de visitantes en el mismo año fue de 75619 personas.

Instalaciones: cuenta con dos salas de exposiciones permanentes, la Sala Arqueológica Dr. Juan Sepúlveda con una superficie total de 54 m² y el Museo Histórico Lic. Eduardo Ruiz, este con un área de 60 m². Además, cuenta con dos salas de exposiciones temporales: sala de exposiciones planta alta con un área de 88 m² y sala de exposiciones planta baja con una superficie de 46 m².

Dentro de las actividades que se llevan a cabo están los talleres de ballet clásico, teatro, taller literario, oboe, flauta transversa, corno francés, tuba, percusiones, clarinete, violín, viola, cello, contrabajo, orquesta sinfónica infantil y juvenil, piano, solfeo y grabado. Se ofrecen también conferencias, cine, teatro, exposiciones de artes plásticas, presentaciones de libros, presentaciones de danza y música.

CAPÍTULO 2

SISMICIDAD EN MÉXICO

En el desarrollo del presente capítulo se establecerán conceptos básicos de sismología, así como el contexto sísmico del territorio mexicano; sismos de mayor importancia en el país y el peligro sísmico, para poder analizar las condiciones en las que se encuentra el punto de estudio.

2.1. Sismos y sus causas.

De acuerdo con Bazán et al (2002), los movimientos de la tierra, sismos, o terremotos se deben a vibraciones de la corteza terrestre. Estos movimientos pueden tener distintos orígenes o causas, como la actividad volcánica, el derrumbe de cavernas subterráneas e incluso, el hombre ha generado estas vibraciones de la tierra con explosiones de gran magnitud.

Para los ingenieros, los sismos de mayor importancia y aquellos que resultan más destructivos son los de origen tectónico. Estos últimos, se deben al desplazamiento y a la interacción entre las placas en que está dividida la corteza terrestre; el constante movimiento de dichas placas y la fricción entre estas, provoca que se acumulen enormes cantidades de energía en la roca y cuando alguna otra fuerza logra vencer esta fricción que mantiene el contacto entre los bordes de las placas, es cuando se producen caídas de esfuerzos y la liberación de toda esa energía acumulada. Esta energía se libera principalmente a través de ondas vibratorias y, por su naturaleza, se propagan a grandes distancias por medio de la roca.

El resultado de esta vibración de la corteza terrestre, provocado por la energía liberada de la roca y por la propia masa de los edificios que son solicitados en su base y que se encuentran desplantados en la corteza terrestre, genera fuerzas de inercia que llevan a esfuerzos considerables a los elementos de las estructuras edificadas por el hombre; poniendo en riesgo la estructura, a los usuarios y al contenido de esta. Además, los sismos y las vibraciones generadas por éstos pueden llevar a un colapso no solo de la estructura, sino en el mismo suelo; como en el caso de los fenómenos de licuación, deslizamiento de taludes y la abertura de grietas en la corteza terrestre.

2.1.1. Tectónica de placas.

La causa de los esfuerzos diferenciales que provocan la deformación del terreno y la acumulación de tensiones en la superficie terrestre “está vinculada a la dinámica de la litósfera terrestre y, más en concreto, a la teoría de la tectónica de placas. Según ella, la litósfera está dividida en un conjunto de placas independientes que se desplazan arrastradas por las corrientes de convección de la astenósfera, con velocidades relativas de unos pocos centímetros al año. Se pueden distinguir 17 placas importantes de las que 6 se consideran principales. En todas ellas el interior es estable y los márgenes inestables. Estos márgenes pueden ser de tres tipos: divergentes, convergentes y de deslizamiento horizontal.” (Herráiz; 1997: 4)

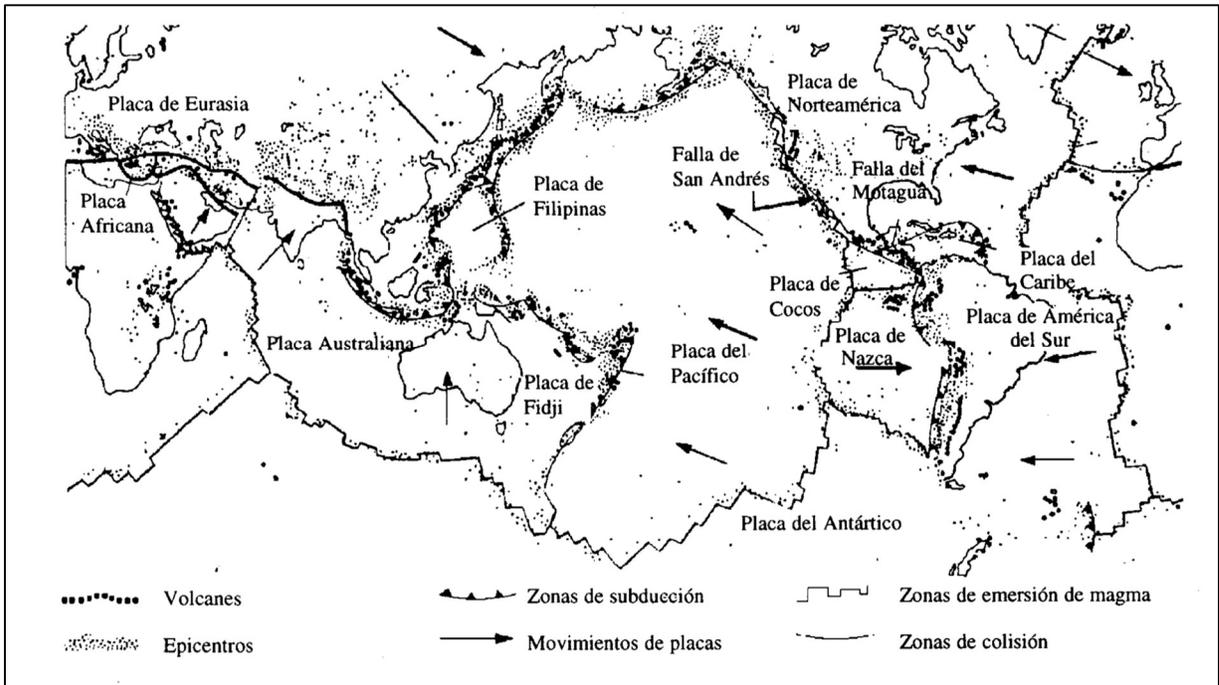


Imagen 2.1. Mapa que muestra la relación entre las principales placas tectónicas y la localización de los epicentros de terremotos y de los volcanes. (Fuente: Bazán et al; 2002: 16)

De acuerdo con Herráiz (1997), las zonas donde se crea corteza oceánica a lo largo de una cordillera volcánica submarina y que son por lo tanto zonas de expansión, corresponden a los bordes divergentes. A estas cordilleras resultantes se les llama dorsales oceánicas y se pueden extender a lo largo de miles de kilómetros y, en algunos casos, pueden dar origen a formación de islas.

Contrario a los bordes divergentes, los márgenes convergentes son las zonas donde dos placas se encuentran y, por lo tanto, corresponde a un proceso de destrucción de litósfera que compensa el material creado en las dorsales oceánicas. En este proceso se da el fenómeno de subducción, en donde la placa de menor tamaño se introduce por debajo de la placa de mayor tamaño. “El encuentro entre una placa

continental y otra oceánica correspondiente a una zona de subducción constituye el caso de un margen continental activo. Por el contrario, se utiliza el concepto de margen continental pasivo para los casos en los que el continente se une a una parte oceánica para formar una misma placa. Esto es lo que sucede, por ejemplo, con el encuentro del margen oriental de América con el occidental de Eurasia y África.” (Herráiz; 1997: 6)

Cuando dos placas de iguales características se encuentran, no se puede hablar de subducción debido a que ninguna de las dos placas cede ante la otra; en este caso se habla de choque o colisión. Este es el caso de la placa Indo-Australiana y la placa de Eurasia, que tuvo como resultado la cadena del Himalaya y que hasta el día de hoy sigue generando una actividad sísmica importante.

Finalmente, se habla de casos de deslizamiento o de fractura cuando no existe ni destrucción ni creación de material y el desplazamiento de las placas es horizontal y paralelo a la falla. Este tipo movimientos puede generar sismos de magnitud considerable. Este es el caso de la falla de San Andrés y que sucede entre las placas del Pacífico y de América del Norte.

Cabe mencionar que los sismos y terremotos generados por erupciones volcánicas (estos tienen un carácter explosivo similar al originado por explosiones provocadas por el hombre) no tienen nada que ver con los mecanismos de generación por las placas tectónicas; por esto que se hable de sismos de origen volcánico y de origen tectónico.

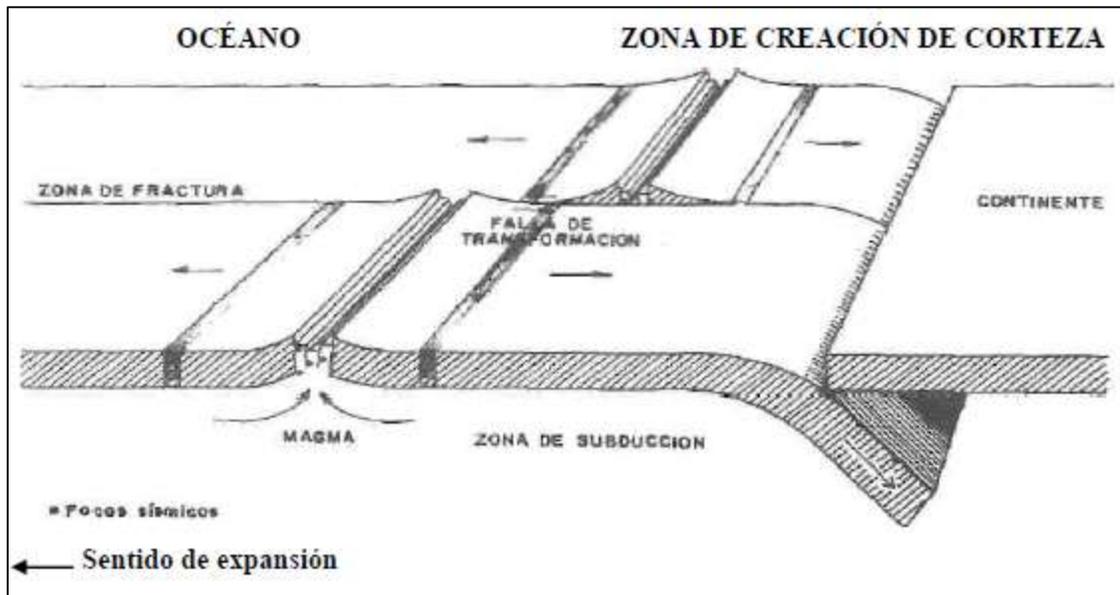


Imagen 2.2. Movimiento de las placas y generación de sismos. (Fuente: Herráiz; 1997: 7)

2.1.2. Clasificación de los sismos.

Por ser un proceso de ruptura y deformación elástica del material de la litósfera, los sismos o terremotos, dependiendo del tipo de falla o del mecanismo causante y el medio por el cual se transmite, estos pueden dar origen a resultados diferentes en la corteza terrestre. De acuerdo con Zúñiga (2011), los sismos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Sismos de subducción someros: estos ocurren en la zona de fricción y debido a la interacción de subducción, la característica de estos es que ocurren a profundidades menores a 40 km.
- b) Sismos de subducción profundos: Son de origen igual a los anteriores, con la característica de que sus profundidades son mayores a 40 km.

- c) Sismos intraplaca de profundidad intermedia: estos sismos se presentan en la placa subducida y ocurren por la fractura de la placa que ha penetrado no por la fricción entre las placas. Son de profundidades mayores a 80 km y menores de 500 km en México.
- d) Sismos de zonas de acreción: se presentan en este tipo de fronteras, con profundidades menores a los 20 km.
- e) Sismos de fallas de transurrencia: tienen lugar en este tipo de frontera, pero sus profundidades no rebasan los 30 km, generalmente.
- f) Sismos corticales intracontinentales: se presentan en fallas internas de la placa, y sus profundidades no exceden el grosor de la misma.

Anteriormente, se hacía mención de la diferencia entre sismos de origen tectónico y de origen volcánico; sin embargo, los sismos de origen vulcano-tectónico son el equivalente a los sismos corticales. Otros sismos pueden originarse por el transporte de fluidos (magma o agua) en cavidades o fracturas que ocasionan la emisión de ondas de menor magnitud, a estos se les llama tremores.

2.2. Ondas sísmicas.

Bazán et al (2002) menciona que, durante un sismo, la energía liberada por éste se dispersa desde la zona de ruptura a través de diversos tipos de ondas que generan movimientos de vibración en la corteza terrestre.

2.2.1. Ondas de cuerpo.

Por su naturaleza, las ondas generadas por los sismos se dividen en dos: las ondas de cuerpo, que son aquellas que se transmiten por las zonas profundas de la

tierra y, por lo tanto, a través de roca; y las ondas superficiales, que se originan a causa de reflexiones (el rebote que experimentan las ondas al llegar a un obstáculo grande) y refracciones (cambio de dirección en la onda como consecuencia de su variación de velocidad al pasar de un medio a otro) cuando estas llegan a la superficie o a una interfase entre estratos.

A su vez, menciona Herráiz (1997), las ondas de cuerpo o internas son de dos tipos: las ondas P (primarias o de dilatación), llamadas así porque son las primeras en llegar a una estación dada; y las ondas S (secundarias o de cortante), y que como su nombre lo indica son las segundas en llegar dicha estación.

Las ondas P son longitudinales (experimentan un movimiento paralelo a la dirección de la propagación) y se refieren a cambios de volumen sin cambio de forma; y las ondas S, generan movimiento transversal en las partículas y corresponden a cambios de forma sin cambios de volumen.

De acuerdo con Bazán et al (2002), a diferencia de las ondas P, las ondas S generan un movimiento del terreno de mayor intensidad y con consecuencias más dañinas. Este movimiento, es muy complejo y de características irregulares debido a la formación geológica de la roca, medio por el cual viajan las ondas y a las que se deben las refracciones y reflexiones de las mismas.

2.2.2. Ondas superficiales.

Anteriormente ya se mencionó que además de las ondas internas o de cuerpo, existen las ondas superficiales. “Cuando un sólido posee una superficie libre, como la superficie de la tierra, pueden generarse ondas que viajan a lo largo de la superficie.

Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece exponencialmente con la profundidad. Una clase de ondas como éstas son conocidas como ondas Rayleigh en honor al científico que predijo su existencia. La trayectoria que describen las partículas del medio al propagarse la onda es elíptica retrógrada y ocurre en el plan de propagación de la onda. Estas ondas son similares (aunque no son las mismas) a las ondas que se producen en la superficie de un cuerpo de agua (olas).” (Zúñiga; 2011: 12)

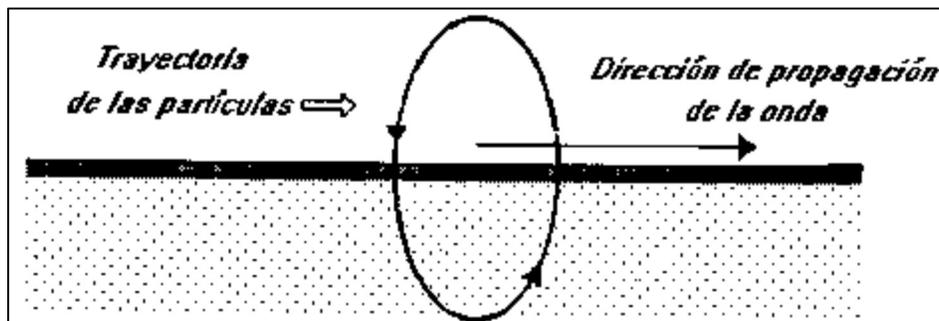


Imagen 2.3. Ondas Rayleigh. (Fuente: Zúñiga; 2011: 12)

Otro tipo de ondas superficiales son las llamadas ondas de “Love”, llamadas también así en honor al científico que llevó a cabo los estudios de las mismas. Este tipo de ondas sólo se generan cuando el medio elástico se encuentra estratificado, es decir, que se presenta en capas o en estratos superpuestos; situación que sucede con la geología del planeta Tierra.

De acuerdo con Zúñiga (2011), estas ondas generan un movimiento perpendicular en las partículas respecto a la dirección de propagación, similar que en el caso de las ondas S, pero en el plano de la superficie terrestre.

En general, se puede decir que la existencia de las ondas superficiales se debe a la presencia de discontinuidades en la Tierra (debido a la presencia de vacíos o a un medio de menor rigidez), ya que en un medio elástico infinito este tipo de ondas no podrían existir.

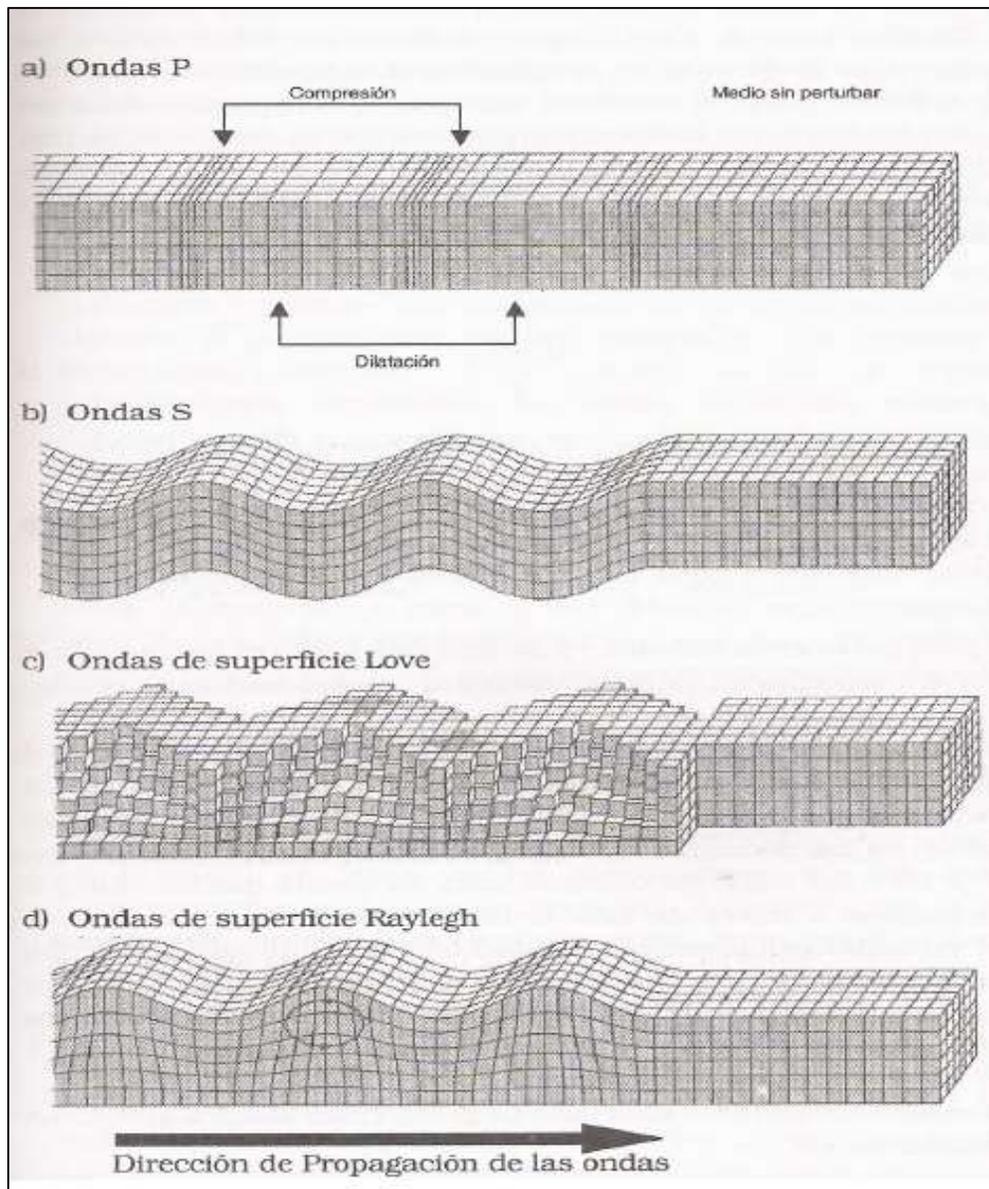


Imagen 2.4. Tipos de ondas sísmicas. (Fuente: Herráiz; 1997: 13)

2.3. Características de la fuente sísmica.

Es necesario medir la energía liberada por un terremoto para poder tener una idea de la dimensión de éste; de acuerdo con Herráiz (1997), esta dimensión se mide fundamentalmente con tres parámetros: el momento sísmico, la intensidad y la magnitud. A continuación, se describen los principales conceptos y dichos parámetros.

2.3.1. Energía.

De acuerdo con la energía intrínseca de cada terremoto, es decir, la energía liberada por el mismo, los sismólogos los clasifican de forma individual. Esta clasificación es única para cada sismo y no puede verse afectada por las consecuencias que tengan los terremotos, debido a que éstas varían de un lugar a otro.

Para comprender mejor el tipo de energías que actúan durante un terremoto supóngase una pieza de roca, a la cual se le aplica la fuerza suficiente para romperla; ésta probablemente se romperá en dos partes a lo largo de algún plano débil de la roca; este plano, se puede concebir como una falla muy pequeña. “De acuerdo a la física la cantidad de energía necesaria para romper o fracturar un pedazo de roca, es igual a la fuerza requerida para romper esa roca, por la distancia de separación entre los pedazos fracturados de la roca original.” (Zúñiga; 2011: 14)

$$(\text{Trabajo}) = (\text{Fuerza}) \times (\text{Distancia})$$

$$(\text{Energía}) = (\text{Presión}) \times (\text{Área}) \times (\text{Distancia})$$

$$(\text{Momento}) = (\text{Rigidez}) \times (\text{Área de la falla}) \times (\text{Distancia deslizada})$$

De acuerdo con las anteriores fórmulas, el “momento” de un terremoto proporciona una medida del tamaño del proceso de ruptura; y esta medida es básica para comprender la peligrosidad que puede ser una falla en una determinada área, en caso de que llegue a una ruptura completa.

Cabe mencionar, que de acuerdo con Zúñiga (2011), la mejor medida para cuantificar la energía liberada por un sismo es lo que se ha definido como “momento”; debido a que esta medición es lo que indica el tamaño real del sismo. Sin embargo, cuando se trata de informar al público y a otras disciplinas, éste es no es el parámetro que se utiliza comúnmente.

