



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN URBANISMO**

**RIESGO ANTRÓPICO EN VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS UBICADAS  
EN LA REGIÓN SURESTE DE MÉXICO:  
UN ESTUDIO ESTRUCTURAL, SOCIAL Y NORMATIVO**

**T E S I S**  
**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**  
**DOCTORA EN URBANISMO**

**PRESENTA:**  
**MARITZA GALIOTE JUÁREZ**

**TUTOR PRINCIPAL:**  
**DR. DAVID MORILLÓN GÁLVEZ**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA**

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:**  
**DR. HERMILO SALAS ESPÍNDOLA**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA**  
**DR. EFRAÍN OVANDO SHELLEY**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA**

**SINODALES:**  
**DRA. ESTHER MAYA PÉREZ**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA**  
**DR. CARLOS ALONSO CRUZ NOGUEZ**  
**INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX., JUNIO DE 2017**



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.



Tutor:

**DR. MORILLÓN GÁLVEZ DAVID**

Instituto de Ingeniería, UNAM

Cotutores:

**DR. SALAS ESPÍNDOLA HERMILO**

Facultad de Arquitectura, UNAM

**DR. OVANDO SHELLEY EFRAÍN**

Instituto de Ingeniería, UNAM

Sinodales:

**DRA. MAYA PÉREZ ESTHER**

Facultad de Arquitectura, UNAM

**DR. CRUZ NOGUEZ CARLOS ALONSO**

Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Alberta



Dedicada a la memoria de

***Sofía García Huerta*** †

1935 - 2006

*Mi querida abuelita, quien me enseñó  
lo fácil que es vivir cuando se es feliz,  
pues no se necesita tener bienes materiales  
para creer, soñar, construir y saber agradecer.*

**Sofía, te amo.**

Siempre seré “*tu Mari*”.



## **Agradecimientos:**

A mi hija *Larissa* por transformar mi vida y darle más amor.

A *Ramón* por seguirme el paso y no soltarme.

A mi mamá *Sol* por su amor, comprensión, inteligencia y tesón.

A mis hermanos *Diana* y *Ariel* por el apoyo que recibo día a día.

A mis sobrinos *Jesús* y *Valentine* por hacerme sonreír.

A mi cuñada *Hermelinda* por hacerme tía de dos hermosos niños.

A mi abuelito *Carlos* por heredarme el afecto al conocimiento.

A mi tía *Francisca* por su apoyo cuando más lo necesitaba.

Al Dr. *David Morillón Gálvez* por su dedicación en la dirección de la tesis, compromiso y confianza.

A los doctores *Hermilo Salas Espíndola*, *Efraín Ovando Shelley*, *Esther Maya Pérez*, *Carlos Alonso Cruz Noguez* y *José Alberto Escobar Sánchez* por su amistad y por sus valiosos comentarios y sugerencias al presente trabajo.

Al Dr. *Enrique Ramírez Valverde* por su gran amistad y por creer en mí siempre.

A todos mis *amigos* por escucharme, quererme y aconsejarme; en especial al Dr. *Carlos Humberto Huerta Carpizo* por sus aportaciones a la tesis y su ayuda en algunos modelos matemáticos y al Ing. *Jairo Javier Madera Rodríguez* por su apoyo con la aplicación de encuestas.

Al *CONACYT* por la beca otorgada durante mis estudios de doctorado.

Al *Instituto de Ingeniería* de la UNAM, por todas las facilidades técnicas proporcionadas en sus instalaciones durante la realización del presente trabajo.

A la *UNAM* por todos los beneficios que me dio el pertenecer a la máxima casa de estudios.