2.3.2. Magnitud.

En la década de los años treinta del siglo pasado, Charles F. Richter, definió una escala de magnitud basada en lo siguiente:

“Considérese un sismo con un foco dado; si se tienen estaciones gradualmente más alejadas del foco el registro de su movimiento se hará cada vez más pequeño. Si se grafican los valores del logaritmo de la amplitud de las mayores oscilaciones de cada registro (sismograma) contra la distancia, se obtienen gráficas como la producidas en la figura.” (Zúñiga; 2011: 16)

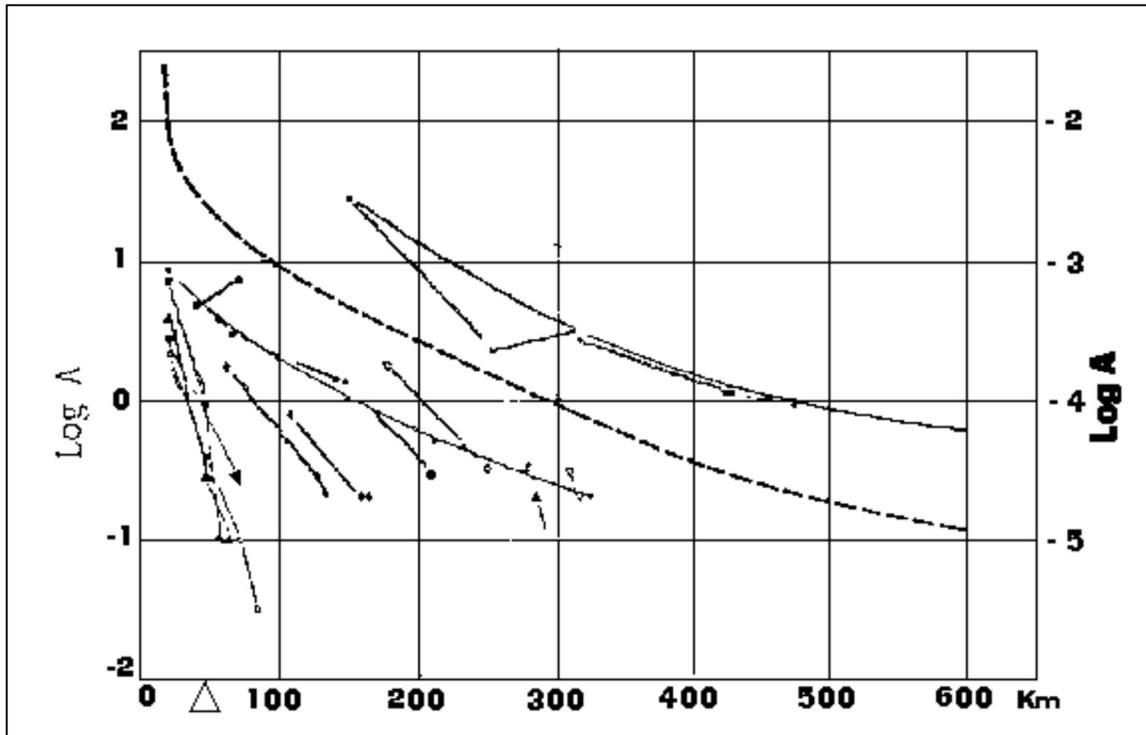


Imagen 2.5. Curvas de Log de amplitud de ondas contra distancia. (Fuente: Zúñiga; 2011: 16)

En la imagen 2.5., la curva más baja representa un terremoto más pequeño puesto que ocasiona un menor movimiento del terreno; entonces se toma cualquiera de estos sismos como el sismo patrón y se le asigna la magnitud cero. A partir de éste, los demás sismos pueden ser clasificados midiendo la separación entre ellos.

De acuerdo con Herráiz (1997), la magnitud es una medida instrumental que se relaciona con la energía sísmica que se libera en el foco y que se transmite por medio de ondas sísmicas, durante un sismo. Es una constante que no depende del lugar en el que es observada.

2.3.3. Magnitud y energía.

La relación entre magnitud y energía es logarítmica, es decir, cuando la magnitud aumenta en una unidad el logaritmo de la energía también lo hace.

“La energía aumenta aproximadamente 31.6 veces por cada grado. Así, se requiere la ocurrencia de alrededor de unos 31 sismos de una magnitud dada para liberar la misma cantidad que libera el sismo de una magnitud superior en una unidad, es decir, se necesitan 31.6 sismos de una magnitud M para llegar a la misma energía liberada por un sismo de magnitud $M+1$.” (Zúñiga; 2011: 20)

2.3.4. Intensidad.

De acuerdo con Herráiz (1997), la intensidad es la fuerza con la que se experimentan los efectos de un sismo. Este parámetro es el de mayor interés en las áreas ingenieriles y es resultado de la estimación cualitativa de los daños producidos por un terremoto.

Las escalas más utilizadas para medir la intensidad sísmica actualmente son la de Mercalli Modificada (MM) y la MSK; utilizadas en América y en Europa, respectivamente. Ambas escalas tienen doce grados y son muy parecidas; además de estas dos existen otras de uso local, como la de la Agencia Meteorológica de Japón (JMA).

En la escala MM, “los daños de la mampostería de adobe (Tipo D) se inician con el Grado VII que señala la transición de temblor a terremoto en la terminología de algunos países iberoamericanos. Por su parte, la escala MSK distingue tres tipos de construcción. Los de la clase A utilizan muros de mampostería en seco o con barro,

adobe o tapial; los de tipo B se caracterizan por el empleo de muros de ladrillo, mampostería con mortero y entramado de madera, y los de tipo C son los edificios con estructura metálica o de concreto armado. En esta escala, los daños para las construcciones de tipo A son ligeros en el grado V y graves en el VII.” (Herráiz; 1997: 55)

MODIFIED MERCALLI	ROSSI FOREL	JMA	MERCALLI CANCANI SIEBERG	MEDVEDEV SPONHEUER KARNIK
I	I		II	I
II	II		III	II
III	III	i	IV	III
IV	IV	II	V	I
V	V	III	VI	V
VI	VI	IV	VII	VI
VII	VII		VIII	VII
VIII	VIII	v	IX	VIII
IX	IX		X	IX
X		VI	XI	X
XI	X		XII	XI
XII		VII		XII

Imagen 2.6. Escalas de intensidad sísmica y su equivalencia. (Fuente: Herráiz; 1997:

56)

2.3.5. Duración.

Se le conoce como “duración de la fuente”, al tiempo transcurrido entre el inicio de la ruptura de una falla y la terminación de ésta. De acuerdo con Zúñiga (2011), al iniciar el proceso de ruptura en una determinada falla se generan las primeras ondas sísmicas, las cuales viajan a través del medio en todas las direcciones; cuando dichas ondas llegan a la superficie, provocan lo que popularmente se conoce como temblor. Sin embargo, ya que el proceso de ruptura en la falla continua, ondas subsecuentes llegan en un tiempo posterior a la superficie; y en dicho proceso intervienen todos los factores físicos del medio por el cual se transmiten las ondas sísmicas, por ello que la duración de un sismo en el sitio de recepción es variable de un lugar a otro, dependiendo de la distancia de la fuente sísmica y de las condiciones del terreno en dicho sitio.

2.4. Tipos de sismos en México.

De acuerdo con Zúñiga (2011), en México ocurren sismos de todos los tipos, pero con una profundidad máxima menor que en otras partes del mundo (menores a 600 km). Se observa que ocurren con mayor frecuencia los sismos dañinos del tipo A (sismos de subducción someros); sin embargo, otro tipo de sismos también han causado daños significativos en los lugares donde ocurren y las comunidades cercanas a la fuente sísmica.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (2001), menciona que, a nivel mundial, México tiene en gran parte de su territorio un nivel de sismicidad alto debido a que se encuentra asociado al Cinturón de Fuego del Pacífico (una de las zonas más

importantes generadoras de temblores). De forma general, la mayoría de los sismos en territorio nacional tienen su origen relativamente cerca de la superficie, particularmente profundidades focales menores a 40 km y, además, los epicentros de estos se ubican en zonas con una población alta.



Imagen 2.7. Ubicación del territorio mexicano con respecto a las placas tectónicas.

(Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres; 2001: 19)

Asimismo, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (2001), menciona que, en la costa del Pacífico, a lo largo de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, se ubican los epicentros de la mayor parte de los sismos de gran magnitud (magnitud mayor de 7 en la escala de Richter) que ocasionan cuantiosos daños. Sin embargo, en otras zonas del país como en el centro y el sur de Veracruz, norte y centro de Oaxaca y Chiapas, en el Estado de México y la península de Baja California (zona fronteriza con Estados Unidos), también han ocurrido terremotos de magnitud considerable.

Aunque México tiene zonas sísmicas muy activas e importantes, también hay zonas donde no ha temblado o tiembla muy poco relativamente, sobre todo en la parte norte del país; específicamente en los estados de Zacatecas, Durango, Sinaloa y Sonora, donde la actividad sísmica es escasa, y algunos estados donde no tiembla, pero se ven afectados por los grandes sismos con origen distinto como Guanajuato, Nayarit, Hidalgo, Querétaro, Tlaxcala y Tabasco.

A continuación, se muestran los mapas de regionalización sismotectónica para sismos someros y profundos en los que se basa el Manual de Construcción de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad:

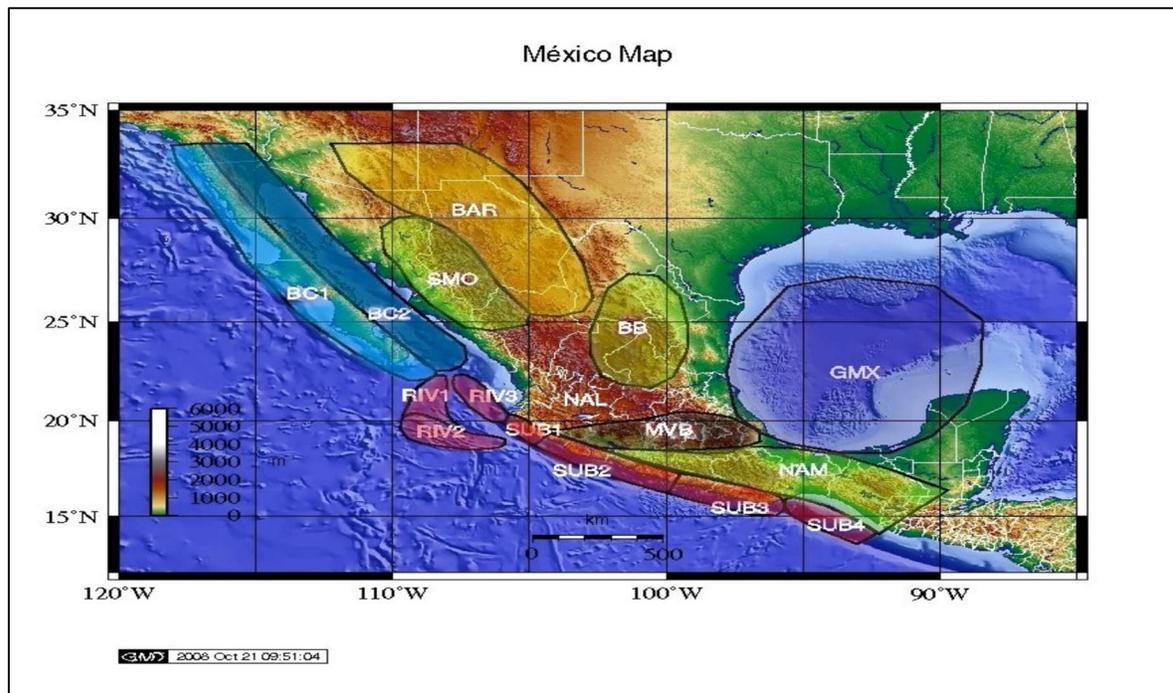


Imagen 2.8. Regionalización sismotectónica de la República Mexicana para sismos someros. (Fuente: Zúñiga; 2011: 8)

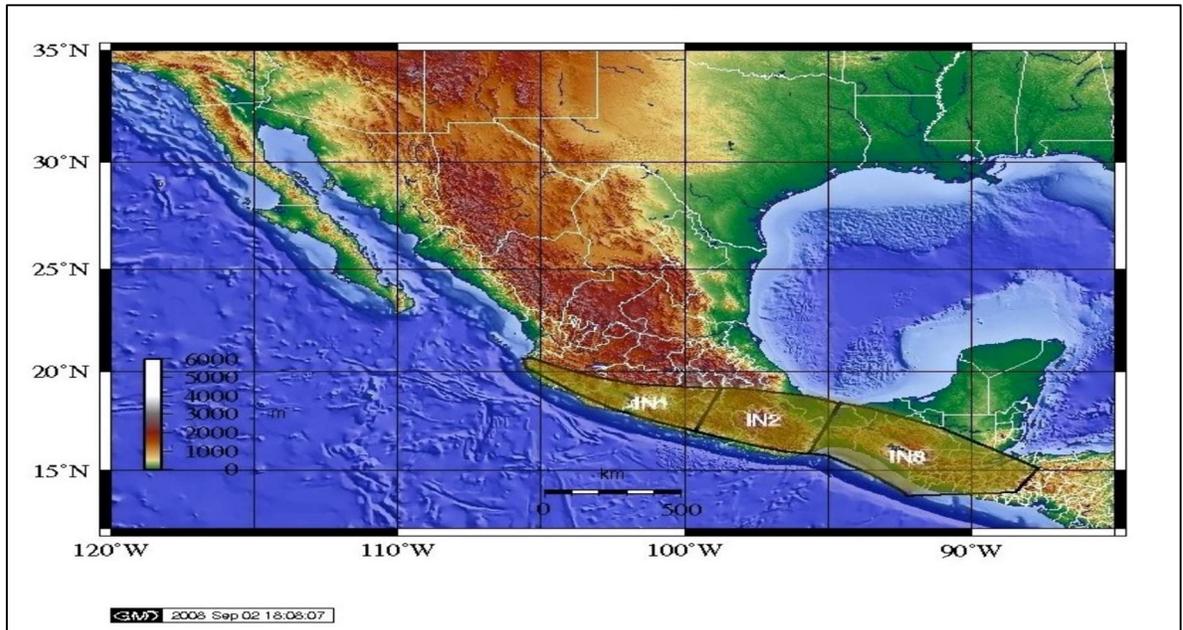


Imagen 2.9. Regionalización sismotectónica de la República Mexicana para sismos profundos. (Fuente: Zúñiga; 2011: 9)

A continuación, se desglosan las regiones sismotectónicas descritas por Zúñiga (2011):

- 1) Región SUB1: Zona de transición de la convergencia entre las placas Rivera y Norteamericana (NOAM) a la convergencia Cocos-NOAM. Zona de eventos interplaca someros del tipo de subducción con una profundidad menor a los 40 km.
- 2) Región SUB2: Zona de eventos interplaca someros del tipo de subducción. Se ubica la convergencia Cocos-NOAM.
- 3) Región SUB3: Zona de eventos interplaca someros del tipo de subducción. Convergencia Cocos-NOAM, zona de transición.
- 4) Región SUB4: Zona de eventos interplaca someros del tipo de subducción. Convergencia Cocos-Caribe.

- 5) Región IN1: Zona de eventos intraplaca (Cocos) de profundidad entre 40 km y 120 km. Tiene relación con la interface Cocos-NOAM.
- 6) Región IN2: Zona de eventos intraplaca (Cocos) de profundidad intermedia. Tiene relación con la zona de transición.
- 7) Región IN3: Zona de eventos intraplaca (Cocos) de profundidad intermedia. Tiene relación a la interface Cocos-Caribe.
- 8) Región MVB: Zona de eventos intraplaca (NOAM) someros, con una profundidad menor a los 40 km dentro de la provincia tectónica del Eje Volcánico Mexicano.
- 9) Región NAM: Zona de eventos intraplaca (NOAM) someros.
- 10) Región BC1: Zona de eventos intraplaca (Pacífico), con una profundidad menor a 20 km.
- 11) Región BC2: Zona de eventos interplaca (Pacífico-NOAM), con profundidades menores a 20 km.
- 12) Región SMO: Zona de eventos intraplaca (NOAM) someros, provincia Sierra Madre Occidental.
- 13) Región BAR: Zona de eventos intraplaca (NOAM) someros, provincia de Cuencas y Sierras – Fisura del Río Bravo.
- 14) Región BB: Zona de eventos intraplaca (NOAM) someros, provincia de la Cuenca de Burgos.
- 15) Región RIV1: Zona de eventos interplaca someros de fallamiento normal principalmente, interface Pacífico-Rivera.
- 16) Región RIV2: Zona de eventos interplaca someros de fallamiento de rumbo principalmente, interface Pacífico-Rivera.

- 17) Región RIV3: Zona de eventos interplaca de subducción someros. Interface Rivera-NOAM.
- 18) Región GMX: Zona de eventos intraplaca (NOAM) someros, región del Golfo de México.
- 19) Región NAL: Zona de eventos intraplaca (NOAM) someros de baja magnitud-baja periodicidad.

2.4.1. Regionalización sísmica.

De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (2001), México está delimitado en cuatro zonas de acuerdo al peligro sísmico al que están sujetas las mismas: A, B, C y D, y cuyo peligro es de menor a mayor, respectivamente.

Precisamente a esta delimitación y clasificación de las zonas, es a lo que se le conoce como regionalización sísmica y tiene por objetivo, junto con el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, proporcionar la información necesaria para los constructores y diseñadores de obras, para evitar costos excesivos y principalmente proyectar un nivel adecuado de seguridad en cada construcción.

En las zonas C y D, las cuales involucran mayor peligro sísmico, incluyen 1001 municipios de los 2443 que integran la República Mexicana. Además, cabe destacar que dentro de las zonas con mayor riesgo sísmico se encuentra la Ciudad de México (antes Distrito Federal) en donde la amplificación de movimiento sísmico en terreno blando incrementa el peligro.

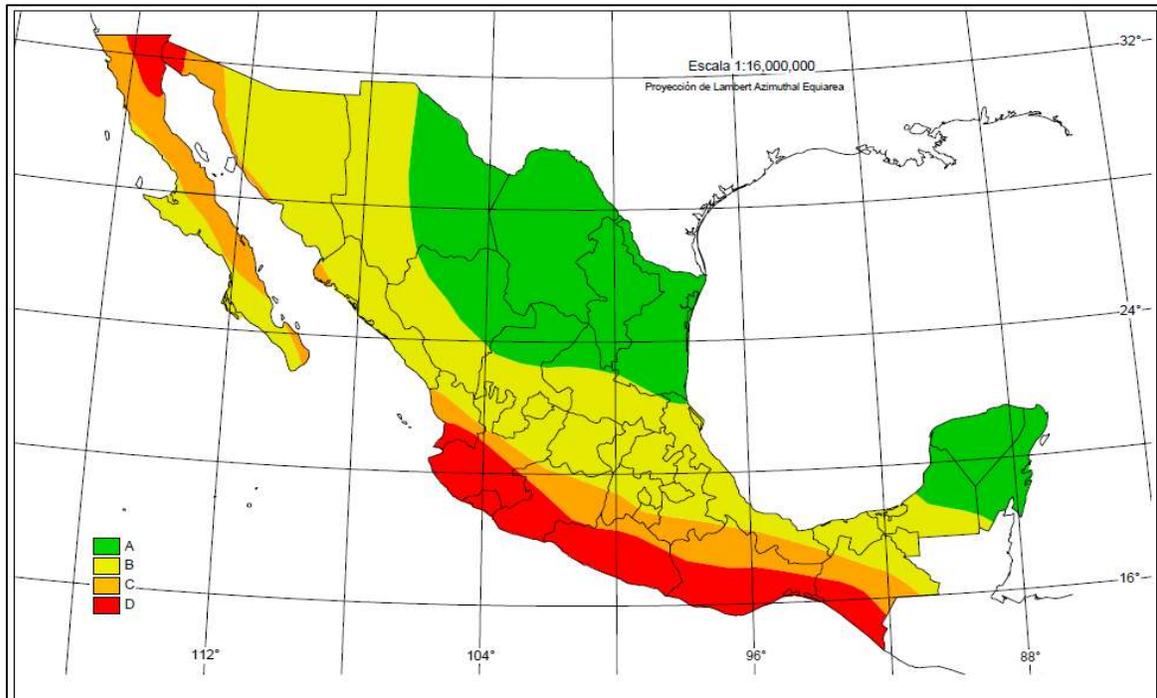


Imagen 2.10. Regionalización Sísmica de la República Mexicana. (Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres; 2001: 22)

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (2001), menciona que, este mapa de regionalización sísmica se definió utilizando los registros históricos de grandes sismos en México, los catálogos de sismicidad y datos de aceleración del terreno como consecuencia de sismos de gran magnitud.

Asimismo, se define que la zona A es aquella donde no se tienen registros históricos, y no se han reportado sismos de magnitud grande en los últimos 80 años y donde se esperan aceleraciones del terreno menores al 10% del valor de la gravedad. Las zonas B y C, son aquellas de sismicidad con menor frecuencia o cuyas aceleraciones del terreno no rebasan el 70% de la gravedad. Finalmente, la zona D es donde han ocurrido grandes sismos y con mayor frecuencia y las aceleraciones del terreno pueden superar el equivalente al 70% de la gravedad.

2.4.2. Sismos históricos en México.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (2001), enlista los grandes sismos registrados durante los últimos siglos (XIX y XX); y a continuación, en orden cronológico, se explican con mayor de detalle algunos de ellos, elegidos principalmente debido a sus consecuencias:

1. Sismo del 7 de abril de 1845: de acuerdo con el folleto de Peligros Geológicos relevantes durante el período de 1810-2010 del Gobierno Federal (2010), este sismo alcanzó una magnitud de 8.1 en la escala de Richter y destruyó los pueblos Poncitlán y Ocotlán en Jalisco; además en la ciudad de México se derrumbó el Hospital de San Lázaro y la cúpula de la iglesia del Señor de Santa Teresa. Hubo daños en el Palacio Nacional, en la Cámara de Senadores y la Universidad. Tuvo su epicentro en Guerrero.
2. Sismo del 19 de junio de 1858: con epicentro en Guerrero, tuvo una magnitud de 7.3, se reportó en el centro y en el sur de la República y las principales afectaciones ocurrieron en algunos conventos: San Fernando, San Francisco, San Jerónimo y el Sagrario. También hubo pérdidas humanas, aproximadamente 19 muertos en la ciudad de México.
3. Sismo del 24 de enero de 1899: de magnitud de 8.4 y epicentro en los estados de Oaxaca y Guerrero, se sintió en varios estados de la República siendo el más afectado el estado de Guerrero. Las pérdidas fueron principalmente materiales, debido al derrumbe de escuelas, templos y casas.
4. Sismo del 23 de septiembre de 1902: tuvo su epicentro en Chiapas y alcanzó una magnitud de 7.7, registrado como el sismo más importante con origen en

ese estado. Las pérdidas fueron debido a los daños en las construcciones reportándose únicamente un deceso.

5. Sismo del 14 de abril de 1907: con una magnitud de 7.6 y epicentro en el estado de Guerrero, este sismo fue destructor en varios municipios del mismo estado sobre todo en Chilapa y Chilpancingo. Además, se sintió en la Ciudad de México (antes Distrito Federal), Jalisco, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tabasco, Tlaxcala y Veracruz.
6. Sismo del 3 de junio de 1932: alcanzó una magnitud de 8.2 y su epicentro fue cerca de las costas de Colima y Jalisco. Es el sismo de mayor magnitud ocurrido durante todo el siglo XX, llegándose a sentir los movimientos fuertes en Uruapan, Michoacán. Se registró un tsunami y los daños materiales totales fueron elevados; provocó la muerte de más de 400 personas solo en la zona del epicentro.
7. Sismo del 28 de julio de 1957: con epicentro en Acapulco, Guerrero y de magnitud de 7.8; este sismo no causó tantas pérdidas humanas, sin embargo, el valor de los daños se calculó en 2 mil millones de pesos de esa época, debido a los cientos de edificios que fueron dañados en la Ciudad de México y otros municipios del estado de Guerrero.
8. Sismo del 19 de septiembre de 1985: de magnitud de 8.1 y con epicentro en las costas de Michoacán, es el sismo más recordado en el país. El número de muertos se elevó hasta 6 mil y algunas fuentes indican que llegaron a ser más de 9 mil. Se sintió en el centro, sur y occidente de la República y causó más de 30 mil heridos, 150 mil damnificados y 30 mil viviendas destruidas, así como

más de 60 mil con daños. Este sismo marcó un antes y después en los procesos constructivos y las normatividades.

9. Sismo del 20 de septiembre de 1985: réplica del sismo del 19 de septiembre del mismo año, alcanzó una magnitud de 7.6 y se sintió en las mismas partes de la República. Terminó por colapsar edificaciones dañadas por el sismo del día anterior. Las pérdidas entre los sismos del 19 y el 20 de septiembre de 1985 se calcularon por más de 4 mil millones de dólares de la época.
10. Sismo del 9 de octubre de 1995: con epicentro en Colima y magnitud de 8, provocó grandes daños en ese estado y en Jalisco. Hubo 58 muertos y más de 45 mil damnificados.
11. Sismo del 19 de septiembre de 2017: tuvo su epicentro en el estado de Puebla, pero con afectaciones en varios estados más del país. Con una magnitud de 7.1, tuvo un saldo final oficial de 369 personas fallecidas y aproximadamente 6000 heridos. Sin mencionar que dejó pérdidas materiales millonarias y cientos de damnificados.



Imagen 2.11. El sismo del 19 de septiembre de 1985 provocó los mayores daños en la Ciudad de México. (Fuente: www.fundacionunam.org.mx; 2012)

2.4.3. Sismicidad en Uruapan, Michoacán.

Uruapan, se encuentra dentro del Estado de Michoacán y éste, de acuerdo con Rojas et al (2013), forma parte de una de las regiones con más alta sismicidad en la República Mexicana debido a la subducción de las placas de Cocos y de Rivera bajo la Placa de Norteamérica a lo largo del margen del Pacífico, como se muestra en la siguiente imagen:

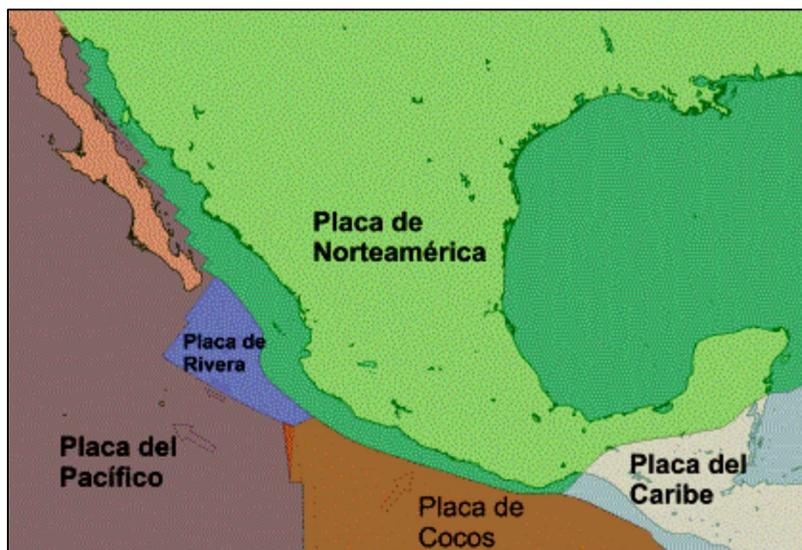


Imagen 2.12. Placas tectónicas que interactúan en la República Mexicana (incluye la microplaca llamada Placa de Rivera). (Fuente: Rojas et al; 2013)

De acuerdo con Martínez (2000), los sismos que pueden afectar a la ciudad de Uruapan pertenecen a tres grupos:

1. Sismos asociados al proceso de subducción.
2. Sismos asociados debido a una sismicidad profunda.
3. Temblores en la placa continental.

Es importante recalcar que, los grupos mencionados anteriormente no representan todas las fuentes sismogénicas del territorio mexicano. Sin embargo, sí son las únicas fuentes relevantes para el peligro sísmico de Michoacán.

Continuando con Martínez (2000), dentro de las fallas que a través de la historia han producido eventos sísmicos importantes en la República Mexicana, una de las más peligrosas se encuentra en el este del país; con una tasa de deslizamiento vertical de aproximadamente 0.4 mm/año, sugiere un período de retorno de 1500 años para una magnitud de 7.0. Ésta es la falla de Acambay, que en 1912 produjo un sismo con magnitud igual a 7.0 y desde entonces no ha presentado eventos significativos.

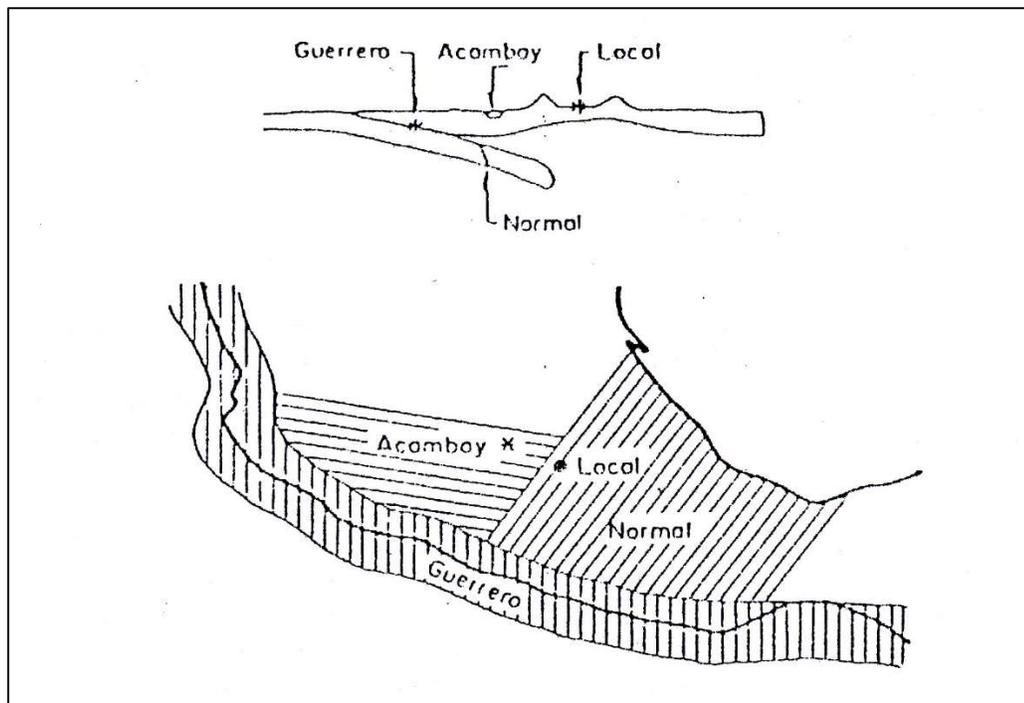


Imagen 2.13. Ubicación de la zona correspondiente a la falla de Acambay, con respecto a los demás mecanismos sismogénicos. (Fuente: Martínez; 2000: 37)

Martínez (2000), menciona basado en Suárez (1986), que durante los siglos XVII, XVIII y XIX, ocurrieron tres o cuatro eventos sísmicos con características similares al terremoto del 19 de septiembre de 1985, por lo que este último no es un hecho sísmico aislado en la historia de México.

Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Prof.(km)	Mag.	Zona
07/06/1911	11:02:42	17.5	-102.5	33	7.6	COSTA GUERRERO-MICH
07/06/1918	21:27:06	18.7	-103.3	33	6.6	COSTA DE MICHOACÁN
21/04/1921	20:01:36	18.2	-103.3	33	6.5	COSTA DE MICHOACÁN
07/08/1925	07:47:48	19	-102	100	6.7	COSTA DE MICHOACÁN
29/06/1935	06:48:54	18.75	-103.5	33	6.9	COSTA DE MICHOACÁN
15/04/1941	19:09:51	18.85	-102.94	33	7.6	COSTA DE MICHOACÁN
20/06/1942	10:02:07	19	-101	100	6.7	COSTA DE MICHOACÁN
30/01/1973	21:01:12	18.412	-103.019	24	7.6	COSTA DE MICHOACÁN
19/09/1985	07:19:49	18.419	-102.468	15	8.1	COSTA DE MICHOACÁN
30/04/1986	07:07:19	18.361	-103.045	22	7	COSTA DE MICHOACÁN
11/01/1997	20:28:26	18.34	-102.58	40	7.1	COSTA DE MICHOACÁN
11/04/2000	13:35:38	17.67	-102.92	10	5.1	COSTA GUERRERO-MICH
09/08/2000	06:41:46	17.94	-102.71	9	7	COSTA GUERRERO-MICH
01/12/2000	08:07:45	17.94	-102.59	16	5.5	COSTA GUERRERO-MICH
09/12/2000	11:01:00	17.99	-105.26	16	5.1	COSTA DE MICHOACÁN
15/06/2001	22:46:21	17.89	-102.73	10	5.3	COSTA GUERRERO-MICH
13/09/2001	15:08:03	17.53	-102.62	10	5.1	COSTA GUERRERO-MICH
19/05/2003	11:27:10	17.95	-105.84	5	6	COSTA DE MICHOACÁN
06/02/2004	13:11:35	18.26	-102.8	10	5	COSTA DE MICHOACÁN
11/08/2006	09:30:41	18.32	-101.27	51	5.9	52 km al SUROESTE de HUETAMO, MICH
13/08/2006	10:14:26	18.23	-103.62	13	5.1	77 km al SUROESTE de COALCOMAN, MICH
26/11/2007	15:56:16	18.5	-101.31	53	5.6	46 km al SUROESTE de HUETAMO, MICH
29/04/2008	05:56:42	18.47	-101.19	60	5.4	36 km al SUROESTE de HUETAMO, MICH
21/01/2011	19:27:33	15.63	-104.17	10	5.3	330 km al SUROESTE de LA MIRA, MICH
02/06/2011	11:29:46	18.47	-101.51	24	5.1	68 km al SUROESTE de HUETAMO, MICH
11/04/2012	17:55:10	17.9	-103.06	16	6.4	79 km al OESTE de LA MIRA, MICH

Imagen 2.14. Sismos de magnitud mayor de 6 grados Richter, con epicentro en Michoacán en los últimos 100 años. (Fuente: Rojas et al; 2013)

Martínez (2000), obtuvo espectros elásticos de diseño para tres zonas representativas de Uruapan, Michoacán; y menciona que, “es de vital importancia para fines de diseño sísmico, contar con espectros elásticos de pseudoaceleraciones que permitan obtener la respuesta de sistemas estructurales, para lograr así un nivel de seguridad razonablemente adecuado.” (Martínez; 2000: 58)

Los espectros de diseño se usan para tomar precisamente en cuenta el peligro sísmico de una determinada zona y éstos dependen entre otros aspectos, de la cercanía del sitio a las fuentes generadoras de temblores y de las condiciones locales del terreno.

A continuación, se anexan los espectros de diseño obtenidos para la ciudad de Uruapan para sismos de subducción, sismos de fallamiento normal y sismos en la placa continental (falla de Acambay):

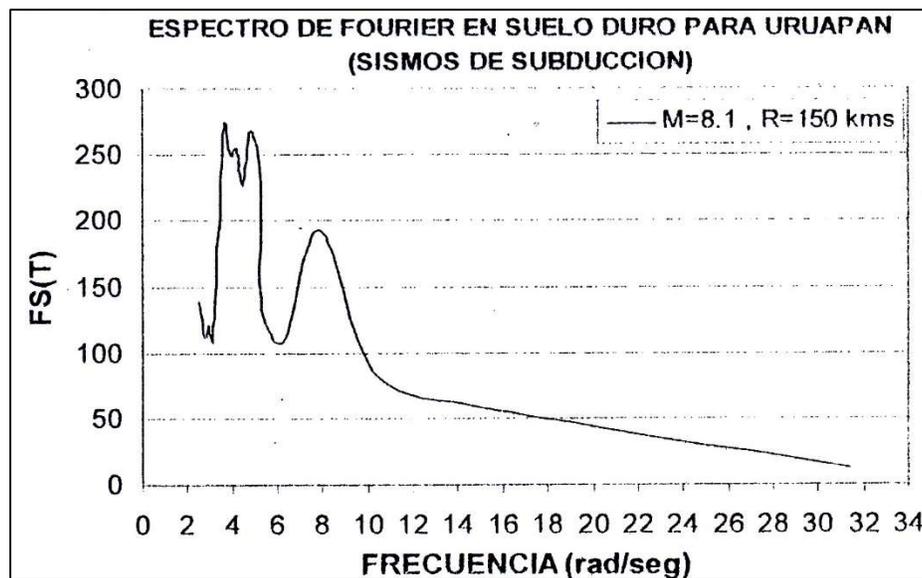


Imagen 2.15. Espectro de Fourier de sismos de subducción para Uruapan. (Fuente:

Martínez; 2000: 62)

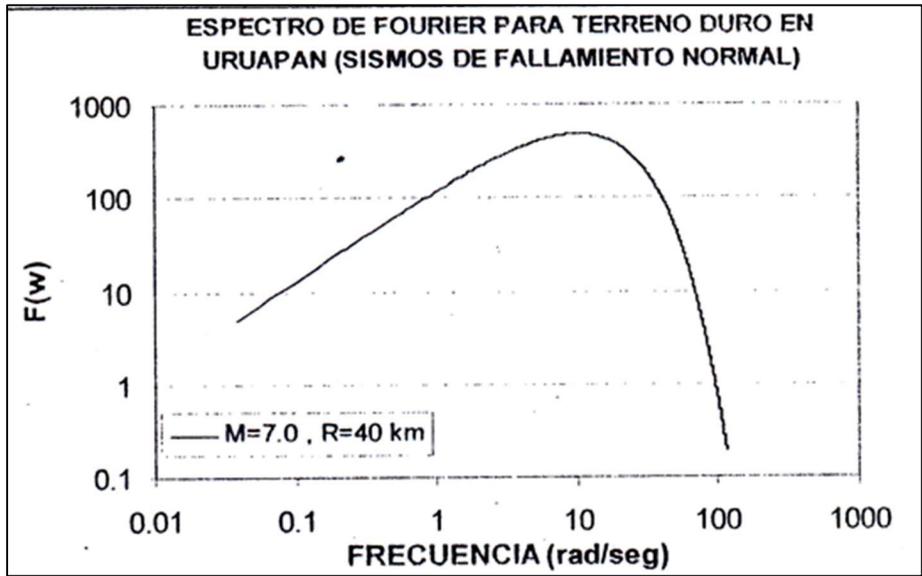


Imagen 2.16. Espectro de Fourier de sismos de fallamiento normal para Uruapan.

(Fuente: Martínez; 2000: 64)

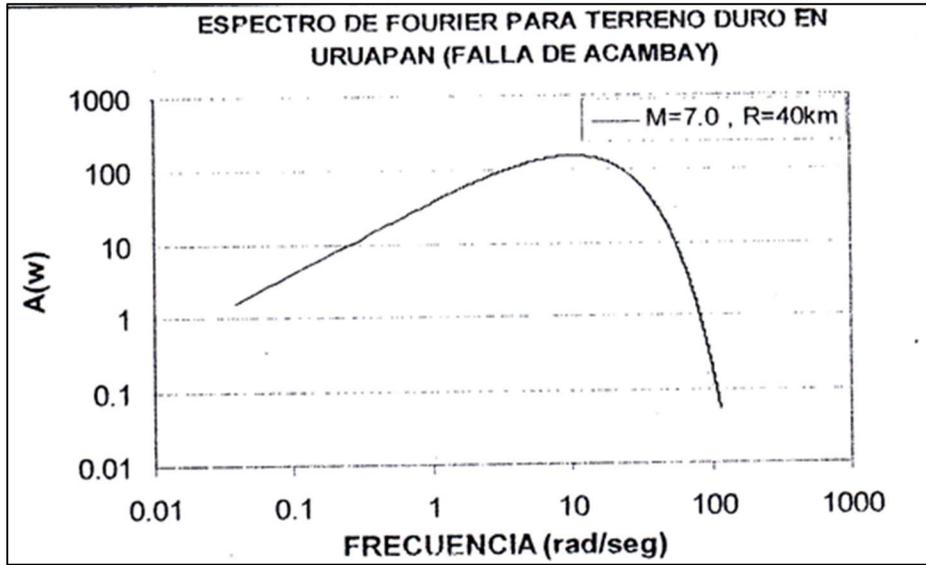


Imagen 2.17. Espectro de Fourier de sismos en la placa continental para Uruapan.

(Fuente: Martínez; 2000: 65)

Sin embargo, para poder estimar los efectos reales que podría tener un sismo en determinado lugar, resulta primordial conocer las características dinámicas de cada estrato en la zona donde se realiza el estudio. Martínez (2000) utilizó tres sondeos profundos para obtener dichas propiedades dinámicas, los cuales se ubicaron de la siguiente manera en Uruapan, Michoacán:

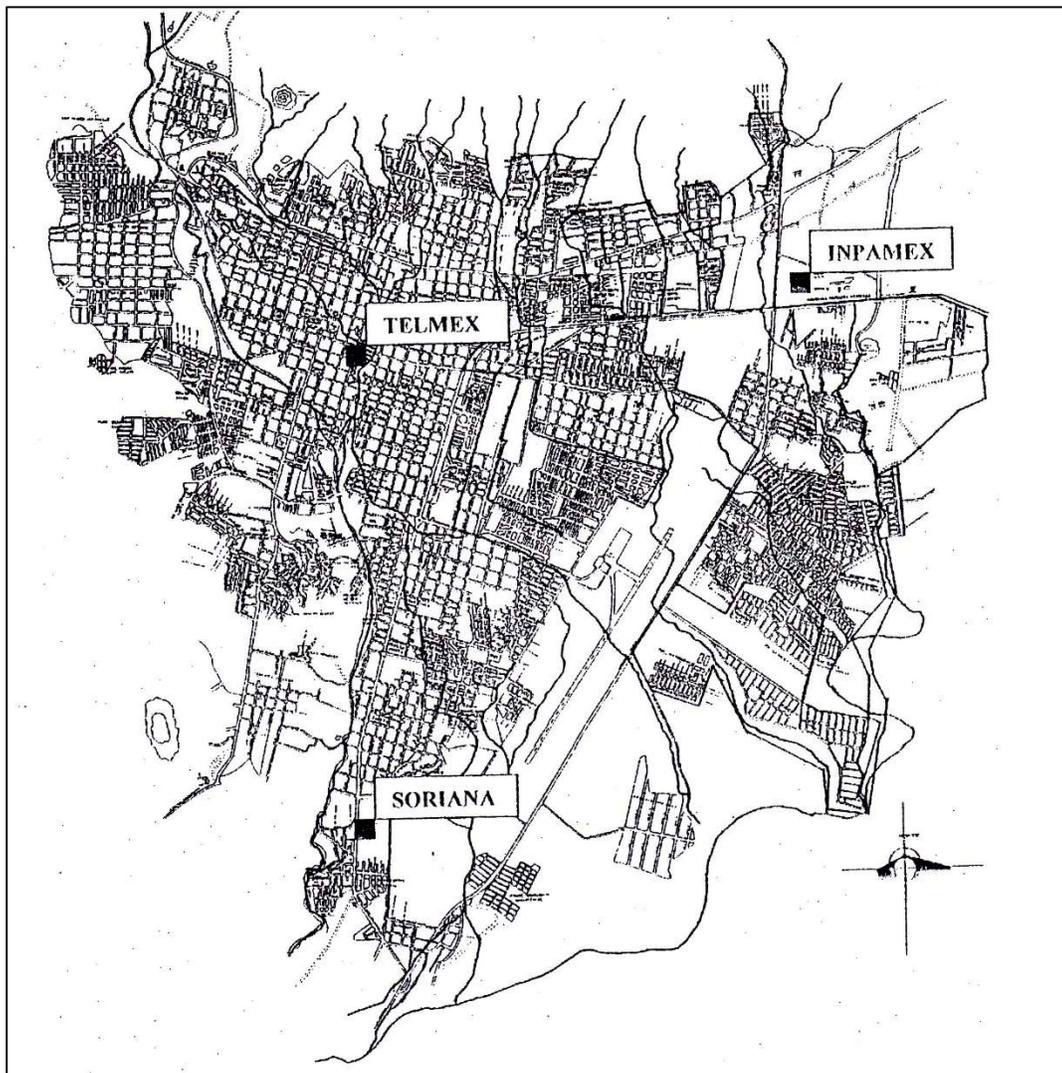


Imagen 2.18. Ubicación de los sondeos profundos en Uruapan. (Fuente: Martínez; 2000: 66)

Utilizando el espectro de Fourier, así como funciones de transferencia, Martínez (2000) obtuvo los espectros de amplitudes de Fourier. Sin embargo, los datos proporcionados por estos espectros de amplitudes en realidad solo aportan datos de la intensidad del temblor, pero éstos no son suficientes para calcular un espectro de respuesta; por ello que dicho autor, basado en la Teoría de Vibraciones Aleatorias (la cual no se aborda en la presente investigación), pudo obtener los espectros de respuesta para la ciudad de Uruapan.