## RESUMEN

La mayoría de los países en desarrollo no cuentan con medidas de organización, prevención o mitigación necesarias para enfrentar situaciones adversas. Esto sucede porque los habitantes y las instituciones a nivel urbano-regional, no se encuentran coordinados de una manera adecuada, y al no poder lidiar con el problema inmediato, la pobreza y las condiciones de vulnerabilidad aumentan. Eso implica un entorpecimiento en el desarrollo de los territorios y en consecuencia, un aumento en los niveles de vulnerabilidad para las personas y para sus bienes. Esta tesis investiga el riesgo antrópico (generado por el hombre) asociado a las detonaciones provocadas por los estudios de prospección sísmica que está produciendo Petróleos Mexicanos (Pemex) a nivel regional durante la búsqueda de yacimientos de petróleo y gas. En particular, se profundiza en los aspectos necesarios para elaborar un análisis integral y original que permita prevenir el riesgo. El escenario específico comprende los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, ubicados en el estado de Tabasco, en México, zona rica en hidrocarburos. El análisis realizado para dicha región contempla apropiadamente y con detalle el aspecto constructivo de las edificaciones presuntamente afectadas, tanto desde un punto de vista teórico (simulaciones, análisis), como de uno experimental (mediciones, inspecciones), así como también los aspectos sociales y normativos que lo condicionan. La presente investigación busca mitigar el riesgo antrópico y evitar el daño estructural hacia las edificaciones de los habitantes de la zona, reduciendo así sus niveles de vulnerabilidad, de manera que los pobladores se sientan seguros en sus viviendas. El estudio demuestra que, contrario a lo que inicialmente se planteó en la hipótesis de la investigación, la afectación producida por los estudios de prospección sísmica hacia las edificaciones analizadas es mínima y, dadas sus características estructurales, se concentra en áreas muy particulares identificadas con base en las propiedades del suelo. En contraste, los principales riesgos que se identificaron corresponden, desde un punto de vista ingenieril, a viviendas autoconstruidas de manera inadecuada, producto de la falta de conocimiento y limitaciones económicas de las familias que las habitan, y desde un punto de vista social, a la inseguridad que se padece en un estado que lejos de disfrutar de la abundancia asociada a la riqueza de hidrocarburos, agricultura y ganadería, se encuentra en condiciones de pobreza y de abuso por parte de bandas criminales bien organizadas en deterioro del tejido social, educativo y económico de la región. El análisis se complementa con un estudio de la normatividad imperante en la materia de que trata este trabajo, la cual se puede resumir como escasa y rebuscada, especialmente cuando se compara con la que se aplica en otras naciones de los Continentes Americano y Europeo. Con base en los hallazgos derivados del estudio, y como una aportación adicional de este trabajo para mejorar las viviendas y, por tanto, la calidad de vida de los pobladores, se presenta una estrategia que podría propiciar un proceso de autoconstrucción eficiente y acorde con las particularidades de la región. Esto a su vez podría ser favorable para las empresas que realizan estudios geofísicos en la zona, dando lugar a un círculo virtuoso. Este trabajo de investigación representa un paso hacia la reivindicación de los derechos de un conjunto de poblaciones que por su cultura y privilegiada situación geográfica deberían de presentar un nivel de calidad de vida muy por encima del que actualmente gozan.



## ABSTRACT

Most of developing countries are unprepared to avoid or lessen the effects that result from adverse situations affecting their population. In many cases, this occurs because there is a lack of coordination between the inhabitants and the governmental institutions in charge of dealing with such unpleasant situations. This, in turn, increases the level of underdevelopment and poverty of the affected regions, and augments the vulnerability of the people and their belongings. This thesis work presents an investigation about the anthropic risk (i.e. of human origin) that is produced by the detonations associated to the geological seismic surveys carried out by Petroleos Mexicanos (Pemex) as part of its exploration policy to find new oil and gas wells in a specific region of Mexico. To this end, a complete and original analysis is here carried out to help in the prevention of the associated anthropic risk. Our research work focuses on the municipalities of Cardenas and Huimanguillo, located in the state of Tabasco, in Mexico, an area that is well-known for its rich oil reserves. Our detailed analysis deals with most of the constructive aspects of the buildings that are allegedly affected by the geological surveys. It follows a theoretical (simulation, analysis) and experimental (measurements, observation) approach to the problem, together with the consideration of social and legal aspects. We expect that this work will help to reduce the associated anthropic risk and to reduce the structural damage of the houses, thus decreasing the vulnerability level and increasing the overall security of the investigated area. In particular, our analysis demonstrates that, in contrast to what it was expected from the research hypothesis, the deleterious effects produced by the geological surveys on the buildings of the studied area can be considered negligible, and these effects can be narrowed down to specific areas characterized by soft soils. However, from an engineering standpoint, the main detected risks comes from the low quality standards observed during the construction of the self-built houses, consequence of the lack of knowledge and economic constraints of the dwellers. From a social standpoint, the main risks arise from the high insecurity level produced by poverty and the increasing crime rate. This severely harms the social, economic and educational situation of a state that is rich in oil, agriculture and cattle production. Our analysis has been complemented with an investigation of the laws that apply to the problem, finding that they can be summarized as insufficient and involved, especially when compared to the corresponding legal codes employed in other foreign countries. Based on the findings of this work, an additional contribution of this thesis constitutes a strategy to stimulate the inhabitants of the studied area to self-build an inexpensive house. As expected, the recommendations here proposed attend the economic, climatic and geotechnical aspects of this particular area and it thus represents a tangible benefit to its population and even to the firms in charge of carrying the seismic surveys, thence generating a virtuous circle. Our research work can hence be considered a step towards restating the rights of a group of townships that, according to their culture and privileged location, should be enjoying a higher quality of life than the one they are actually experiencing.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<i>ix</i>
<b>ABSTRACT</b>	<i>xi</i>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	<i>xiii</i>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<i>xvii</i>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<i>xxi</i>
<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1. ANTECEDENTES	6
1.2. MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	11
1.4. OBJETIVOS	11
1.5. APORTACIONES ORIGINALES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	12
<b>CAPÍTULO 2: ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO</b>	<b>15</b>
2.1. VULNERABILIDAD Y RIESGO	15
2.1.1. Riesgo antrópico: definición del riesgo presente en la región	16
2.1.2. Del riesgo natural al riesgo antrópico	18
2.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO	19
2.3. FUNDAMENTOS DE SEGURIDAD	22
2.4. FUNDAMENTOS PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES A BASE DE MAMPOSTERÍA	26
2.4.1. Teoría para analizar el comportamiento inelástico de estructuras de mampostería	29
2.4.2. Programa CANNY	33
2.5. MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	34
2.6. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN TÉRMINOS DE LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO	37
2.7. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN SOCIAL Y LEGAL	39
<b>CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO</b>	<b>41</b>
3.1. CONDICIONES DEL MEDIO NATURAL DE HUIMANGUILLO Y CÁRDENAS	42
3.1.1. Edafología	44
3.1.2. Geología	44
3.1.3. Hidrografía	47
3.1.4. Fisiografía	48
3.1.5. Clima	49
3.1.6. Flora, fauna y recursos naturales	50
3.2. RESEÑA HISTÓRICA DE HUIMANGUILLO	52
3.3. RESEÑA HISTÓRICA DE CÁRDENAS	53
3.4. EL ÁREA URBANA DE LOS MUNICIPIOS DE HUIMANGUILLO Y CÁRDENAS	54
3.5. CONDICIONES DE LA PROVINCIA PETROLERA DEL SURESTE	57