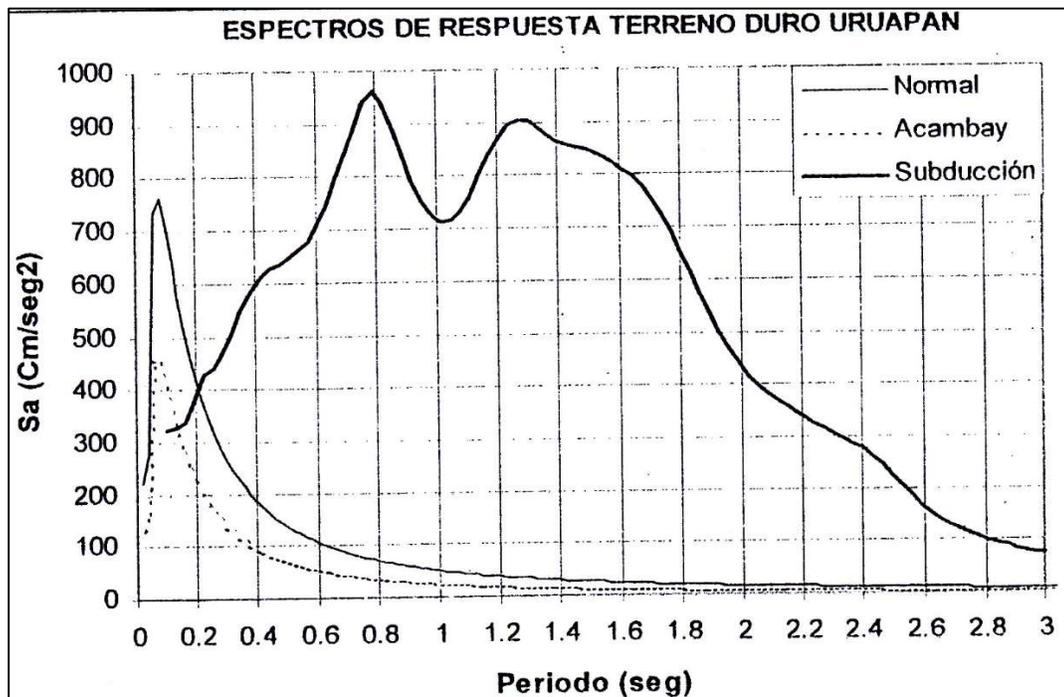


Imagen 2.19. Espectro de respuesta en terreno duro Uruapan. (Fuente: Martínez; 2000; 77)

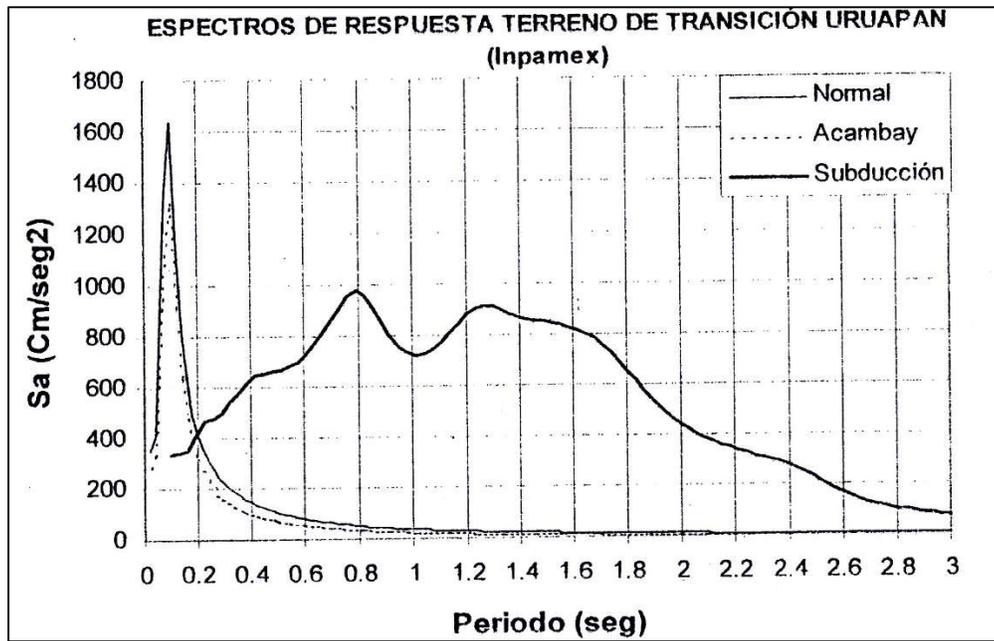


Imagen 2.20. Espectros de respuesta terreno de transición Uruapan. (Fuente: Martínez; 2000: 78)

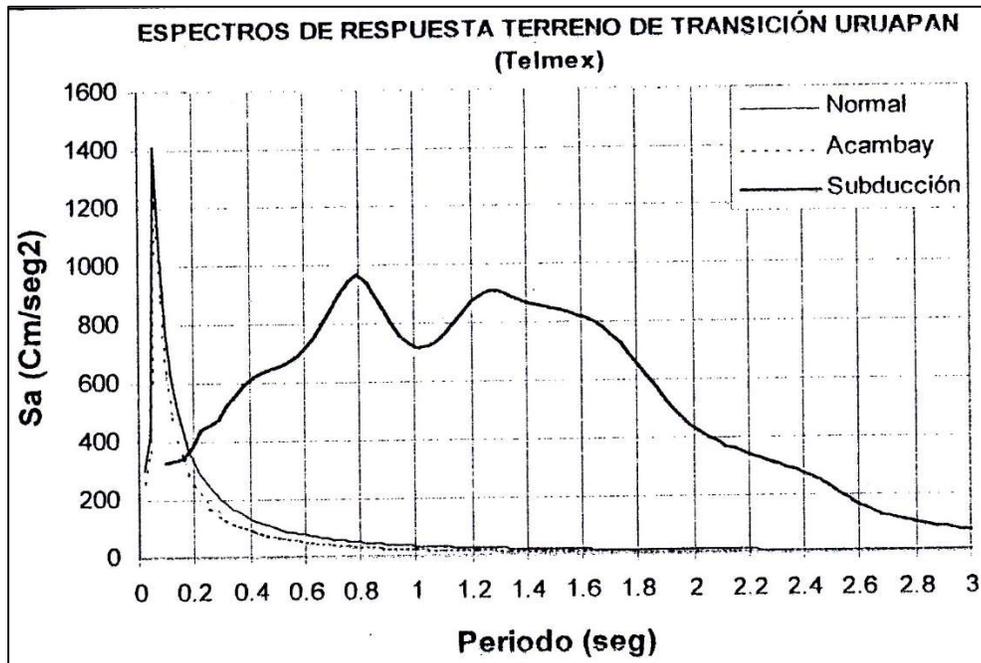


Imagen 2.21. Espectros de respuesta terreno de transición Uruapan. (Fuente: Martínez; 2000: 78)

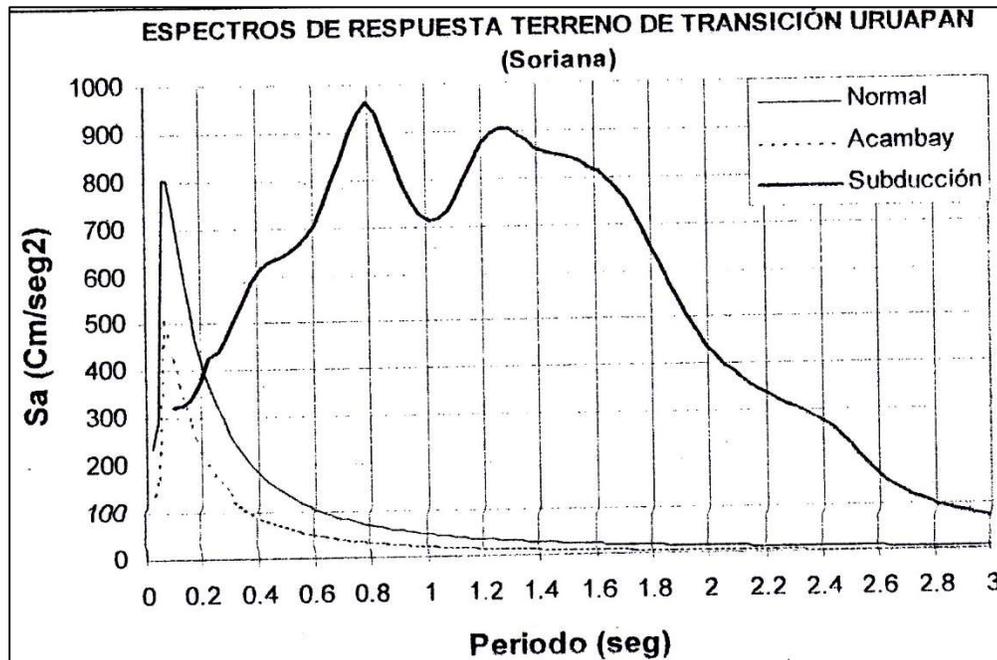


Imagen 2.22. Espectros de respuesta terreno de transición Uruapan. (Fuente: Martínez; 2000: 79)

Martínez (2000), menciona en su estudio que en términos generales la ciudad de Uruapan está principalmente conformada por suelos firmes y suelos de transición. Además, que de acuerdo con los datos arrojados por su investigación podría esperarse que durante sismos costeros intensos las construcciones en la ciudad de Uruapan de 8 ó 9 niveles se puedan verse sometidas a aceleraciones importantes. Por otro lado, para edificaciones de 1 ó 2 niveles la susceptibilidad de éstas a sufrir daños aumenta durante sismos de fallamiento normal y a sismos atribuibles a fallas continentales como es el caso de la falla de Acambay.

Cabe mencionar que, debido a la falta de datos de mecánica de suelos de la ciudad, no es posible saber si existen zonas dentro de la ciudad con amplificaciones locales.

CAPÍTULO 3

VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES

El presente capítulo de este trabajo abarca los aspectos fundamentales que se consideran para evaluar la vulnerabilidad que puede presentar una estructura edificada ante sismos. Dentro de estos aspectos, se encuentran los métodos utilizados para dicho objetivo y la relación entre éstos y las estructuras de adobe.

3.1. Metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica.

Todas las estructuras poseen una vulnerabilidad sísmica que depende directamente del criterio utilizado durante su proceso de diseño; dicha vulnerabilidad es independiente a la peligrosidad sísmica del lugar en el que éstas se encuentren y se considera una característica intrínseca de las mismas.

De acuerdo con Peña (2010), el daño estructural que pueda sufrir una edificación de carácter histórico tiene afectaciones más allá de lo económico y de las pérdidas humanas que pueda tener como consecuencia; sino que también presenta un impacto a nivel cultural y patrimonial, por lo que el estudio de la seguridad estructural de dichas edificaciones es de suma importancia. Lo anterior, conlleva a una comprensión total del comportamiento estructural del inmueble y de las características propias de sus materiales, al mismo tiempo que permita fundamentar un criterio o varios, para la conservación de este tipo de construcciones; es decir, salvaguardar los valores intrínsecos del inmueble.

Estos valores se refieren a todo lo intangible o tangible, que se pudiera perder en caso de que la edificación desapareciera o ésta sufriera un colapso total. De forma general se pueden clasificar cinco valores intrínsecos:

- **Arquitectura.** Éste se refiere no solo al estilo arquitectónico, sino a los usos y modificaciones que ha sido sometida la edificación, así como la distribución de espacios.
- **Arte.** Engloba todos aquellos elementos que le proporcionan una identidad al inmueble, tanto su arquitectura como frescos y pinturas murales, aquellos elementos de adorno (muros, pisos, adornos en columnas, etc.) y bienes muebles que son conservados dentro de la edificación.
- **Económico.** Es común que estas edificaciones sean atracciones principales de alguna ciudad, creando beneficios económicos directos e indirectos.
- **Historia.** Uno de los más importantes, pues no sólo se refiere a la época en la que se realizó la construcción del inmueble, sino también a todos los eventos de los que ha sido testigo.
- **Ingeniería.** Parte del valor cultural de un edificio histórico radica en su concepción estructural, ya que muestra de forma tangible las técnicas de construcción que en su tiempo fueron utilizadas, así como los materiales que se emplearon, constituyendo un legado histórico de los antiguos constructores.

Retomando la vulnerabilidad sísmica, Sánchez (2013), menciona que la naturaleza de los daños sufridos por estructuras históricas depende de muchas variables, entre ellas el estado de deterioro, las características de la sollicitación

sísmica, de los conectores entre muros, la calidad de los materiales y sus propiedades, el tipo de suelo (siendo éste de gran importancia), etc.



Imágenes 3.1. Daño actual en un muro del edificio de la Casa de la Cultura en Uruapan, Michoacán, desde dos perspectivas. (Fuente: Propia; 2019)

Existen diferentes métodos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, los cuales tienen distintos criterios en los que se fundamentan; dicha evaluación puede obtenerse mediante modelos numéricos del daño sísmico en estructuras, de pruebas de laboratorio o de la inspección de las edificaciones. Con lo anterior, se puede distinguir entre dos clasificaciones: la vulnerabilidad observada, que se obtiene a través de la observación de los daños posteriores a un evento sísmico y de su análisis estadístico para algún tipo de estructura definido; y la vulnerabilidad calculada, que se

obtiene por medio de un análisis matemático mediante un modelo estructural analítico, o a partir de ensayos en laboratorio de modelos a escala y con resultados establecidos en términos de probabilidad.

3.1.1. Vulnerabilidad observada.

Sánchez (2013), menciona que los métodos que tienen cabida dentro de esta clasificación tienen por objetivo estudiar la relación que existe entre las características arquitectónico-estructurales de los edificios antiguos, de tal forma que se pueda prever de manera simple el grado de seguridad, como un indicador de los modos y mecanismos de daño más probables.

Sin embargo, estos métodos simplificados requieren que la estructura que va a ser analizada sea regular y simétrica, así como también que los sistemas de cubierta (techumbres) creen diafragmas rígidos, y que el modo de falla ocurra por cortante en el plano de los muros. De acuerdo con Meli (1998), en la mayoría de las estructuras históricas las últimas dos condiciones no se llegan a cumplir, por lo que el método simplificado no se convierte en garantía de seguridad de la construcción; pero sí se obtiene una idea general del estado sismorresistente de la estructura, debiéndose complementar ésta, con revisiones adicionales. Tres de los métodos simplificados son:

1. Método simplificado de revisión sísmica.
2. Índice de seguridad sísmica.
3. Índice de densidad de muros.

Los cuales, al ser aplicados tienen la finalidad de convertir las características geométricas de la estructura a un índice escalar, el cual aumenta a medida que mayor

sea la regularidad de la misma. Asimismo, estos métodos suponen muros en direcciones ortogonales y una fuerza sísmica actuante en dirección normal a éstos.

3.1.1.1. Método simplificado de revisión sísmica.

De acuerdo con Meli (1998), el método simplificado consiste en comparar las fuerzas actuantes producidas por el sismo y la fuerza sísmica resistente de la estructura. Considerando la fuerza sísmica total (V_A), como el producto del peso total de la edificación (W) multiplicado por un coeficiente sísmico (c):

$$V_A = cW$$

Esta fuerza sísmica actuante es la misma para cada dirección en que actúe el sismo, sin embargo, la edificación cuenta con resistencias diferentes en cada una de sus direcciones principales. Si se supone que todos los muros tienen su capacidad total para resistir la fuerza cortante, entonces la fuerza sísmica resistente (V_R) es el resultado de sumar las áreas efectivas transversales (A_m) de todos los muros alineados en la dirección en que se está analizando, multiplicadas por el esfuerzo cortante resistente de la mampostería (V_m):

$$V_R = \sum A_m V_m$$

De lo anterior, se puede establecer entonces un factor de seguridad (F_S) sísmica que resulta como:

$$F_S = \frac{V_R}{V_A}$$

3.1.1.2. Índice de seguridad sísmica.

Meli (1998), menciona también que considerando materiales de resistencia a cortante similares y coeficientes sísmicos iguales para edificios con condiciones de actividad sísmica y tipo de estructura semejantes, se puede definir un índice de seguridad sísmica:

$$I_s = \frac{\sum A_m}{W}$$

De la ecuación anterior, “Is” es la relación entre la suma de las áreas efectivas de todos los muros alineados en la dirección en que se efectúa la revisión, dividida entre el peso total del edificio. Se tomará como índice de la edificación la menor resultante de los valores obtenidos para las dos direcciones principales. El índice cuenta con unidades de área entre peso (o fuerza).

3.1.1.3. Índice de Densidad de Muros.

Una de las estrategias más simplistas para determinar la seguridad en estructuras históricas, es mediante el cálculo del porcentaje de superficie en planta ocupada por los muros estructurales en cada dirección principal (longitudinal y transversal), dicho indicador se conoce como “densidad de muros”.

$$d = \frac{\sum F_i A_m}{A_p}$$

Donde “d” es la densidad de muros y es adimensional; se puede calcular para la dirección longitudinal y para la dirección transversal, “Ap” es el área de la planta tipo, y $\sum F_i A_m$ se refiere a la suma del área transversal de todos los muros (en cada dirección)

multiplicada por un factor que reduce la efectividad de los muros de muy poca longitud y que vale:

$$F_i = \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2 \leq 1$$

Es importante resaltar que en la ecuación para calcular el índice de densidad de muros “d”, solo se toma en cuenta el área de éstos y no su peso; por lo tanto, este parámetro debe emplearse con mucha cautela y solamente con fines indicativos y/o comparativos.

De acuerdo con Meli (1998), las principales limitaciones de este índice son:

1. Los pesos entre edificios con mismas áreas cubiertas pueden variar bastante, ya que depende de la altura del edificio, así como de la presencia de elementos muy pesados (grandes cúpulas centrales, torres, etc.).
2. Además de la falla por cortante en los muros, se pueden presentar empujes normales al plano de los muros; el índice no es representativo de estos últimos.
3. La resistencia puede estar regida por otras condiciones diferentes a la suma de las capacidades de todos los muros en caso de que la distribución de éstos no sea uniforme y/o simétrica.

3.1.2. Vulnerabilidad Calculada: Método del Índice de Vulnerabilidad.

De acuerdo con Caicedo et al (1994), a raíz de los terremotos ocurridos desde 1976 en Italia y gracias al trabajo de los investigadores, se han podido identificar algunos parámetros de gran importancia que dominan el daño en las edificaciones. Dichos parámetros se han estandarizado mediante la aplicación de un formulario de

levantamiento, el cual de forma rápida y sencilla determina la vulnerabilidad sísmica de edificios existentes; método que ha sido utilizado desde el año de 1982. “El resultado de la combinación de estos parámetros, por medio de una escala predefinida, en un único valor numérico llamado índice de vulnerabilidad es lo que se conoce hoy en día como el método del índice de vulnerabilidad.” (Caicedo et al; 1994: 45)

3.1.2.1. Cálculo del índice de vulnerabilidad.

Para el cálculo del índice de vulnerabilidad es necesario utilizar la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, obteniendo una suma ponderada de los valores numéricos que reflejan la calidad sísmica de diferentes parámetros estructurales y no estructurales, los cuales se consideran como importantes en el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería.

De acuerdo con Sánchez (2013), dicho método utiliza durante el análisis datos que son aproximados a una cierta tipología estructural, es decir, este método se apoya en el hecho de que existen estructuras que cuentan con muchas similitudes (sistema estructural, condiciones de carga, etc.) y que por lo tanto después de un evento sísmico tienden a sufrir daños similares.

“A cada parámetro se le atribuye, durante las investigaciones de campo, una de las cuatro clases A, B, C, D siguiendo una serie de instrucciones detalladas con el propósito de minimizar las diferencias de apreciación entre los observadores. A cada una de estas clases le corresponde un valor numérico K_i que varía entre 0 y 45, como se observa en la tabla. Así, por ejemplo, si el parámetro número cuatro “posición del

edificio y de la fundación” corresponde a una configuración insegura desde el punto de vista sísmico, se le asigna la clase D y el valor numérico $K_4 = 45$.” (Caicedo et al; 1994: 46).

Parámetros	Clase K_i				Peso W_i
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.0
2. Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3. Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5
4. Posición edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5. Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1.0
6. Configuración en planta	0	5	25	45	0.5
7. Configuración en elevación	0	5	25	45	1.0
8. Distancia máxima entre los muros	0	5	25	45	0.25
9. Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.0
10. Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11. Estado de conservación	0	5	25	45	1.0

Imagen 3.2. Escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini. (Fuente: Caicedo et al; 1994: 47)

Además, cada parámetro se ve afectado por un coeficiente de peso “ W_i ”, que varía entre 0.25 y 1.5. Dicho coeficiente establece la relevancia que tiene cada uno de los parámetros dentro del sistema resistente del edificio. De esta forma, el índice de vulnerabilidad VI se define por la siguiente expresión:

$$VI = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i$$

Con lo anterior, se puede concluir que el índice de vulnerabilidad establece una escala continua de valores que van desde 0 hasta 382.5 que es el máximo valor posible. Cabe mencionar, que los parámetros 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11 son de naturaleza

cuantitativa o descriptiva y estos quedan definidos por instrucciones que están establecidas en el método; y los parámetros 3, 6, 7 y 8 son características de naturaleza cuantitativa, los cuales requieren de operaciones matemáticas simples que también están establecidas en el método.

3.1.3. Métodos empleados en México para evaluar la vulnerabilidad sísmica.

En la República Mexicana, distintos investigadores de universidades con gran prestigio en el país han utilizado una variante de la metodología escala MSK-92 llamada también Escala Macrosísmica Europea; la cual fue de uso para evaluar la vulnerabilidad en la colonia Roma del Distrito Federal (ahora Ciudad de México), México, la cual fue calibrada con datos obtenidos del gran sismo de septiembre de 1985. Dicho método fue empleado también para evaluar algunas de las ciudades del estado de Guerrero (lugar de alta sismicidad en México).

A continuación, se muestra la clasificación de los sistemas constructivos que son considerados en la metodología ya mencionada, donde una clasificación “A” es el más vulnerable y la clasificación “F” menos vulnerable:

Tipos de Construcción	Clases de Vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E	F
a. Adobe. Tapial. Mampostería de piedra unida con barro.	•					
b. Tabiquería de madera rellena de adobe.	•					
c. Mampostería de piedra unida con mortero de cemento con techo ligero.		•				
d. Mampostería de ladrillo o bloques sin refuerzos.		•				
e. Mampostería de ladrillo sin refuerzo con piso de hormigón armado.			•			
f. Mampostería confinada de ladrillo.				•		
g. Madera.				•		
h. Concreto reforzado sin diseño sísmico (construidos entre 1900 y 1930).			•			
i. Concreto reforzado con nivel mínimo de diseño sísmico (construidos entre 1930 y 1963).				•		
j. Concreto reforzado con nivel moderado de diseño sísmico (construidos entre 1963 y 1980).					•	
k. Concreto reforzado con nivel alto de diseño sísmico (construidos entre 1980 a la fecha).						•

Imagen 3.3. Clasificación de los tipos de construcción en las clases de vulnerabilidad según la escala MSK-92. (Fuente: Aguilar et al; 2008: 4)

De acuerdo con la escala de la metodología MSK-92, las edificaciones hechas a base adobe y mampostería sin refuerzo son las más vulnerables respecto a todas las estructuras que se consideran en dicha escala.

“En México hay pocas metodologías propias para el estudio de la vulnerabilidad y generalmente se emplean metodologías tomadas de Europa o los Estados Unidos, sin embargo, dentro de las metodologías que se han desarrollado en México se encuentra la del CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres). Este centro de investigación propuso e identificó la vulnerabilidad de las construcciones de cada uno de los estados de la República Mexicana en una primera instancia solo considerando el material con el que están edificadas”. (Aguilar et al; 2008: 4)

De acuerdo con Aguilar et al (2008), debido a lo simplistas que son los métodos mencionados anteriormente (tanto la metodología MSK-92 como el índice de vulnerabilidad), éstos carecen de elementos para poder obtener una curva de vulnerabilidad, la cual tiene como finalidad predecir el daño que podrían sufrir edificaciones de un mismo tipo, a nivel estructural cuando se presente un evento con cierta intensidad sísmica.

3.2. Métodos de análisis.

En la actualidad gracias al apoyo de las herramientas computacionales es posible el estudio de estructuras complejas, entre las que se encuentran la mayoría de los edificios históricos. La creación de modelos numéricos que simulen el comportamiento real de una estructura histórica no es tan simple, pues en primera

instancia es necesario que el analista sepa identificar los elementos estructurales de aquellos que son simplemente decorativo u ornamentales.

Asimismo, de acuerdo con Aguilar (2012), es importante que se tengan conocimientos sobre los materiales y su comportamiento, de los procesos constructivos de la época de la estructura y de la historia en general del edificio. Aunado a ello, establecer las condiciones de continuidad de elementos en estructuras de mampostería se torna complicado debido a que a diferencia de las estructuras actuales (de acero o concreto) donde las uniones de los elementos están de tal forma que se restringen los movimientos y las rotaciones; en los procesos constructivos de antaño los elementos eran simplemente apoyados y/o adosados, lo cual permite movimientos y rotaciones en estas zonas.

3.2.1. Métodos de análisis elástico lineal.

“Los métodos elásticos son aquellos en los que se admite que el material tiene un comportamiento lineal tanto para esfuerzos de compresión como de tensión. O sea que, por una parte, las deformaciones internas aumentan proporcionalmente a las cargas aplicadas, y por otra, estas deformaciones desaparecen en cuanto cesan las acciones de carga.” (Aguilar; 2012: 26)

Es decir, los modelos lineales de los materiales se basan en la consideración de que las propiedades ante esfuerzos de tensión y de compresión son las mismas y no influye en dichas propiedades, el aumento o decremento de cargas.

Sin embargo, este tipo de análisis no es completamente adecuado al reproducir el comportamiento real de estructuras históricas de mampostería, ya que no considera

que los materiales de dichas estructuras cuentan con muy bajas resistencias a tensión y los desplazamientos relativos que se presentan en los bloques ante sollicitaciones excesivas.

3.2.2. Métodos de análisis no lineal.

Debido a lo que conlleva el análisis de una estructura histórica, “la solución más racional es realizar análisis no lineales, es decir, que los modelos de los materiales consideren tanto la pérdida gradual de linealidad en compresión y la resistencia nula a esfuerzos de tensión, y consecuentemente, la redistribución de esfuerzos en los elementos estructurales.” (Aguilar; 2012: 27)

Bazán et al (2002), mencionan que, aunque teóricamente se pueden emplear los métodos analíticos para analizar estructuras no lineales de varios grados de libertad, esto resulta impráctico debido a que se tendrían que realizar un número excesivo de cambios en las ecuaciones de movimientos, con diferentes soluciones y siendo necesario el cálculo de nuevas condiciones iniciales en cada intervalo de comportamiento. Por esto, que el análisis de estructuras no lineales, incluso las más sencillas, también se lleva a cabo con métodos numéricos similares a los utilizados para estructuras elásticas.