<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS AFECTACIONES</b>	<b>61</b>
4.1. ANTECEDENTES	61
4.2. IDENTIFICACIÓN DE LA REGIÓN Y DE LAS POBLACIONES ESTUDIADAS	68
4.2.1. Distribución espacial de las poblaciones estudiadas	69
4.2.2. Registro de microtemores para la microzonificación de las poblaciones estudiadas	72
4.3. CRITERIO DE SELECCIÓN DE LAS POBLACIONES Y OBTENCIÓN DE REGISTROS DE VELOCIDAD	75
4.3.1. Aplicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007	77
4.4. CLASIFICACIÓN DE LAS VIVIENDAS DEL ESTUDIO	81
4.4.1. Población C22 Lic. José María Pino Suárez	81
4.4.2. Población C26 General Pedro C. Colorado	83
4.4.3. Población C27 Eduardo Chávez Ramírez	85
4.4.4. Población C44 San Fernando	86
4.4.5. Población C52 Pico de Oro, 1ra sección	88
4.4.6. Población C59 Ingenio Presidente Benito Juárez	90
4.5. CRITERIO DE SELECCIÓN DE MODELOS	91
4.5.1. Calibración de modelo representativo	91
4.5.2. Instrumentación del modelo analizado	95
4.5.3. Análisis de la respuesta estructural del modelo M1	96
4.5.4. Frecuencias de vibración del modelo M1	96
4.5.5. Resultados de la respuesta estructural del modelo M1 ante registros de explosiones	96
4.6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS DE HUIMANGUILLO Y CÁRDENAS	98
4.6.1. Características generales de las viviendas estudiadas	98
4.6.2. Viviendas representativas analizadas	99
4.6.3. Geotecnia general de las viviendas estudiadas	102
4.6.4. Condición general de las viviendas estudiadas	103
4.7. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS TÍPICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO	105
4.7.1. Modelación estructural de las viviendas tipo	105
4.7.1.1. Vivienda V1	106
4.7.1.2. Vivienda V2	106
4.7.1.3. Vivienda V3	107
4.7.1.4. Vivienda V4	107
4.7.1.5. Vivienda V5	109
4.7.1.6. Vivienda V6	109
4.7.2. Instrumentación y pruebas de vibración ambiental de las viviendas	110
4.8. RESPUESTA ESTRUCTURAL CALCULADA PARA LAS VIVIENDAS DEL ESTUDIO	113
4.8.1. Frecuencias de vibración de las viviendas	114
4.8.2. Respuesta estructural de las viviendas ante registros de explosiones	114
4.9. ANÁLISIS INELÁSTICO DE LAS VIVIENDAS DEL ESTUDIO	117
4.10. ANÁLISIS EN DOS ESCENARIOS DESFAVORABLES	118

4.10.1. Modelación de la vivienda (M2)	119
4.10.2. Análisis por daño acumulado	122
4.10.3. Análisis por degradación de propiedades	122
4.11. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE LAS VIVIENDAS DEL ESTUDIO	124
<b>CAPÍTULO 5: LA AFECTACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA SOCIAL</b>	<b>127</b>
5.1. RECOPIACIÓN DE DATOS DE LOS HABITANTES	127
5.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA CON LOS HABITANTES	132
5.3. CONSIDERACIONES RESULTADO DEL ACERCAMIENTO CON LA POBLACIÓN	145
<b>CAPÍTULO 6: MARCO LEGAL DE LA AFECTACIÓN</b>	<b>149</b>
6.1. ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN NACIONAL EXISTENTE EN LA MATERIA	150
6.1.1. Manifestación de Impacto Ambiental	154
6.1.2. Legislación aplicable	155
6.1.3. Discusión	156
6.2. ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN INTERNACIONAL EXISTENTE EN LA MATERIA	158
6.2.1. Reglamentación en Noruega	160
6.2.2. Reglamentación en Canadá	161
6.2.3. Reglamentación en Estados Unidos de América	163
6.2.4. Observaciones	164
<b>CAPÍTULO 7: ESTRATEGIAS PARA MITIGAR LA AFECTACIÓN EN VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS</b>	<b>167</b>
7.1. CONSIDERACIONES MÍNIMAS EN LA AUTOCONSTRUCCIÓN	167
7.1.1. Materiales más utilizados en la construcción	168
7.1.2. Terreno: elección, limpieza, nivelación y trazado	173
7.1.3. Cimentación	177
7.1.4. Materiales y mano de obra	178
7.1.5. La vivienda y el clima	179
7.1.6. La vivienda contra incendios y vibraciones en el terreno	187
7.1.7. Muros y techos	192
7.2. PROPUESTA ARQUITECTÓNICA DE VIVIENDA	195
7.3. COMENTARIOS FINALES	197
<b>CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES</b>	<b>199</b>
8.1. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	201
8.2. VULNERABILIDAD SOCIAL	202
8.3. DEBILIDADES EN EL ASPECTO LEGAL	202
8.4. INTERRELACIÓN ESTRUCTURAL, SOCIAL Y LEGAL	203
8.5. RECOMENDACIONES	205