3.2.3. Análisis dinámico.

“El cálculo de los efectos que sobre las estructuras producen las acciones externas, se realiza usualmente considerando que estas últimas tienen valores constantes en el tiempo, o sea, que actúan de forma estática. Desde luego, esto es válido para el peso propio y aún para otras sollicitaciones que varían en forma lenta

con el tiempo como los hundimientos de la cimentación y los cambios volumétricos debidos a la contracción y a variaciones de temperatura. También acciones que son intrínsecamente dinámicas, como los efectos de viento y de sismo, se suelen modelar mediante fuerzas estáticas equivalentes: presiones laterales uniformes para el caso de viento, y fuerzas de inercia concentradas para el de sismo.” (Meli; 1998: 88)

Lo anterior es completamente válido también en el análisis de estructuras históricas, que por su rigidez intrínseca no permiten la amplificación de las fuerzas externas de manera importante debido a la vibración del propio edificio. Sin embargo, es necesario efectuar análisis dinámico en edificios históricos cuando por ejemplo se tienen efectos de vibraciones de relativamente alta frecuencia, las cuales son pueden ser producidas por el tráfico o por equipos vibratorios que estén dentro o cercanos al edificio.

Estos análisis dinámicos se llevan a cabo en diferentes niveles y el proceso más básico es para determinar los valores característicos del sistema dinámico, es decir, frecuencias y modos de vibrar.

Cabe mencionar que los métodos de análisis dinámicos implican una mayor labor numérica que los análisis elásticos y, sin embargo, hay estructuras históricas en los que el análisis dinámico elástico es prácticamente imposible de aplicar como en los monolitos o elementos de grandes bloques superpuestos.

3.3. Comportamiento sísmico de edificaciones de adobe.

De acuerdo con la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C. (1999), las construcciones de adobe que no cuentan con ningún tipo de refuerzo han tenido

comportamientos deficientes ante solicitaciones generadas por eventos sísmicos. Ejemplo de ello, se hace mención del sismo que tuvo fecha el 14 de septiembre de 1995 con una magnitud de 7.3 en escala de Richter frente a las costas de Guerrero en la República Mexicana, el cual causó mayor afectación principalmente en las edificaciones construidas con muros de adobe sin refuerzo de la ciudad de Ometepepec.

Bazán et al (1982), mencionaban con anterioridad que la causa de los frecuentes derrumbes en construcciones de adobe producidos por sismos se debe no solo a las pobres propiedades mecánicas del material y al intemperismo al que es expuesto, sino también se debe a que dichas viviendas suelen presentar graves defectos de estructuración (alturas considerables, muros largos sin confinamiento y sin refuerzo).

De forma general, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C. (1999), menciona las siguientes causas de los daños generados por sismos en casas de adobe:

1. Baja capacidad a tensión de las piezas de adobe debido a la pobre calidad de los materiales.
2. Falta de adherencia entre las piezas, ya que suelen colocarse superpuestas o donde el mortero es fabricado con el mismo material que las piezas.
3. Ausencia de confinamiento perimetral en los muros, así como en puertas y ventanas de los mismos.
4. Inadecuada liga entre las esquinas de los muros transversales, aún con el traslape de piezas.

5. Peso excesivo en la techumbre, debido al uso de tejas o rellenos de tierra (conocidos como entortados).
6. Falta de mantenimiento general en la estructura.

3.3.1. Propiedades mecánicas y geométricas de las estructuras de adobe.

De acuerdo con Bazán et al (1982), las edificaciones hechas a base de mampostería de adobe tienen la característica de que las piezas, así como el mortero utilizados durante el proceso constructivo, poseen las mismas propiedades por ser fabricados normalmente con el suelo natural del lugar de construcción al que se le agrega paja y algunas veces arena. Por estas razones, es prudente considerar el adobe como un material homogéneo e isótropo.

Los mismos autores determinaron las siguientes propiedades para mampostería típica de adobe: peso volumétrico, $1,800 \text{ kg/m}^3$; módulo de elasticidad, $2,500 \text{ kg/cm}^2$; resistencias de 13.4 kg/cm^2 a compresión, 1.2 kg/cm^2 a cortante y 2.6 kg/cm^2 a tensión por flexión. Ellos obtuvieron estos valores mediante ensayos en especímenes secos no intemperizados, por lo que el valor para el coeficiente de Poisson es igual a 0.3 (correspondiente a suelo seco). Es importante tener en cuenta que la humedad provoca una disminución apreciable en la resistencia y rigidez de este material.

3.3.2. Idealización estructural.

Bazán et al (1982), mencionan que, a diferencia de la representación que es común hacerse para edificios (en la que éstos se representan como estructuras esqueléticas con masas concentradas en los techos), en las edificaciones de adobe y

para fines de análisis sísmico, tanto la masa como la rigidez de las mismas, están distribuidas de manera uniforme en las tres dimensiones. Por ello, que se debe recurrir al método de elementos finitos, considerado el más adecuado para analizar estructuras complejas.

3.4. Método de elementos finitos.

De acuerdo con Bazán et al (2002), en la actualidad el método del elemento finito ha facilitado el análisis de estructuras complejas, como muros de composición y/o geometría complicada (como es el caso de las estructuras históricas de adobe) y las soluciones que se obtienen mediante la correcta aplicación de este método a problemas elásticos lineales se pueden considerar exactas.

El método del elemento finito es un método numérico que básicamente “consiste en dividir la estructura en subregiones, denominadas elementos finitos, dentro de los cuales se prescribe la forma en que varían los desplazamientos en función de los valores correspondientes a ciertos puntos denominados nudos. Como en el caso de vigas y barras, los posibles desplazamientos y giros nodales constituyen grados de libertad. Con base en las leyes constitutivas del material (esto es, en las relaciones que existen entre esfuerzos y deformaciones; por ejemplo, la ley de Hooke) y en la función adoptada para prescribir los desplazamientos, se determina la matriz de rigideces de cada elemento, usando el principio de trabajos virtuales. Esta matriz está referida a los grados de libertad de los nudos del elemento.” (Bazán et al; 2002: 76)

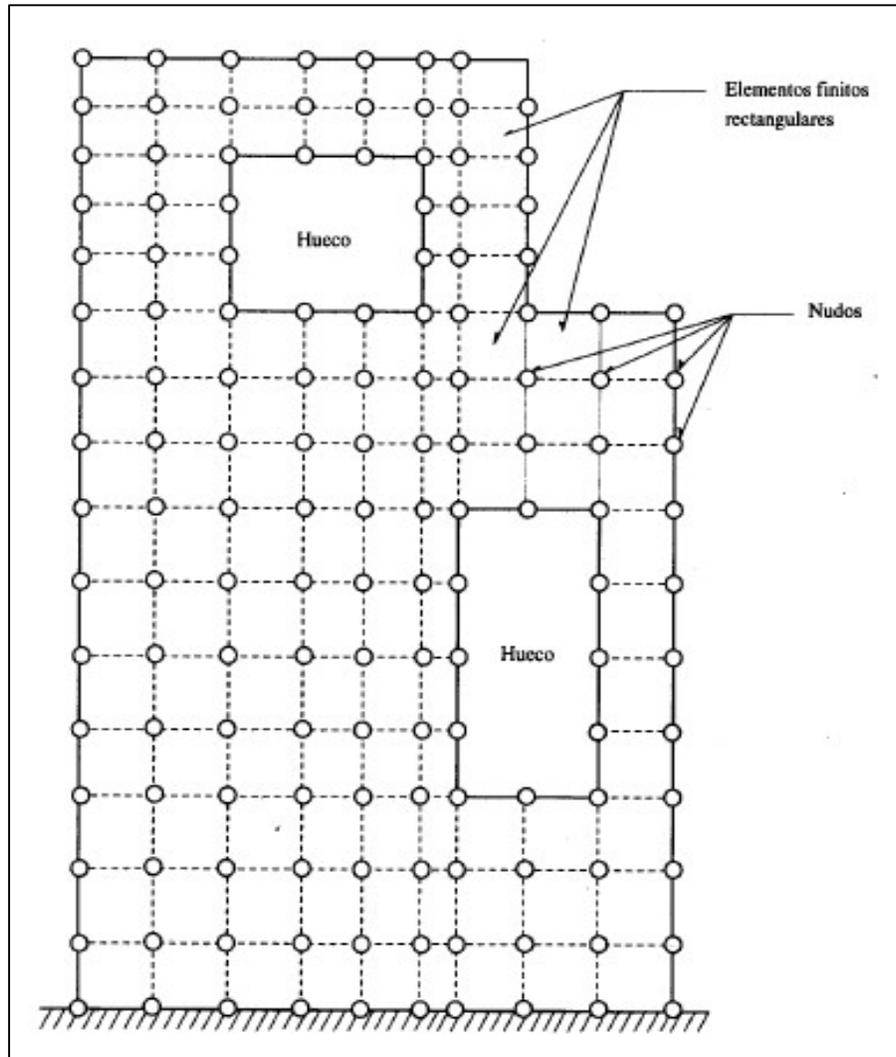


Imagen 3.4. Malla de elementos finitos para analizar un muro con huecos. (Fuente: Bazán et al; 2002: 77)

Cabe mencionar que, aunque los elementos finitos de este método pueden poseer formas diferentes como triángulos o cuadriláteros, usualmente para el análisis de muros se utilizan elementos rectangulares en donde sus nodos presentan grados de libertad referentes únicamente a los desplazamientos horizontales y verticales; aunque también existen elementos que pueden considerar las rotaciones nodales.

El método del elemento finito es utilizado únicamente por medio de computadoras y existen diversos programas que permiten su aplicación para el análisis de estructuras.

3.4.1. Notación matricial.

Es necesario comprender que los métodos matriciales, son indiscutiblemente necesarios al hacer uso y aplicación del método de elementos finitos; pues, dada la magnitud de las ecuaciones que se emplean, es necesaria la simplificación de las ecuaciones de los elementos de rigidez.

Una matriz se define como un arreglo rectangular de cantidades, las cuales se disponen en columnas y filas, este arreglo tiene como fin auxiliar para la expresión y solución de sistemas algebraicos de ecuaciones.

Anteriormente se mencionó que para la aplicación de dicho método es necesario el uso de sistemas computacionales, precisamente debido a que dan la posibilidad de resolver miles de ecuaciones en cuestión de minutos y por ende la solución de métodos matriciales.

3.4.2. Generalidades del uso del método del elemento finito en el análisis estructural.

Existen dos acercamientos generales al entendimiento y aplicación del método de elementos finitos. El primero de ellos se basa en el uso de fuerzas internas como las incógnitas del problema; éste es llamado el método de fuerza o flexibilidad.

El segundo acercamiento, asume el desplazamiento de los nodos como las incógnitas del problema y a éste se le conoce como el método de desplazamiento o

método de rigidez. Siendo el método de rigidez el que requiere que los elementos estudiados estén interconectados por nodos comunes entre sí, a lo largo de un eje o superficie común, para que cuando las deformaciones se presenten los nodos sigan conectados a un nodo común.

Así, estos dos acercamientos tienen como resultado dos incógnitas que corresponden a las fuerzas y a los desplazamientos. Las ecuaciones gobernantes son expresadas en términos de desplazamientos nodales usando las ecuaciones de equilibrio en cada nodo, de tal forma que se pueda aplicar la ley que relaciona la fuerza con los desplazamientos.

3.5. Método simplificado para análisis sísmico de estructuras de adobe.

Continuando con Bazán et al (1982), estos autores establecieron mediante un análisis numérico realizado en el programa desarrollado por la Universidad de California en Berkeley y que llevó por nombre SAP IV (cuyo propósito general era el análisis mediante elementos finitos para análisis estructural lineal y con cargas estáticas o dinámicas), un método aproximado para calcular las fuerzas sísmicas de diseño para estructuras de adobe de un nivel y planta rectangular.

Como resultado, se utiliza la ecuación usual de los métodos estáticos para obtener la fuerza cortante máxima a que se verá sometida una estructura de adobe:

$$V = C_s W'$$

En la ecuación anterior se debe considerar que el peso W' no es el total de la estructura y; “ C_s ” corresponde a la ordenada espectral o coeficiente de diseño.

Asimismo, el momento flexionante por unidad de longitud generado en las esquinas de una estructura de adobe, se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$M = C_s w x^2 / k$$

En donde: “Cs” es la ordenada espectral, “k” obtiene un valor igual a 5 si existe viga-cadena o 20 si no la hay; “x” toma el valor menor entre H (altura del muro) y L/2 y “w” es igual al peso por unidad de longitud, que se determina considerando el peso de una franja de altura unitaria del muro frontal más la mitad del peso del techo y, en su caso, el de la viga.

Cabe mencionar que, utilizando este método simplificado, los resultados que se pueden obtener suelen ser del 90 hasta el 135 por ciento respecto a los resultados que los autores obtuvieron mediante el método de elementos finitos. Sin embargo, “se considera que estos errores son aceptables; por ejemplo, son mayores a los que usualmente se cometen al estimar la resistencia del material en casas ya construidas; además, en la mayoría de los casos las diferencias están del lado de la seguridad.” (Bazán et al; 1982: 21)

CAPÍTULO 4

RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

En el desarrollo del presente capítulo se desglosa todo lo referente a la ubicación geográfica del sitio en donde se encuentra el edificio histórico analizado; con propósito de que el lector tenga una perspectiva más amplia y tenga disponible la información necesaria para comprender mejor los aspectos que envuelven un análisis de este tipo. Este capítulo también tiene como fin resaltar el objetivo de la investigación y el alcance de la misma.

4.1. Generalidades.

El edificio de la Casa de la Cultura de la ciudad de Uruapan, Michoacán, constituye parte importante del patrimonio inmueble con el que cuenta esta región. Por lo tanto, resulta útil y es necesario realizar el análisis sísmico de la estructura para poder preservarla tanto tiempo y en la totalidad del edificio como sea posible; considerando que la intervención del hombre y de la ingeniería tiene un punto límite contra la naturaleza.

La idea de la investigación surge ante la poca cultura de conservación que se tiene respecto a los monumentos históricos, y como consecuencia de ello surge la incógnita del estado actual y del comportamiento que podría tener el edificio en cuestión ante próximos sismos. Sabiendo que este tipo de proyectos análisis tienen un cierto nivel de complejidad, principalmente en la obtención de datos del mismo y en su modelado mediante software que se acerque a la realidad; así como por la geometría de los elementos estructurales y de la geometría de la propia edificación.

Por lo tanto, es importante ser minucioso cuando se eligen las herramientas de análisis y el procedimiento llevado a cabo durante el mismo. De lo contrario los resultados que se pueden obtener estarían alejados de lo real y como consecuencia serían obsoletos, dejando sin resolver las incógnitas de la investigación.

4.1.1. Objetivo.

La presente investigación y análisis tienen como objetivo principal evaluar la vulnerabilidad sísmica del edificio histórico de la Casa de la Cultura, ubicado en Uruapan, Michoacán. Esto con la finalidad de establecer si la estructura está en buenas condiciones estructurales y de seguridad, considerando para su análisis todos los factores que pueden influir en su comportamiento sísmico, es decir, considerando sus materiales, su ubicación, su exposición al intemperismo, su uso, mantenimiento, etc.

Una vez modelado y analizado el edificio en cuestión, se procederá a la interpretación de los datos arrojados por el software utilizado para este fin. Los datos que se esperan obtener proporcionarán la información básica requerida para conocer el estado actual de vulnerabilidad sísmica de la estructura.

4.1.2. Alcance del proyecto.

Es importante hacer hincapié en el alcance del presente trabajo, el cual consiste únicamente en evaluar la vulnerabilidad sísmica del edificio histórico de la Casa de la Cultura, ubicado en Uruapan, Michoacán. Teniendo como medio para ello el uso de un software que permita el modelado en tres dimensiones y el cual permita aplicar el método de los elementos finitos.

Además, es necesario establecer que no se analizará la cimentación de la edificación, por lo que también se deja fuera la interacción suelo-estructura. Dicho de otra manera: la presente investigación se enfoca en el análisis sísmico de la superestructura, la cual se encuentra por encima del terreno natural, omitiendo completamente la cimentación.

Tampoco se emitirán recomendaciones oficiales de mantenimiento, restauración o cualquier intervención directa a la estructura porque dichas cuestiones se encuentran fuera del alcance del analista. Correspondiendo dichas acciones al Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), por ser el edificio en cuestión, parte del patrimonio histórico inmueble del país.

4.2. Resumen ejecutivo.

Para poder llevar a cabo el objetivo de esta investigación, se procedió a obtener la mayor cantidad de datos posibles del edificio en cuestión. Primeramente, se obtuvieron los planos arquitectónicos de la estructura, los cuales son relativamente recientes debido a los trabajos de restauración de la techumbre que llevó a cabo el Instituto Nacional de Antropología e Historia en coordinación con personal de la entonces administración. Los planos se gestionaron y fueron proporcionados en las oficinas de Obras Públicas de la ciudad de Uruapan, Michoacán; desafortunadamente sólo fue posible obtener los planos, pero no se pudo tener acceso a mayor información detallada del proceso de restauración, ya que dicha información se encuentra en manos del INAH.

Aunado a lo anterior, se realizó una exhaustiva investigación de la historia general de la edificación, así como de los procesos constructivos con los que fue realizada y de los materiales de la misma; información que se encuentra digerida dentro del primer capítulo de este trabajo.

Posteriormente, se analizaron los planos y se modificaron de acuerdo a las necesidades requeridas para su modelado realizando también un análisis de cargas para poder añadir y procesar estos datos en el software utilizado para el análisis sísmico. Hecho esto, se modeló la estructura, se añadieron los datos requeridos para su análisis (propiedades de los materiales, cargas, espectros de diseño sísmico, etc.), y finalmente el software realizó el análisis que arrojaron los datos requeridos para poder establecer las conclusiones finales de la investigación.

4.3. Entorno geográfico.

4.3.1. Macro y microlocalización.

La presente investigación se realizó en la República Mexicana, país que se localiza en la parte norte del continente Americano y que lleva por nombre oficial: Estados Unidos Mexicanos. Cuenta con una extensión territorial de 1,960,189.00 km² (Un millón novecientos sesenta mil ciento ochenta y nueve kilómetros cuadrados), y cuenta con una población total de 119,530,753 (ciento diecinueve quinientos treinta mil setecientos cincuenta y tres) habitantes, de acuerdo a la última encuesta intercensal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía realizada en el año 2015; los cuales se encuentran distribuidos entre los 32 estados en que se organiza su

territorio, siendo la Ciudad de México la capital y la sede de los tres poderes de gobierno (ejecutivo, legislativo y judicial).

Por ser un país rico en cultura, diversidad climatológica, zonas arqueológicas y patrimonio histórico, México cuenta con una gran variedad de destinos turísticos y dicha actividad influye directamente en su economía.



Imagen 4.1. Mapa de los Estados Unidos Mexicanos. (Fuente: www.google.com.mx/maps; 2019)

Continuando con la referencia geográfica, el lugar de estudio se encuentra en el estado de Michoacán de Ocampo; el cual cuenta con 113 municipios para su organización territorial, siendo Morelia la capital de éste. Su extensión territorial representa el 2.99% del territorio nacional, y se encuentra entre las coordenadas 19° 10' 7" de latitud norte y 101° 53' 59" de longitud oeste; colinda al norte con los

estados de Guanajuato y Querétaro, al este con el estado de México, al sur con Guerrero, al suroeste con el Océano Pacífico y al noroeste con Colima y Jalisco.



Imagen 4.2. Ubicación geográfica de Michoacán de Ocampo en la República Mexicana. (Fuente: www.travelbymexico.com/estados/michoacan; 2017)

Y de forma más precisa, el edificio histórico analizado se encuentra en el municipio de Uruapan, Michoacán. Su nombre oficial es Uruapan del Progreso y es la segunda ciudad más grande e importante del estado solamente detrás de la capital, Morelia.

Uruapan del Progreso se encuentra entre las coordenadas $19^{\circ} 25' 16''$ de latitud norte y $102^{\circ} 3' 47''$ de latitud oeste; con una elevación sobre el nivel del mar de

1,620.00 metros. Y de acuerdo a datos del INEGI, cuenta con una población de 334,749 (trescientos treinta y cuatro mil setecientos cuarenta y nueve) habitantes distribuidos entre sus 954.2 km² de extensión territorial. Está delimitado por los municipios de Los Reyes, Carapan, Paracho, Nahuatzen, Tingambato, Ziracuaretiro, Taretan, Nuevo Urecho, Gabriel Zamora, Parácuaro, Nuevo Parangaricutiro, Tancítaro y Peribán.

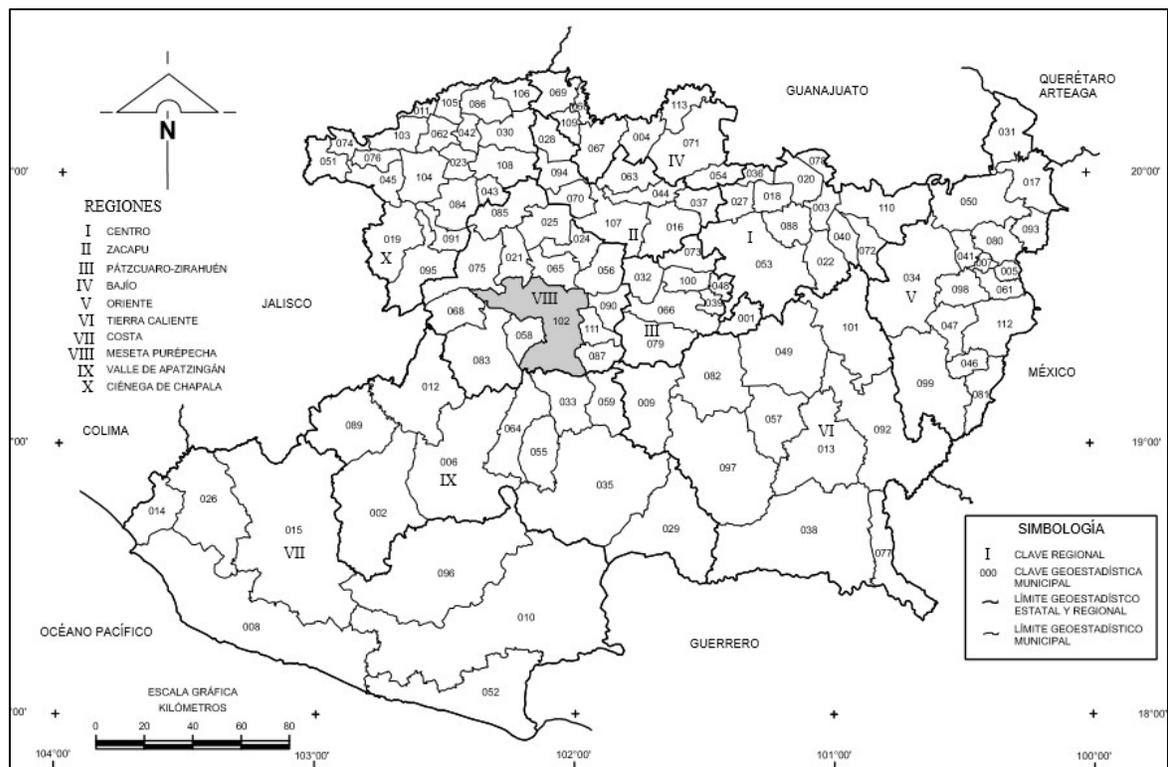


Imagen 4.3. Ubicación de Uruapan del Progreso en el estado de Michoacán. (Fuente: INEGI; 2006)

Y con dirección exacta en la calle García Ortiz 1, colonia Centro y con código postal 60000. Se encuentra en el Centro Histórico de la ciudad de Uruapan y por lo tanto es un sitio frecuentado por la población local y por turistas.

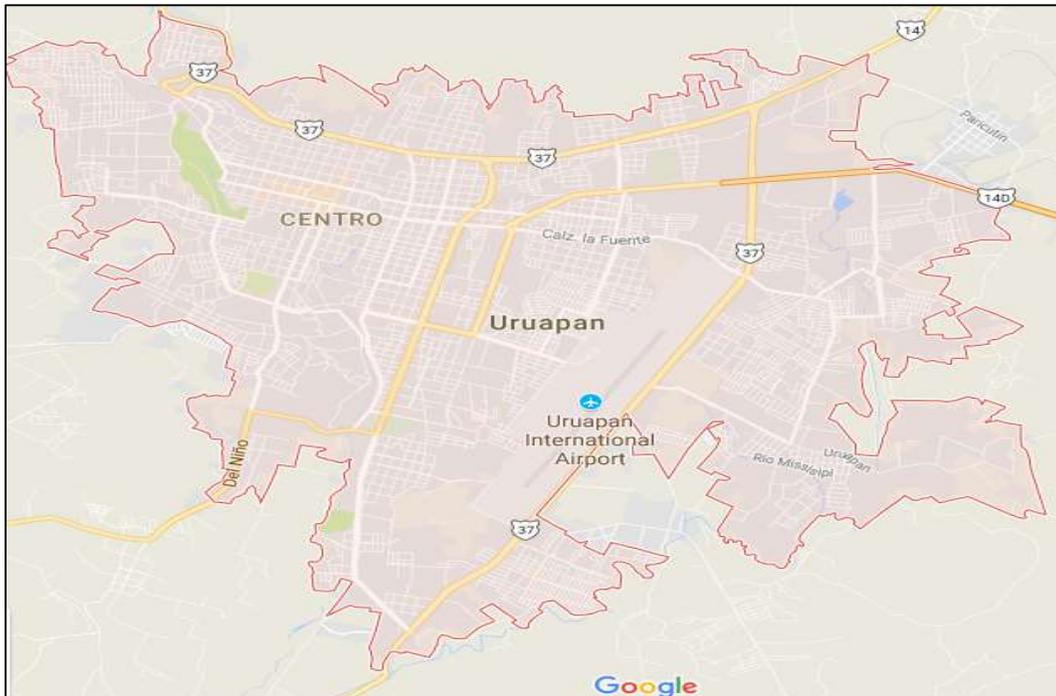


Imagen 4.4. Uruapan del Progreso, Michoacán de Ocampo. (Fuente: www.google.com.mx/maps; 2019)



Imagen 4.5. Ubicación exacta del edificio de la Casa de la Cultura en Uruapan, Michoacán. (Fuente: www.google.com.mx/maps; 2019)

4.3.2. Geología regional y de la zona de estudio.

De acuerdo con el Atlas de Riesgo en el Municipio de Uruapan (2011), la geología del municipio de Uruapan comprende principalmente eventos volcano-sedimentarios, e ígneas extrusivos, que dieron una morfología característica de una gran actividad volcánica al municipio.

El territorio municipal en gran parte de él presenta un origen volcánico presentando rocas basálticas, andesitas, brechas volcánicas, etc. El municipio se encuentra en el Cinturón Volcánico Transmexicano.

4.3.3. Climatología regional y de la zona de estudio.

El municipio de Uruapan le caracteriza el clima templado húmedo y subhúmedo con lluvias en verano, de acuerdo al INEGI. Sin embargo, debido a lo accidentado de la geografía en el territorio, el clima varía en algunas regiones; por ejemplo, el clima semicálidos subhúmedo ocupa aproximadamente un 25% y en menor proporción el clima cálido húmedo con lluvias en verano con aproximadamente 13%.

En general, las temperaturas del municipio oscilan entre 8.0 a 37.5 grados centígrados. Siendo la temperatura promedio de 18.8°C en el clima templado húmedo, de 23.4°C en el clima cálido subhúmedo y de 23°C en el clima semicálido subhúmedo.

El centro del municipio de Uruapan (lugar donde se encuentra el edificio histórico) es una de las zonas que registran mayor promedio pluvial anual en Michoacán, superando los 1,500 mm de lluvia.

4.4. Informe fotográfico.

Fue necesario realizar visitas al edificio y tomar evidencia fotográfica de la estructura y en general de todos los detalles necesarios para su procesamiento. También son de utilidad para ubicar todavía mejor al lector y pueda identificar la estructuración de la edificación, así como de su estado actual y de las problemáticas que presenta.

4.4.1. Estado físico actual.

A continuación, se muestra el estado en el que se encuentra la fachada del edificio, así como algunas vistas exteriores e interiores.



Imagen 4.6. Vista exterior de la Casa de la Cultura en Uruapan, Michoacán. (Fuente: Propia; 2019)

La ubicación del edificio la hace visible para todo el público que transita por el centro histórico de la ciudad de Uruapan.



Imagen 4.7. Vista exterior orientada hacia el noroeste. (Fuente: Propia; 2019)

En la imagen que se muestra a continuación, se pueden ver algunos de los elementos arquitectónicos (presencia de arcos) con los que cuenta la edificación en su interior.



Imagen 4.8. Vista interior orientada hacia el sureste de la edificación. (Fuente: Propia; 2019)

Es necesario resaltar que la estructura, de forma general se encuentra en buen estado de conservación en sus dos niveles, como se aprecia en la siguiente imagen:



Imagen 4.9. Vista hacia el sureste desde la segunda planta. (Fuente: Propia; 2019)

Asimismo, se realizó la corroboración de los planos arquitectónicos, mismos que sirvieron de base para realizar la estructuración de la edificación.



Imagen 4.10. Corroboración de medidas. (Fuente: Propia; 2019)

4.5. Alternativas de solución.

Para la elaboración de la presente investigación fue necesario analizar las distintas alternativas que se pudieron tomar para resolver la problemática existente. A continuación, se mencionan las consideraciones y características que se tomaron en cuenta para elegir una de las posibles herramientas de análisis.

4.5.1. Planteamiento de alternativas.

El análisis sísmico de la estructura histórica da pie a distintas posibles alternativas de análisis, entendiéndose entonces como análisis el estudio de los límites, características y posibles soluciones de un problema.

En este caso en particular, las alternativas de solución al objetivo planteado radican en la selección de las herramientas de análisis, debido a que existen distintos métodos para poder analizar la estructura, entre ellos se encuentran: el método de elementos finitos, el cual es un método muy refinado y logra definir cualquier tipo de geometría, en dos y en tres dimensiones, permite una buena definición de las propiedades de los materiales y de las cargas; sin embargo, demanda muchos recursos computacionales; el método de elementos discretos, el cual es idóneo en el estudio de medios discontinuos ya que permite el movimiento relativo entre elementos, pero es utilizado mayormente para el análisis de bloques de piedra; y el método de elementos rígidos, el cuales sencillo, eficaz y rápido para el análisis dinámico no lineal, sin embargo solo permite el análisis en dos dimensiones y no es muy común.

Y existen también distintos tipos de análisis, ya mencionados en el capítulo tres de esta investigación: el análisis elástico lineal y no lineal, dinámico y uno más que es el análisis límite; el cual es mayormente para fines de diseño y no de revisión.

Por lo tanto, se eligió un análisis elástico no lineal mediante el método de los elementos finitos como posible solución a la problemática, debido a todas las condiciones que presenta el edificio en cuestión y a las cuestiones anteriormente mencionadas.

4.6. Proceso de análisis.

Contando con los planos arquitectónicos de la edificación y mediante su revisión y análisis, se puede proceder a la estructuración del proyecto, es decir, se definen los elementos estructurales de una forma adecuada para reducir tiempo en el proceso de modelado computacional. Además, se realiza el análisis de cargas conveniente (en este caso el análisis de cargas en entrepiso y techumbre) y también se obtienen las características y propiedades de los materiales actuales del edificio que en la presente investigación se obtuvieron por medios no invasivos, o sea, simplemente mediante la obtención de datos ya establecidos por autores durante pruebas de laboratorio y ensayos e información histórica.

Entonces se procede al modelado de la estructura en el software y se añaden los datos requeridos para el procesamiento y análisis de la estructura. Seguido, se interpretan los datos y se verifica que no existan grandes márgenes de error, en caso contrario se hacen las modificaciones correspondientes al modelo y se repite el proceso de análisis en el software.

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se explica el desarrollo metodológico utilizado durante la elaboración de este trabajo. Se muestra el método empleado, el enfoque de la investigación, el alcance de la misma; así como el diseño de la investigación, los instrumentos que fueron utilizados para la recopilación de los datos requeridos y una breve descripción del proceso de dicha tesis.

5.1. Método empleado.

Para la realización del presente trabajo, se hizo uso del método científico; el cual, de acuerdo con Tamayo (1998), se encuentra entre la investigación científica y el conocimiento científico, y menciona que “el método científico es un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, caracterizado generalmente por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica.” (Tamayo; 1998: 35)

El método científico parte de un problema, es decir, el individuo encuentra alguna situación problemática y no tiene los medios para resolverlo. Pero si este individuo identifica y define tal dificultad, entonces puede proponer soluciones para resolver el problema; a esto se le conoce como hipótesis, y a cada hipótesis le corresponde una consecuencia si una de éstas es la solución a dicho problema.

Finalmente, el individuo pone a prueba cada una de las soluciones propuestas buscando hechos observables que le permitan confirmar si las consecuencias que

deberían seguir se producen o no, y así determinar cuál de las hipótesis está relacionada con los hechos que se pudieron observar para establecer la solución más confiable.

En resumen, el método científico es fáctico porque se desprende de los hechos, pero tiene como finalidad trascenderlos; depende de la verificación empírica porque la validación de las soluciones es a prueba y error, es autocorrectivo y, lo más importante, el método científico es objetivo porque elimina la opinión del individuo y se basa en los hechos.

5.1.1. Método matemático.

En el método matemático están relacionados dos procesos: la abstracción y la interpretación; el primero obliga a establecer hipótesis y definir las variables para desarrollar las matemáticas adecuadas para resolver el problema en cuestión, y el segundo trata de simplificar las herramientas matemáticas utilizadas.

Los resultados que se pueden deducir a través del método matemático llevan a poder efectuar ciertas predicciones sobre el mundo real. El siguiente paso es recopilar datos de la situación de la que se ha establecido el método y compararlo con las predicciones; si éstas coinciden con la realidad entonces la o las hipótesis son correctas y también las variables definidas. Por el contrario, si no lo son pueden servir para modificar la hipótesis y sus variables.

Se utilizó el método matemático durante la presente investigación debido a que el planteamiento del problema en cuestión requiere el uso de modelos matemáticos y la aplicación de éstos en situaciones reales.

5.2. Enfoque de la investigación.

El enfoque cuantitativo “usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”. (Hernández et al; 2010: 4)

La presente investigación es de enfoque cuantitativo debido a que ésta se fundamenta en la medición de datos y variables que dependen de modelos estadísticos y matemáticos. Estos estudios cuantitativos finalmente ayudan a explicar y predecir los fenómenos investigados.

Además de que el proceso del trabajo fue estructurado y siguió una serie de pasos para que el mismo sea aceptado y tenga validez científica; características que son propias de este enfoque de investigación.

5.2.1. Alcance de la investigación.

El proceso de investigación cuantitativa puede tener cuatro alcances: exploratorio, correlacional, descriptivo y explicativo. La investigación que se ha llevado a cabo es de alcance descriptivo.

De acuerdo con Hernández et al (2010), los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de cualquier fenómeno que sea sometido a un análisis, así como describir tendencias de un grupo o de una población; es decir, detallar y definir cómo son y cómo se manifiestan estos hechos. Situación que se realiza en el presente trabajo.

5.3. Diseño de investigación.

En la investigación científica se dispone de distintas clases de diseños o estrategias que permiten investigar adecuadamente la situación o fenómenos de interés. Cada diseño tiene características propias y si éste está bien concebido los resultados de cualquier estudio tendrán una validez más aceptada. Existen de forma general dos tipos de diseño: experimental y no experimental.

La investigación realizada es de carácter no experimental cuantitativa, ésta podría definirse “como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables.” (Hernández et al; 2010:149)

La investigación no experimental cuantitativa toma fenómenos tal como se dan en su entorno natural con la única finalidad de analizarlos e interpretar los resultados, ya que no es posible manipular las variables independientes que ocurren ni tampoco se tiene control directo sobre dichas variables.

Sin embargo, de acuerdo con Hernández et al (2010), los diseños no experimentales se pueden clasificar en transeccionales y longitudinales; por lo tanto, el presente trabajo también es transeccional o transversal debido a que los datos que se obtuvieron analizan un determinado momento y son datos únicos.

5.4. Instrumentos de recopilación de datos.

Durante el proceso de todo el trabajo fueron utilizadas distintas herramientas que sirvieron para poder recopilar, analizar e interpretar los datos necesarios para resolver la problemática planteada.

Fueron necesarias visitas al lugar de estudio para poder establecer y definir las variables del problema y determinar el estado actual del edificio. Para la representación gráfica de la distribución del lugar fue utilizado el programa AutoCad en su versión 2017 y para su análisis se hizo uso del software ETABS 2016; así como otros softwares de apoyo de la paquetería de Office (Excel, Word).

5.5. Descripción del proceso de investigación.

Las investigaciones son el resultado de pensamientos e ideas, así como de cuestionamientos y problemáticas que pueden provenir de distintas fuentes; las cuales pueden ser propias o externas. Como primer paso se plantea el problema a investigar, y al mismo tiempo se establecen los objetivos que se quieren lograr al final del proceso de investigación. El definir los objetivos, permite en esencia, establecer la búsqueda y desarrollar las preguntas a las cuales se busca encontrar una respuesta, justificando su investigación y su viabilidad.

Una vez que se definió la finalidad del trabajo, se elaboró un marco teórico para evaluar la situación actual del problema en cuestión. Dentro de este proceso es indispensable y de gran ayuda encontrar trabajos que tuvieron problemáticas similares, pues son una base para el estudio; y aunque cada trabajo es distinto, éstos aportan

márgenes y una guía para verificar en el proceso si se está conduciendo por buen camino la investigación y no desviarse del objetivo principal.

Para la recopilación de datos y conocer la situación actual del área de estudio fue necesario el acercamiento con las autoridades municipales, quienes facilitaron la obtención de planos del lugar y las visitas al lugar incluyeron la corroboración de éstos.

Una vez recopilados los datos se hizo el modelado matemático y gráfico de la estructura en el programa ETABS 2016 para el análisis de la misma ante las distintas posibles acciones a las que puede ser sometida.

Finalmente, con los resultados obtenidos del programa se determinan los valores críticos para el edificio, los cuales determinan su vulnerabilidad sísmica. Se hace emisión de posibles recomendaciones para la seguridad estructural de la misma.

CAPÍTULO 6

CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se muestra el proceso mediante el cual se realizó el análisis sísmico del edificio, así como la interpretación de los datos obtenidos en el mismo. Se desglosan también algunos análisis menores requeridos durante dicho proceso, como el análisis de cargas del entrepiso y de la techumbre de la estructura; y las consideraciones que se tomaron para el modelado de la estructura.

6.1. Revisión de los planos arquitectónicos y estructuración.

Antes de proceder al modelado en 3D de la edificación, es necesario realizar el levantamiento de la estructura para poder obtener de forma correcta sus dimensiones; esto para obtener los resultados más confiables posibles.

Para la presente investigación se obtuvieron los planos arquitectónicos (ver anexos 1 y 2) que fueron elaborados durante el proceso de restauración de las techumbres de dicho edificio; dicho proyecto de restauración fue realizado con supervisión directamente del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), por ser esta una edificación catalogada como histórica.

Sin embargo, durante la revisión de dichos planos fue notorio algunas dificultades que podría presentar modelar fielmente la geometría de la edificación; esto porque una sección de la estructura presentaba una ligera desviación en sus ejes, lo que podría hacer más tardado el proceso de modelado en el software.

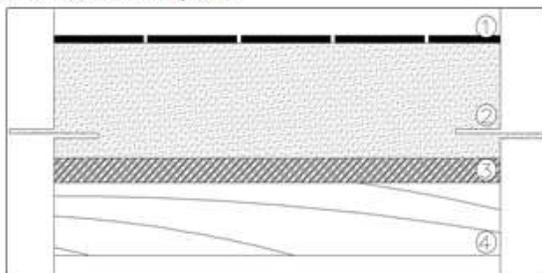
Por lo anterior fue que se tomó la decisión, durante la estructuración del edificio para su modelado y análisis, el corregir estas ligeras desviaciones de los ejes ya que se consideró que no habría afectación importante en los resultados obtenidos. Por lo tanto, se hicieron las modificaciones necesarias y la estructuración quedó finalmente establecida para su modelado (ver anexo 3 y 4).

6.2. Análisis de cargas.

El análisis de cargas consiste en determinar las fuerzas adicionales al peso propio de la estructura que ésta debe soportar. En este caso, la estructura del edificio de la Casa de la Cultura en Uruapan, Michoacán; es a base de muros de mampostería los cuales además de soportar su peso propio, los muros del primer nivel soportan el entrepiso y en los muros del segundo nivel se apoya directamente la techumbre que está constituida principalmente por las armaduras de madera estructural, el entarimado y la teja de barro.

ANÁLISIS DE CARGAS DE LA CASA DE LA CULTURA EN URUAPAN, MICHOACÁN

Sistema de entrepiso:



Material	Espesor (m)	Peso Vol (t/m3)	Peso W (t/m2)
1. Piso	-	-	0.045
2. Entortado Adobe	0.024	1.600	0.038
3. Entarimado	0.050	0.650	0.033
4. Vigas de madera	-	-	0.052

$$W_{adic} = 0.040$$

$$CM = 0.208$$

La carga viva corresponde a:

W (kg/m2)	Wa (kg/m2)	Wm (kg/m2)
100	180	250

c) Aulas

W de servicio para las siguientes combinaciones de carga:

Permanentes + variables

$$CM = 0.208 \text{ t/m}^2$$

$$CV = 0.250 \text{ t/m}^2$$

$$W = 0.458 \text{ t/m}^2$$

Permanentes + variables + accidentales

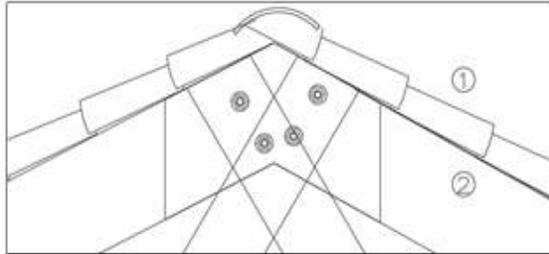
$$CM = 0.208 \text{ t/m}^2$$

$$CV = 0.180 \text{ t/m}^2$$

$$W = 0.388 \text{ t/m}^2$$

Y el análisis de cargas correspondiente a la techumbre del edificio:

Techumbre:



Material	Espesor (m)	Peso Vol (t/m3)	Peso W (t/m2)
1. Teja de Barro	-	-	0.037
2. Entarimado	0.050	0.650	0.033

Wadic= 0.040

CM= 0.109

W (kg/m2)	Wa (kg/m2)	Wm (kg/m2)
5	20	40

La carga viva corresponde a:

i) Azoteas con pendiente mayor de 5%; otras cubiertas, cualquier pendiente

W de servicio para las siguientes combinaciones de carga:

Permanentes + variables

CM=	0.109	t/m2
CV=	0.040	t/m2
W=	0.149	t/m2

Permanentes + variables + accidentales

CM=	0.109	t/m2
CV=	0.020	t/m2
W=	0.129	t/m2

6.3. Caracterización de materiales en software.

En esta parte de la investigación fue necesario el uso ya del software que se decidió utilizar para el análisis completo de la estructura, dicho programa es el ETABS 2016; el cual permite el análisis por el método del elemento finito, entre otras cosas.

El siguiente paso fue agregar los materiales (adobe, mampostería y madera) así como sus propiedades y características. El proceso es simple, únicamente ya con el programa abierto y el archivo creado se crea un nuevo material; se le agrega nombre y sus respectivos datos como es el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson, el peso volumétrico, etc., y el proceso se repite para todos los materiales requeridos. A continuación, se presenta la lista de materiales añadidos en el software con sus respectivas características y propiedades:

Material	Peso Vol. (kg/m ³)	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a cortante (kg/cm ²)	Resistencia a tensión por flexión (kg/cm ²)	Coefficiente de Poisson
Adobe	1800	2500	13.4	1.2	1.6	0.3
Mampostería	2600	8000	20	0.6	-	-
Madera	650	80000	-	-	-	-

Tabla 6.1. Propiedades de los materiales utilizados para el modelado de la estructura. (Fuente: Propia basado en Bazán et al; 1982: 5 y Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural; 1999: 32)

Cabe mencionar que, para la mampostería (combinación piedra-mortero) no hay datos precisos sobre sus propiedades mecánicas y los datos establecidos han sido obtenidos mediante ensayos en laboratorio. Asimismo, dicha mampostería posee menores resistencias que la piedra por sí sola, pero mayores que el mortero.

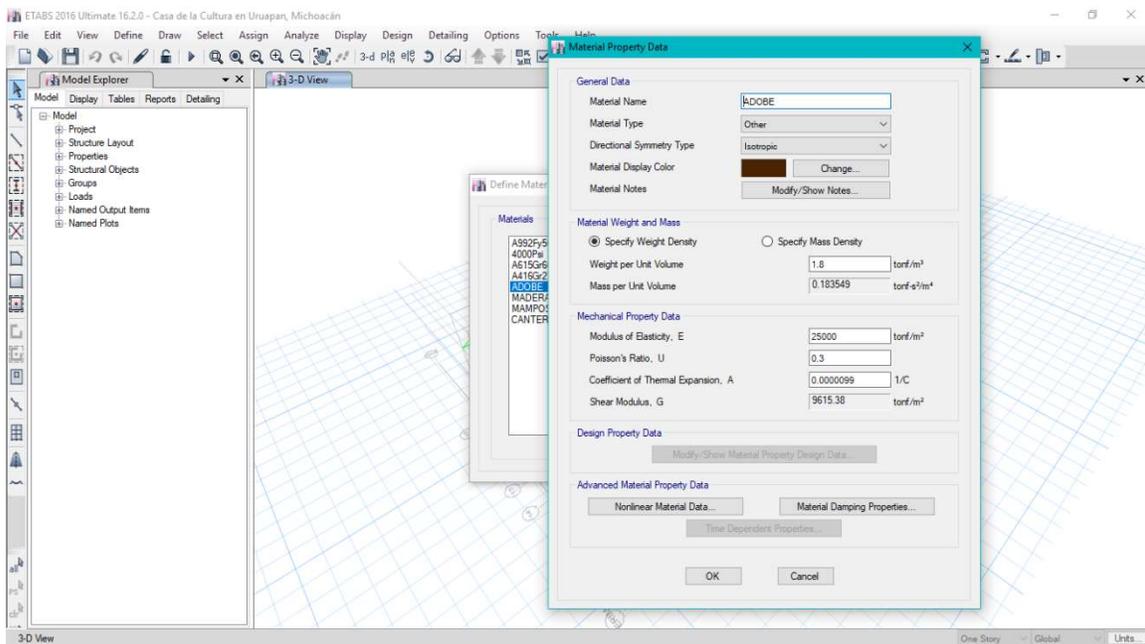


Imagen 6.1. Proceso de caracterización de los materiales en el programa ETABS

2016. (Fuente: Propia; 2019)

6.4. Modelado de muros y techumbres en software.

Una vez que se han caracterizado los materiales, se puede proceder a modelar la estructura del edificio. Como se mencionó en el tercer capítulo de este trabajo, para el análisis de este tipo de estructuras es necesario utilizar el software adecuado que además de trabajar por elementos finitos, permita un análisis minucioso, de alto nivel y que trabaje correctamente las propiedades de los materiales en estudio.