<b>REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>207</b>
<b>APÉNDICES</b>	<b>215</b>
I. GLOSARIO DE TÉRMINOS	215
II. ELEMENTOS BASE PARA EL ANÁLISIS SOCIAL	225

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Nombre</b>	<b>Página</b>
1.1.	Mapa que muestra la ubicación de la región “Herradura Norte 3D Ampliación de los Municipios de Cárdenas y Huimanguillo” en el estado de Tabasco.	9
2.1.	Alegoría de la problemática suscitada en la región sureste de México.	17
2.2.	Proceso de evaluación del riesgo.	19
2.3.	Posibles consecuencias debidas a las propiedades del suelo.	20
2.4.	Ficha técnica aplicada por Pemex en 2012 para la inspección de viviendas.	25
2.5.	Contribuciones al desplazamiento total de los muros.	27
2.6.	Falla de castillo por tensión diagonal.	27
2.7.	Comportamiento de los materiales, curva esfuerzo-deformación.	30
2.8.	Comportamiento de la mampostería confinada ante cargas cíclicas.	31
2.9.	Curva trilineal propuesta por Meli.	32
2.10.	Elemento panel de cortante.	34
2.11.	Diferentes estrategias de modelado de la mampostería con elementos finitos.	35
3.1.	Distribución de los municipios del estado de Tabasco.	41
3.2.	Ubicación geográfica del municipio de Huimanguillo, Tabasco.	43
3.3.	Ubicación geográfica del municipio de Cárdenas, Tabasco.	44
3.4.	Litoestratigrafía regional del sureste mexicano.	45
3.5.	Regiones hidrográficas del estado de Tabasco.	47
3.6.	Distribución de ríos, lagos y lagunas del estado de Tabasco.	48
3.7.	Distribución climática del estado de Tabasco.	49
3.8.	Usos del suelo y vegetación del municipio de Huimanguillo.	55
3.9.	Iglesia de San Antonio de Padua en Cárdenas, Tabasco.	56
3.10.	Usos del suelo y vegetación del municipio de Cárdenas.	57
3.11.	Límites geológicos de la provincia petrolera sureste y su división en tres provincias geológicas.	58
4.1.	Ubicación general del área estudiada por la UNAM en 2003.	65
4.2.	Delimitación de la región de estudio.	69
4.3.	Ubicación de las poblaciones excluidas en el estudio.	71
4.4.	Ubicación de las 24 poblaciones estudiadas.	71
4.5.	Puntos de medición de microtemores de la red temporal ubicada en la población C22 José María Pino Suárez.	72
4.6.	Equipo utilizado para el registro de microtemores y sismos ubicado en la población C22 José María Pino Suárez.	73
4.7.	Zona 1: familias espectrales estimadas para la población C22 José María Pino Suárez.	73
4.8.	Zona 2: familias espectrales estimadas para la población C22 José María Pino Suárez.	74
4.9.	Zona 3: familias espectrales estimadas para la población C22 José María Pino Suárez.	74