Utilizando los planos arquitectónicos (ver anexo 1 y 2) y los planos estructurales (ver anexo 3 y 4), se modelan los elementos estructurales del edificio; que en este caso consisten en muros de carga. Para este fin, en el software se utilizan elementos placa o “Shell” y una vez modelada la estructura se le hacen los ajustes necesarios como el detallado para ubicar aberturas en dichos muros (puertas y ventanas).

Para este fin se utilizó el software ETABS 2016, el cual, permite el detallado de elementos tipo placa y además trabaja perfectamente el método de elementos finitos; así como también permite el modelado de la estructura en un tiempo relativamente corto gracias a las herramientas con las que cuenta el programa.

Cabe mencionar que los espesores de los muros estructurales de la edificación varían en su espesor desde los 40 cm hasta 1 m; por lo tanto, también se consideró en el modelado estas características. A continuación, se muestran algunas perspectivas del modelado de los muros de toda la edificación. En este proceso todavía no se han definido las aberturas (puertas y ventanas) en los muros, ni se ha realizado el mallado de la estructura para su análisis.

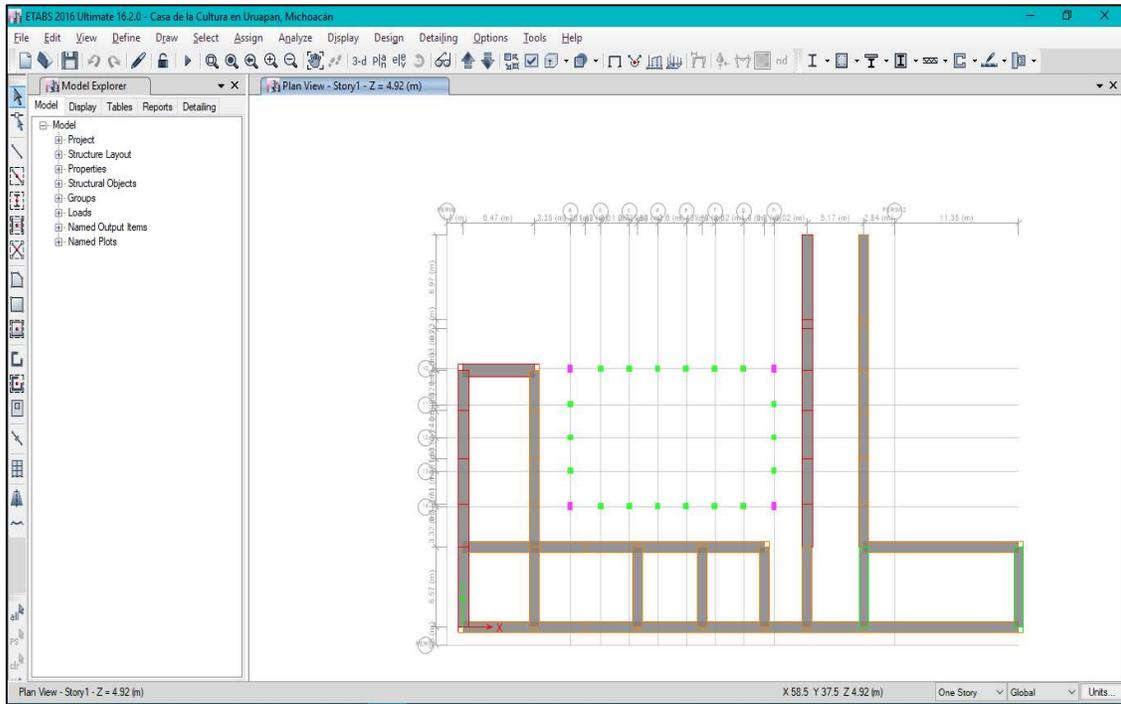


Imagen 6.2. Vista en planta de muros en ETABS 2016. (Fuente: Propia; 2019)

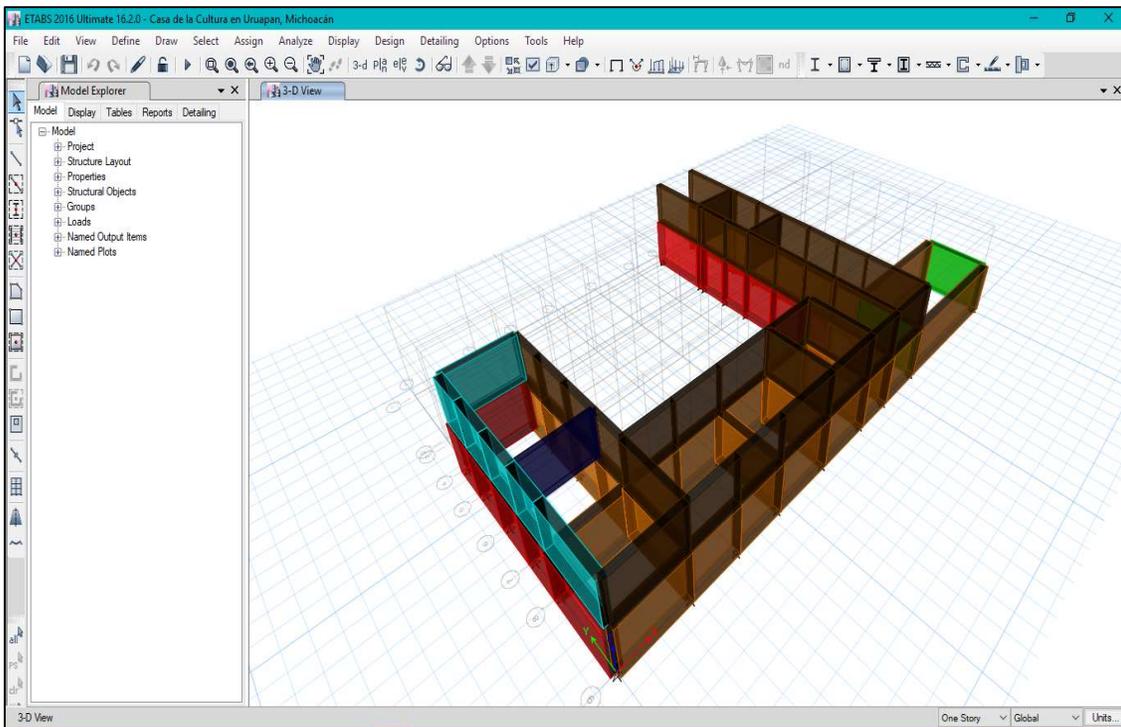


Imagen 6.3. Vista 3D de muros modelados en ETABS 2016. (Fuente: Propia; 2019)

Una vez que se ha realizado el modelado de los muros estructurales, se procede a realizar el modelado de las techumbres. En este caso, el sistema de entrepiso está definido por vigas de madera, el entarimado y un entortado que se supondrá es de adobe, debido a que no se cuenta con la información exacta de esto.

La parte de la techumbre, es decir, la estructura que queda expuesta al intemperismo, está conformada por armaduras de madera, un entarimado y las tejas de barro; esta información fue proporcionada mediante los planos de la restauración del edificio (llevada a cabo por el Instituto Nacional de Antropología e Historia en coordinación con el Gobierno Municipal) en la oficina de Obras Públicas de Uruapan, Michoacán. Estos planos contienen las armaduras que fueron colocadas durante dicho proceso de restauración, y con ello, se pudo modelar de manera aproximada la estructura de la techumbre en el software.

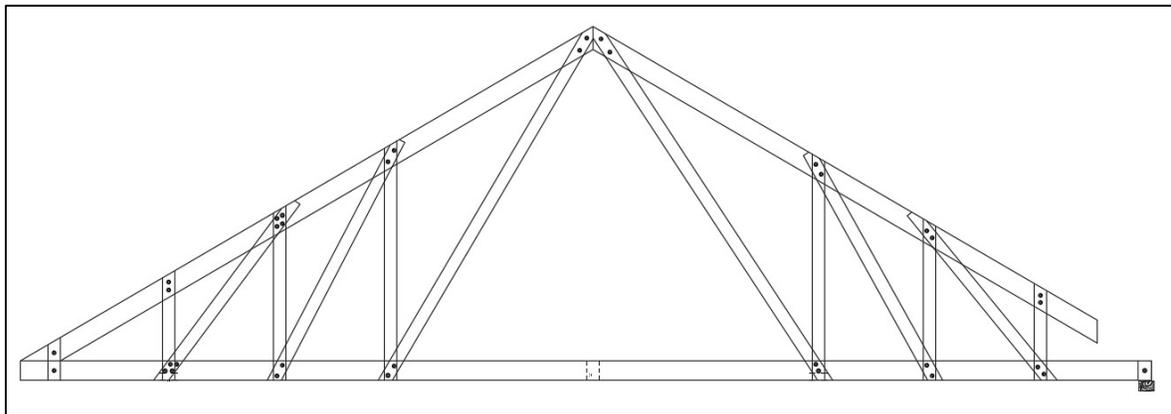


Imagen 6.4. Armadura tipo de la estructura. (Fuente: Propia; 2019)

Por lo tanto, se procedió a definir las secciones de las armaduras y el trazado de éstas en el modelo completo. A continuación, se muestra el modelo ya con el sistema de entrepiso y la techumbre, así como con aberturas (puertas y ventanas):

6.5. Análisis sísmico del edificio e interpretación de datos.

Para poder realizar el análisis sísmico de la edificación, que fue uno de los objetivos del presente trabajo, fue necesario después de modelar la estructura, definir el tipo de apoyo de los elementos estructurales para su correcto análisis; para lograr lo anterior se consideraron apoyos articulados tanto en las columnas como en los muros, debido a que pueden girar libremente pero no pueden desplazarse.

Finalmente, el modelado de la estructura implica también el asignar las solicitaciones a las que está sometida la misma durante su vida útil, este análisis de cargas se realizó al inicio de este capítulo y los valores que se presentaron de cargas muertas y cargas vivas fueron las introducidas en el programa para su procesamiento; el valor de la carga viva fue obtenido del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal tomando en cuenta que el uso actual del edificio está destinado para impartir diversos talleres, por lo que se consideró la carga viva para aulas.

Como se vio en dicho análisis, el sistema de entrepiso y la techumbre no poseen las mismas solicitaciones, debido a que la techumbre únicamente soporta el peso propio (que incluye armaduras, entarimado y teja de barro), mientras que el sistema de entrepiso se ve sometido a mayores cargas por la naturaleza y uso del mismo.

Sin embargo, la estructura puede no estar sometida únicamente a estas combinaciones de cargas, sino que también se consideraron las cargas que pudieran generarse por sismo. Esto se realizó definiendo e ingresando el espectro de respuesta para sismos de subducción, obtenido por Martínez (2000), para la ciudad de Uruapan en terreno de transición.

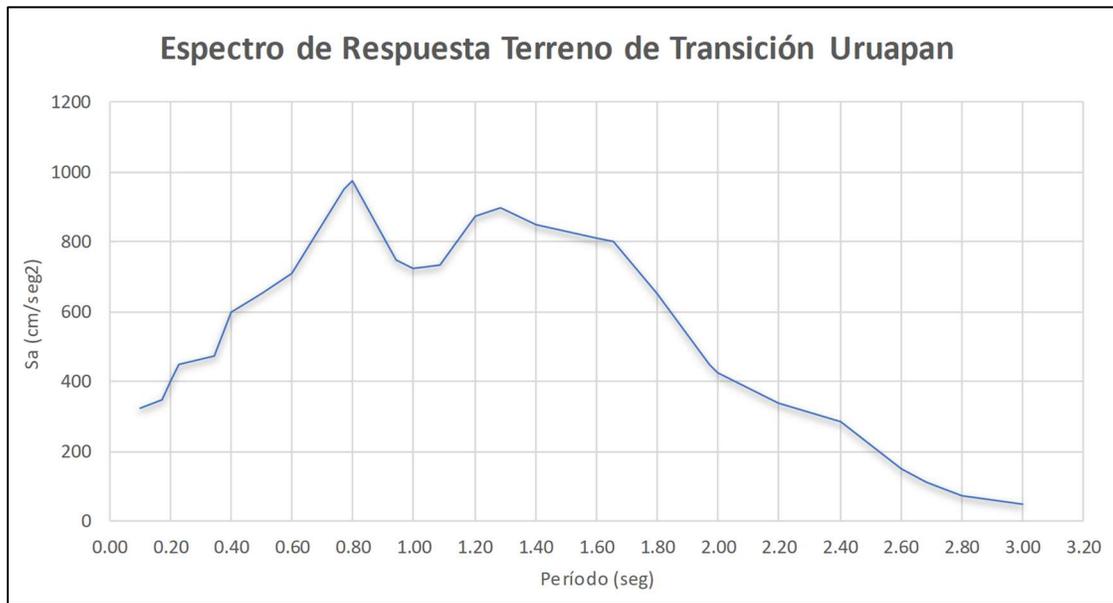


Imagen 6.7. Espectro de respuesta para terreno de transición en Uruapan, Mich.

(Fuente: Propia basado en Martínez; 2000: 78)

Considerando todo lo anterior se realizó finalmente el análisis de la estructura. Cabe mencionar que el mallado de la edificación se realizó automáticamente en el programa, pero se definió una distancia máxima de 50 cm en dicho mallado; esto con el fin de obtener resultados más confiables.

A continuación, se muestran vistas del análisis y los valores arrojados por el programa durante este proceso.

Los esfuerzos máximos de compresión se obtuvieron de la combinación de carga muerta, más carga viva, más sismo en “x” y 30% del sismo en “y”. Sin embargo, los valores máximos obtenidos no rebasan el límite máximo permisible ni del adobe ni tampoco de la mampostería, los cuales son 134 ton/m² y 200 ton/m², respectivamente.

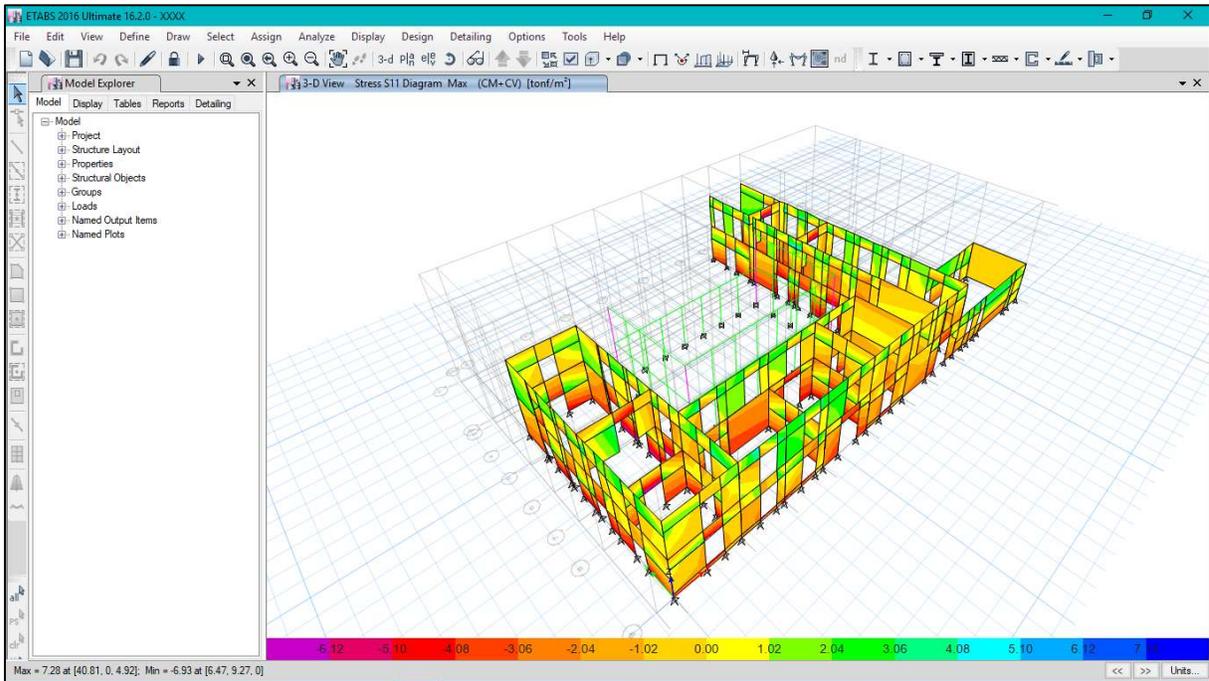


Imagen 6.8. Esfuerzos máximos de compresión (CM+CV). (Fuente: Propia; 2019)

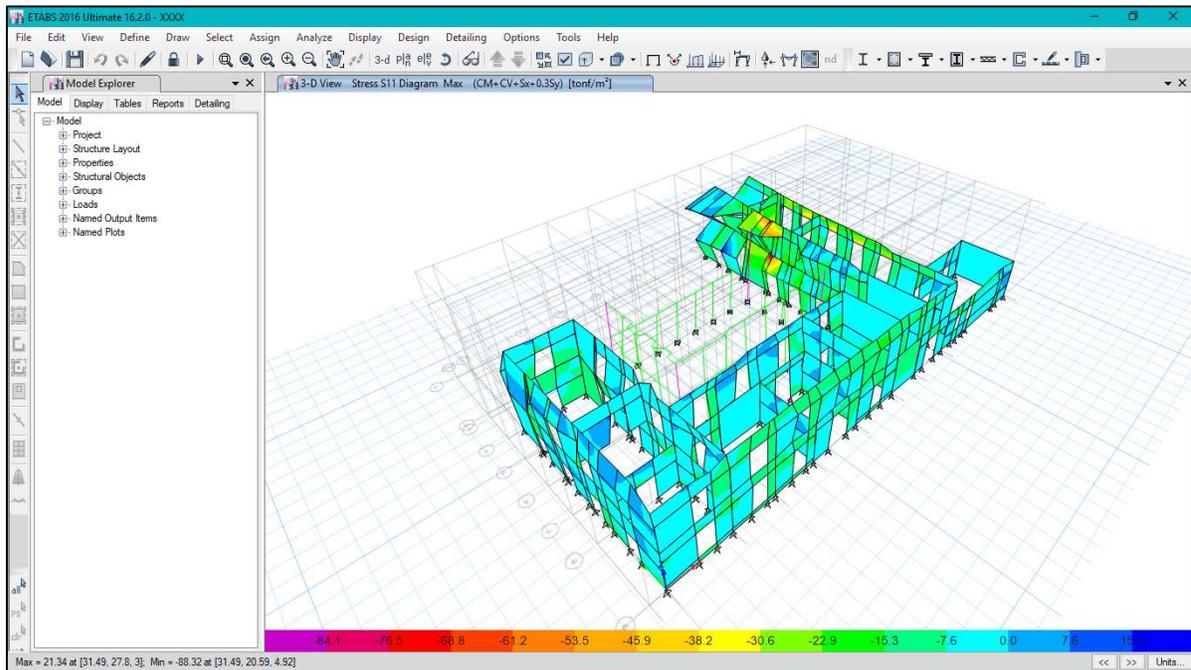


Imagen 6.9. Esfuerzos máximos de compresión (CM+CV+Sx+0.3Sy). (Fuente:

Propia; 2019)

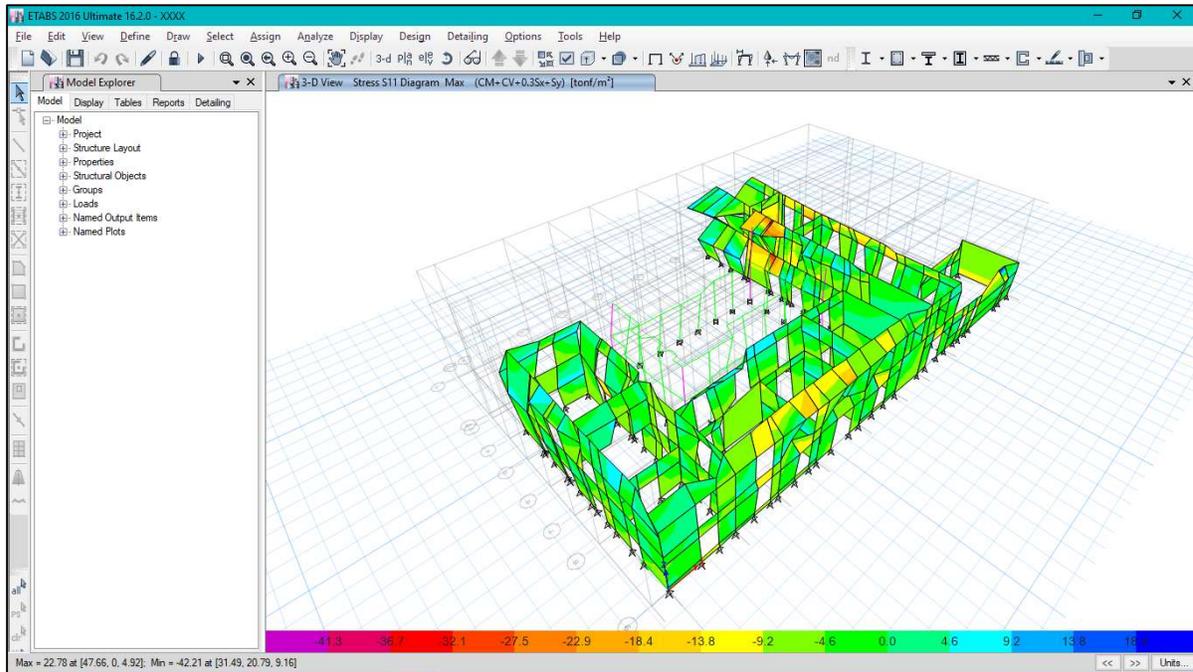


Imagen 6.10. Esfuerzos máximos compresión (CM+CV+0.3Sx+Sy). (Fuente: Propia; 2019)

De igual manera los esfuerzos máximos de cortante se obtuvieron de la combinación de carga muerta, más carga viva, más sismo en “x” y 30% del sismo en “y”. La revisión de este parámetro en particular es de mayor importancia dentro de esta investigación, pues el cortante que resiste el adobe por naturaleza es muy bajo; se aprecia que la mayoría de los muros presentan esfuerzos por encima del valor permisible para cortante en adobe, el cual corresponde a 12 ton/m².

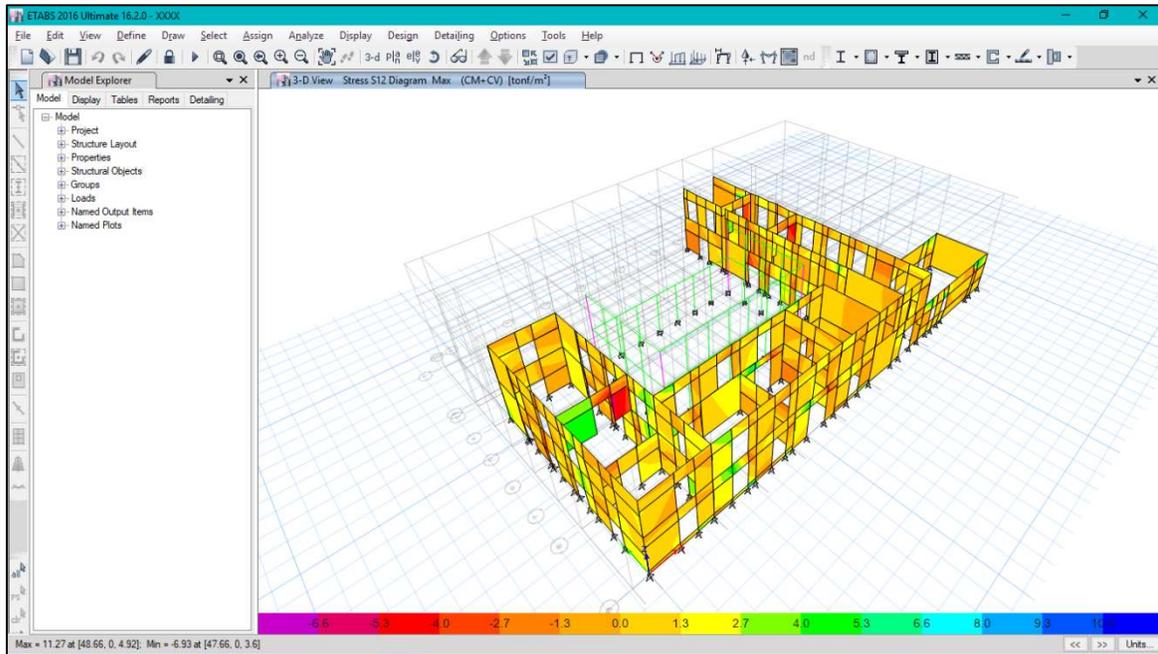


Imagen 6.11. Esfuerzos máximos de cortante (CM+CV). (Fuente: Propia; 2019)

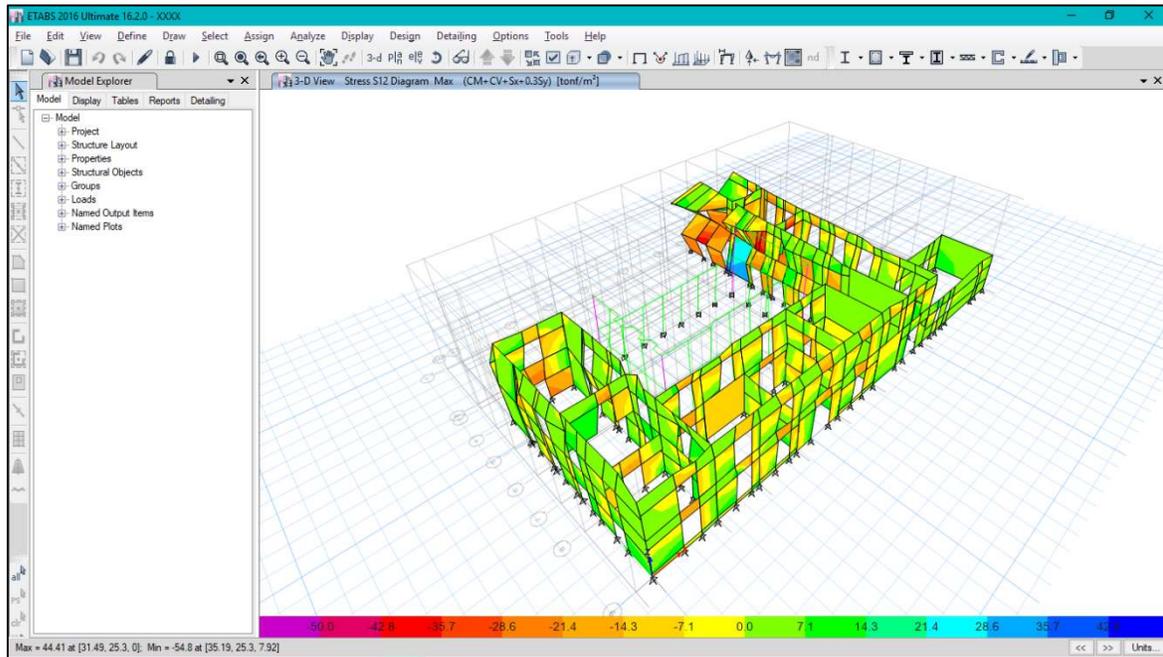


Imagen 6.12. Esfuerzos máximos de cortante (CM+CV+Sx+0.3Sy). (Fuente: Propia; 2019)

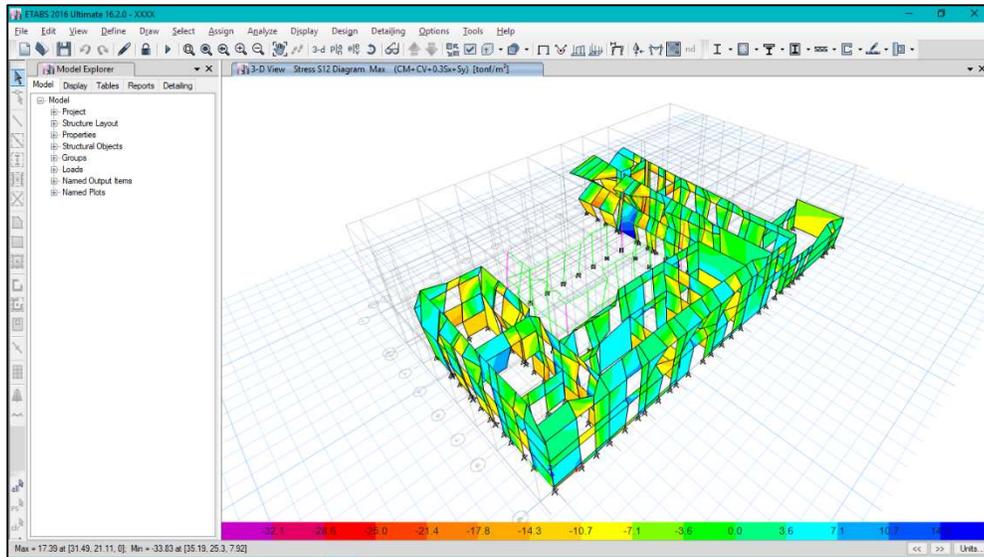


Imagen 6.13. Esfuerzos máximos de cortante (CM+CV+0.3Sx+Sy). (Fuente: Propia; 2019)

En base a los resultados obtenidos se puede decir que los esfuerzos generados por compresión no representan riesgo alguno para la edificación, pues éstos no exceden los límites permisibles para compresión del adobe ni tampoco de la mampostería.

Sin embargo, el caso crítico sí se genera por los esfuerzos de cortante obtenidos durante el análisis, debido principalmente a la baja resistencia que tienen dichos materiales ante cortante. Asimismo, se observa que los principales esfuerzos se generan sobre todo en las zonas de aberturas de puertas y ventanas, debido a la reducción considerable de área para resistir dichos esfuerzos a los que se ven sometidos los muros; y esfuerzos críticos en la zona de la edificación donde los muros no tienen un confinamiento, la cual se encuentra en el lado colindante al templo de San Francisco, ya que esto reduce la capacidad de apoyo de los muros y, por lo tanto, su resistencia al volteo.

CONCLUSIONES

El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar la vulnerabilidad sísmica del edificio histórico de la Casa de la Cultura, ubicado en Uruapan, Michoacán; dicho objetivo se logró a través del análisis por computadora mediante el método de los elementos finitos que el propio software maneja. Por lo tanto, se llegó a la conclusión de que el edificio en cuestión actualmente se encuentra mayormente en condiciones favorables; sin embargo, durante el análisis sísmico y utilizando el espectro de respuesta para la ciudad de Uruapan para sismos de subducción (que representan el mayor riesgo y en los cuales se espera una magnitud máxima de 8.3 grados en la escala de Richter), los esfuerzos que se podrían presentar en los muros por cortante son críticos, pudiendo llevar a una falla parcial o total a la estructura del edificio. Dichos esfuerzos críticos se presentan principalmente en las zonas de las aberturas (puertas y ventanas) y en la zona colindante con el templo de San Francisco, donde los muros de planta baja y planta alta no tienen un adecuado confinamiento.

Asimismo, para el primer objetivo particular del presente trabajo y el cual consistió en establecer de forma cronológica las condiciones pasadas y actuales de la estructura, para identificar los posibles daños y modificaciones a la edificación original, se pudo saber mediante la investigación histórica que la actual construcción no es el edificio original construido en 1534 y que fungía como convento franciscano; sufriendo diversas modificaciones en los siglos siguientes hasta ser el edificio destinado como Casa de la Cultura y que actualmente tiene dicha función.

El siguiente objetivo particular consistió en caracterizar materiales de la estructura, así como su geometría y propiedades mecánicas, a partir de la información

recopilada (investigación teórica y de campo). Se pudieron determinar tres principales materiales utilizados en dicha edificación, así como sus propiedades mecánicas y sus características: adobe, mampostería y madera.

También se logró el tercer objetivo particular, el cual fue definir los principales conceptos de sismicidad y éstos se pueden resumir en: causas de los sismos (tectónica de placas), ondas sísmicas (que a su vez se dividen en ondas de cuerpo y ondas superficiales) y las características de la fuente sísmica (energía, magnitud, intensidad y duración), estos conceptos se abordan de forma detallada en el capítulo 2 de la presente investigación.

Asimismo, se pudo establecer el contexto sísmico a nivel nacional, estatal y municipal, lo cual era el cuarto objetivo particular. Esto llevó a la conclusión de que a nivel nacional, la ciudad de Uruapan perteneciente al estado de Michoacán, se encuentra en una de las zonas con mayor actividad sísmica y en general la región del pacífico sur; siendo la zona norte de país la que representa menor riesgo de sismicidad.

Con respecto al siguiente objetivo que fue definir lo que representa el riesgo sísmico, se pudo conocer que éste involucra el peligro sísmico (probabilidad de que una zona tenga actividad sísmica), la vulnerabilidad de edificaciones y los daños que puedan generarse por esta combinación. En este caso, la vulnerabilidad sísmica de la edificación es de gran importancia, puesto que el edificio se encuentra en una zona con gran actividad sísmica y por lo tanto el riesgo sísmico es importante.

También se pudo explicar los métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica en edificaciones históricas, de ellos se hace mención en el capítulo 3 de este trabajo y a continuación se resumen: método simplificado de revisión sísmica, índice de seguridad sísmica, índice de densidad de muros, y el método del índice de vulnerabilidad.

El siguiente objetivo particular consistió en establecer las bases del método del elemento finito, donde se pudo determinar que dicho método es un método numérico que consiste en dividir un elemento en subregiones llamados “elementos finitos” y en los cuales su comportamiento depende de las características del material.

Finalmente, respecto a los objetivos particulares 8, 9, 10 y 11; éstos fueron logrados ya que se modeló la estructura en el software para su análisis numérico (correspondiente al objetivo número 8), se evaluó la situación sísmica más desfavorable (sismo de subducción) a la que podría enfrentarse la estructura (correspondiente al objetivo número 9), se analizaron los resultados obtenidos mediante el modelado con su interpretación numérica y se establecieron las conclusiones de la investigación (correspondientes a los objetivos 10 y 11 respectivamente).

Cabe mencionar que al inicio de esta investigación se tenían los siguientes cuestionamientos: ¿cuál es la vulnerabilidad sísmica del edificio de la Casa de la Cultura?, ¿qué daños tiene actualmente la estructura? y también, ¿qué comportamiento se espera que tenga la estructura ante un nuevo movimiento telúrico? y una vez obtenidos los resultados determinar: ¿es segura o está comprometida la estabilidad de la construcción?

Así, con el trabajo realizado y respecto a los cuestionamientos anteriores se puede decir que la vulnerabilidad sísmica del edificio de la Casa de la Cultura en Uruapan, Michoacán, es media a alta. Lo anterior debido a que la edificación presenta una geometría relativamente regular y actualmente solo presenta daños en un muro en el lado suroeste, esto último atiende la segunda pregunta. Sin embargo, debido a las características de los materiales con los que está construida y propiamente el adobe, presentan propiedades mecánicas muy pobres, lo que nos lleva a la resolución de la tercera pregunta; ya que ante un sismo de subducción de magnitud esperada el comportamiento de la estructura puede ser de falla parcial o total, sobre todo en la zona donde no se tiene un buen confinamiento de muros.

Finalmente, respecto al cuestionamiento sobre si la estabilidad de la construcción es segura o está comprometida, se puede decir que actualmente la edificación no presenta ningún riesgo, ni tampoco presenta fallas que comprometan su estabilidad. Sin embargo, las construcciones de este tipo (realizadas con adobe) presentan un desempeño generalmente deficiente ante eventos sísmicos moderados o intensos.

Cabe mencionar que durante la investigación realizada se pudieron obtener hallazgos teóricos importantes, como la historia del edificio en cuestión, sobre los materiales y su comportamiento mecánico (como los presentes en dicho edificio), se enriqueció el conocimiento sobre sismicidad y además se pudo conocer más a detalle el método de los elementos finitos, así como los distintos métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Prieto, Berenice. (2008)

Construir con adobe: fundamentos, reparación de daños y diseño contemporáneo.

Editorial Trillas. Colombia.

Bazán, Enrique; Padilla, Marciano y Meli, Roberto. (1982)

Seguridad de casas de adobe ante sismos: estudios analíticos.

Editorial UNAM. México.

Bazán, Enrique y Meli, Roberto. (2002)

Diseño sísmico de edificios.

Editorial Limusa. México.

Fundación ICA, A.C. (1999)

Edificaciones de mampostería para la vivienda.

Editorial Fundación ICA, A.C. México.

Graham McHenry, Paul Jr. (1996)

Adobe: cómo construir fácilmente.

Editorial Trillas. México.

Hernández, Roberto; Fernández, Carlos y Baptista, Pilar. (2010)

Metodología de la investigación.

Editorial McGraw-Hill. México.

Herráiz Sarachaga, Miguel. (1997)

Conceptos básicos de sismología para ingenieros.

Editorial CISMID. Perú.

Martínez Ruiz, Guillermo. (2000)

Peligro sísmico y espectros de diseño para la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Tesis inédita de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo de la ciudad de Morelia, Michoacán, México.

Meli Piralla, Roberto. (1998)

Ingeniería estructural de los edificios históricos.

Editorial Fundación ICA, A.C. México.

Ramos Chávez, Sergio. (2011)

Con el paso del tiempo. Historia contemporánea de Uruapan.

Impresores Christopher. México.

Talavera Ibarra, Oziel. (2008)

Historia del pueblo de indios de San Francisco.

Editorial Morevallado. México.

Tamayo y Tamayo, Mario. (1998)

El proceso de la investigación científica.

Editorial Limusa. México.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Capítulo 1:

Arriaga Martitegui, Francisco. (1986)

Consolidación de estructuras de madera mediante refuerzos embebidos en formulaciones epoxi.

http://oa.upm.es/4437/2/FRANCISCO_ARRIAGA_MARTITEGUI.pdf

Arriaga Martitegui, Francisco., Blasco Casanovas, Joan Ramón. (s/f)

Estructuras: estructuras de madera (jornadas de introducción).

http://arquitectosdecadiz.com/uploads/Actividades_Agenda_Mensual/documentacion_estructuras_madera.pdf

Corporación Chilena de la Madera (CORMA). (2013)

Manual de construcción de viviendas en madera.

<http://www.biblioteca.org.ar/libros/210283.pdf>

Gama Castro, Jorge., Cruz y Cruz, Tamara., Pi-Puig, Teresa., Alcalá Martínez, René., Cabadas Báez, Héctor., Jasso Castañeda, Carolina., Díaz Ortega, Jaime., Sánchez Pérez, Serafín., López Aguilar, Fernando., Vilanova de Allende, Rodrigo. (2012)

Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.

Vol. 64 Número 2

Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica.

[http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/6402/\(3\)Gama.pdf](http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/6402/(3)Gama.pdf)

Gonzáles de la Cotera, Manuel. (s/f)

Construcciones de adobe.

http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_07-20-31110986.pdf

Guerrero Baca, Luis Fernando. (2007)

Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva.

<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8976/7275>

Morales Morales, Roberto., Torres Cabrejos, Rafael., Rengifo, Luis., Irala Candiotti, Carlos. (1993)

Manual para la construcción de viviendas de adobe.

http://www.cridlac.org/cd/cd_asentamientos_humanos/pdf/spa/doc12966/doc12966-contenido.pdf

Rivera Torres, Juan Carlos. (2012)

El adobe y otros materiales constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales.

<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/viewFile/8763/6974%22>

Yamín Lacouture, Luis Eduardo., Phillips Bernal, Camilo., Reyes Ortiz, Juan Carlos., Ruiz Valencia, Daniel. (2007)

Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada.

<http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v20n2/v20n2a09.pdf>

Capítulo 2:

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2001)

Sismos.

<http://cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/163-FASCCULOSISMOS.PDF>

Rojas Rojas, Rafael M., Martínez Ruiz, Guillermo., Jara Guerrero, José M., Navarro Caballero, E., Sánchez Durán, Andrés., López Herrera, Verónica., Barragán Flores, Oscar. (2013)

Microzonificación sísmica para la ciudad de Uruapan, Michoacán.

http://www.academia.edu/27383541/MICROZONACION_SISMICA_PARA_LA_CIUDAD_DE_URUAPAN_MICHOACAN

Zúñiga Dávila, Ramón. (2011)

Notas introductorias: sismología.

<http://www.geociencias.unam.mx/~ramon/sismo/IntroSism.pdf>

Capítulo 3:

Aguilar López, José Luis. (2012)

Predicción de la respuesta sísmica de un edificio colonial del siglo XVI por medio del método de los elementos finitos, considerando su estado actual de daño.

[http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5570/1/JOS%
IS%20AGUILAR%20L%c3%93PEZ.pdf](http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5570/1/JOS%c3%89%20LUI%20AGUILAR%20L%c3%93PEZ.pdf)

Aguilar Carboney, Jorge., González Herrera, Raúl., Ruiz Sibaja, Alejandro., Cruz Díaz, Robertony. (2008)

Análisis de vulnerabilidad de las construcciones del centro histórico de Tapachula y Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

https://www.researchgate.net/publication/273994277_Sociedad_Mexicana_de_Ingenieria_Estructural_Sociedad_Mexicana_de_Ingenieria_Estructural_ANALISIS_DE_VULNERABILIDAD_DE_LAS_CONSTRUCCIONES_DEL_CENTRO_HISTORICO_DE_TAPACHULA_Y_TUXTLA_GUTIERREZ_CHIAPAS

Caicedo, César., Barbat, Alex., Canas, José A., Aguilar, Roberto. (1994)

Vulnerabilidad sísmica de edificios.

<http://www.cimne.com/tiendaCIMNE/free/MIS06.pdf>

Peña Mondragón, Fernando. (2010)

Estrategias para el modelado y el análisis sísmico de estructuras históricas.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n83/n83a3.pdf>

Sánchez Cárdenas, María Inés. (2013)

Vulnerabilidad sísmica de construcciones patrimoniales históricas de mampostería en Chile: aplicación a los torreones españoles de Valdivia.

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcis211v/doc/bmfcis211v.pdf>

Otros.

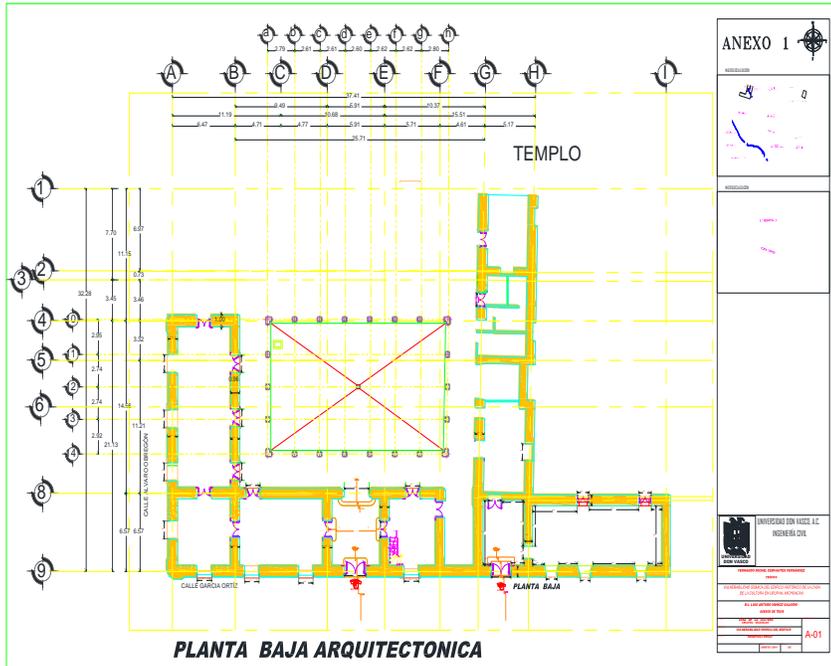
<https://www.google.com.mx/maps>

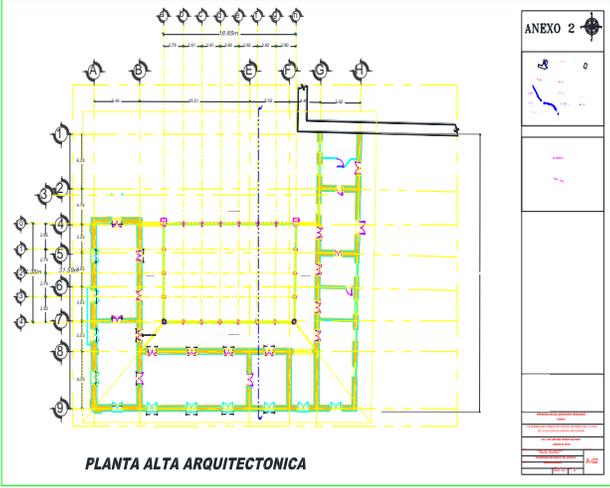
<https://es.wikipedia.org/wiki/Uruapan>

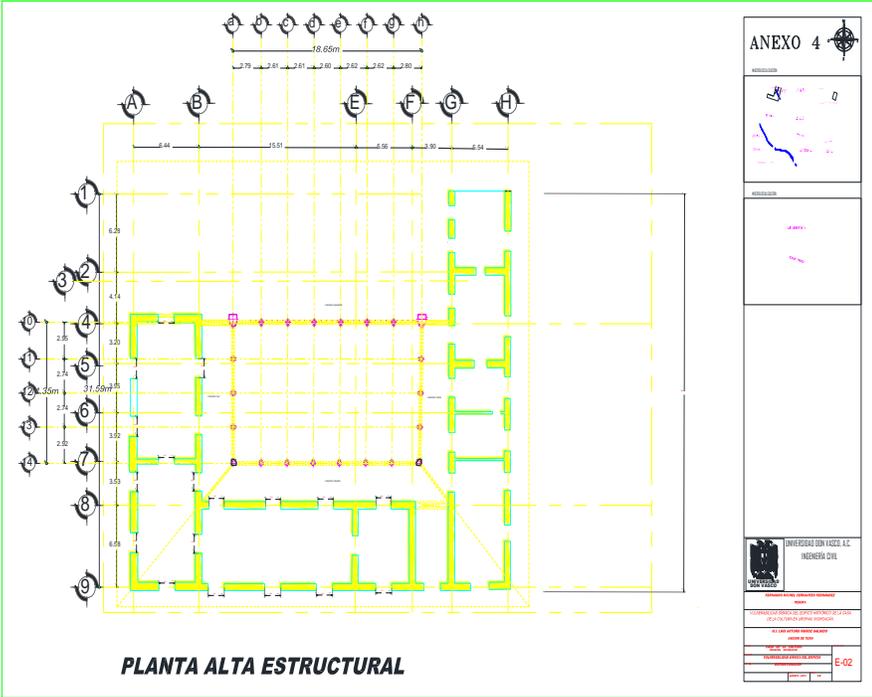
<http://www.inegi.org.mx/>

<http://www.atlasmacionalderiesgos.gob.mx/>

Anexos







ANEXO 4



UNIVERSIDAD DON BOSCO S.A.S.	
INGENIERIA CIVIL	
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
CATEDRA DE ESTRUCTURAS	
PROYECTO DE GRADUACION	
TITULO: []	
AUTOR: []	
FECHA: []	
E-02	