4.10.	Mapa de microzonificación sísmica de la población C22 José María Pino Suárez.	75
4.11.	Ubicación espacial de las poblaciones que presentaron efectos de sitio.	76
4.12.	Puntos de tiro en la población C52 Pico de Oro, 1ra Sección.	77
4.13.	Aplicación a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007.	78
4.14.	Ejemplo de la norma NOM-026-SESH-2007 de la velocidad máxima de partícula vs. distancia.	79
4.15.	Ejemplo de la aplicación a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007, para ocho poblaciones analizadas.	79
4.16.	Distribución espacial de las viviendas de la población C22 Lic. José María Pino Suárez.	81
4.17.	Distribución espacial de las viviendas desplantadas en zonas con efectos de sitio (primera restricción).	82
4.18.	Distribución espacial de las viviendas con posible daño causado por las explosiones (segunda restricción).	82
4.19.	Viviendas de la población C22 Lic. José María Pino Suárez.	83
4.20.	Distribución espacial de las viviendas de la población C26 General Pedro C. Colorado.	83
4.21.	Distribución espacial de las viviendas seleccionadas en la población C26 General Pedro C. Colorado, que atienden las restricciones de la NOM-026-SESH-2007.	84
4.22.	Estado de las viviendas de la población C26 General Pedro C. Colorado.	84
4.23.	Distribución espacial de las viviendas de la población C27 Eduardo Chávez Ramírez.	85
4.24.	Distribución espacial de las viviendas seleccionadas en la población C27 Eduardo Chávez Ramírez, que atienden las restricciones de la NOM-026-SESH-2007.	85
4.25.	Estado de las viviendas de la población C27 Eduardo Chávez Ramírez.	86
4.26.	Distribución espacial de las viviendas de los reclamantes de la población C44 San Fernando.	87
4.27.	Distribución espacial de las viviendas que fueron seleccionadas de la población C44 San Fernando, con posible daño causado por las explosiones y que pasaron la primera y segunda restricción.	87
4.28.	Viviendas de la población C44 San Fernando.	88
4.29.	Distribución espacial de las viviendas de los reclamantes de la población C52 Pico de Oro, 1ra sección.	89
4.30.	Distribución espacial de las viviendas que fueron seleccionadas de la población C52 Pico de Oro, 1ra sección, con posible daño causado por las explosiones y que pasaron la primera y segunda restricción.	89
4.31.	Viviendas visitadas en la población C52 Pico de Oro, 1ra sección.	89
4.32.	Distribución espacial de las viviendas de los reclamantes de la población C59 Ingenio Presidente Benito Juárez.	90
4.33.	Distribución espacial de las viviendas de la población C59 Ingenio Presidente Benito Juárez.	90
4.34.	Modelo de vivienda analizada (M1).	92
4.35.	Curvas de histéresis fuerza cortante-distorsión derivada del estudio experimental.	92

4.36.	Curva de histéresis fuerza cortante-distorsión del modelo analítico.	94
4.37.	Curvas de histéresis fuerza cortante-distorsión de los modelos experimental y analítico.	95
4.38.	Modelo matemático de la vivienda analizada.	96
4.39.	Historia de aceleraciones del suelo a las que se sometió el modelo M1.	97
4.40.	Ubicación de las viviendas visitadas y estudiadas durante 2014.	101
4.41.	Condición de las viviendas visitadas en 2014.	104
4.42.	Estructuración de la vivienda V1.	106
4.43.	Estructuración de la vivienda V2.	107
4.44.	Estructuración de la vivienda V3.	108
4.45.	Estructuración de la vivienda V4.	108
4.46.	Estructuración de la vivienda V5.	109
4.47.	Estructuración de la vivienda V6.	110
4.48.	Instalación y equipo utilizado para realizar las pruebas de vibración ambiental en las viviendas del estudio.	111
4.49.	Ubicación de acelerómetros en las pruebas de vibración ambiental.	112
4.50.	Modelos estructurales de las viviendas estudiadas.	113
4.51.	Historia de aceleraciones del suelo a las que se sometió el modelo de la vivienda V1.	115
4.52.	Respuesta máxima de las viviendas V1 y V4 al someterse a detonaciones repetidas en dirección transversal.	115
4.53.	Historia de desplazamientos de la vivienda V1 debido a los registros de las detonaciones repetidas en las direcciones transversal y longitudinal.	116
4.54.	Modelo de histéresis de la mampostería y modelo estructural inelástico de la vivienda V4.	117
4.55.	Historia de distorsiones de entepiso de la vivienda V4.	118
4.56.	Vivienda estudiada para generación de modelo M2.	119
4.57.	Perspectivas del modelo estructural M2.	120
4.58.	Historias registradas de explosiones.	120
4.59.	Respuesta del modelo M2 (representación de la deformación máxima debida a explosiones subterráneas).	121
4.60.	Respuestas de la estructura ante las explosiones en desplazamiento y distorsión.	121
4.61.	Respuesta de la estructura ante la acumulación de daño debida a 4 explosiones.	122
4.62.	Respuesta de la estructura por reducción de rigideces.	123
5.1.	Pobladores respecto al género.	130
5.2.	Tiempo de asentamiento de los encuestados.	132
5.3.	Porcentaje de población participativa por género (encuesta E2)	135
5.4.	Población participativa por edad en porcentaje.	135
5.5.	Clasificación migratoria.	139
5.6.	Problemas sociales identificados.	140
5.7.	Comparativa entre la percepción de los habitantes por la inseguridad ante la estadía de grupos de delincuencia y la empresa Pemex.	144

5.8.	Conexión sugerida para viviendas seguras con base en las demandas de los pobladores de Huimanguillo y Cárdenas (según encuesta efectuada).	146
6.1.	Relación que presentan los textos legislativos más relevantes analizados en esta tesis.	150
6.2.	Interpretaciones desde el punto de vista legal de las afectaciones en estudio.	153
6.3.	Esquemático que muestra la realización de pruebas de prospección geológica en el lecho marino.	159
7.1.	Tendido de hilos.	175
7.2.	Trazo de perpendiculares.	175
7.3.	Nomenclatura de un cimientto.	177
7.4.	Representación del alero.	181
7.5.	Casos específicos de aleros.	182
7.6.	Representación del partesol.	182
7.7.	Casos específicos en partesoles.	183
7.8.	Ejemplos de dispositivos de control solar.	183
7.9.	Representación de losas inclinadas.	185
7.10.	Ejemplo de chaflanes para aislar las uniones.	185
7.11.	Representación de repisones y pretiles.	186
7.12.	Recomendaciones generales para el clima cálido húmedo.	187
7.13.	Regionalización sísmica.	189
7.14.	Ejemplo de cálculo de longitud mínima de muros.	190
7.15.	Representación de castillos y cadenas.	193
7.16.	Construcción de un techo.	195
7.17.	Primera opción arquitectónica.	196
7.18.	Segunda opción arquitectónica.	196
8.1.	Matriz de interrelación entre los diferentes aspectos contemplados en el análisis realizado.	204

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Nombre</b>	<b>Página</b>
2.1.	Distorsiones de entrepiso en sistemas estructurales a base de mampostería.	38
3.1.	Clasificación de la fauna en Huimanguillo y Cárdenas.	51
4.1.	Poblaciones localizadas fuera del polígono de estudio.	70
4.2.	Información de las poblaciones seleccionadas para el estudio.	70
4.3.	Poblaciones seleccionadas para el estudio con base en las consideraciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007 y del número de reclamaciones.	80
4.4.	Propiedades mecánicas de la mampostería estudiada.	93
4.5.	Valores de $F_y$ , $F_c$ y $V_{mR}$ del muro representativo.	94
4.6.	Propiedades geométricas del muro representativo.	94
4.7.	Frecuencias de vibración fundamental, medidas a partir de las pruebas de vibración ambiental, de las viviendas instrumentadas.	95
4.8.	Frecuencias de vibración fundamental calculadas del modelo M1.	96
4.9.	Distorsión de entrepiso máxima y mínima calculada para el modelo M1.	97
4.10.	Viviendas visitadas y estudiadas en 2014.	100
4.11.	Características de las viviendas seleccionadas para el estudio.	105
4.12.	Frecuencias de vibración fundamental de las viviendas instrumentadas.	112
4.13.	Frecuencias de vibración fundamental calculadas, de las viviendas instrumentadas.	114
4.14.	Distorsión de entrepiso calculada para las viviendas del estudio, sometidas a los registros de las explosiones en el suelo sobre el que se encuentran construidas.	117
5.1.	Poblaciones estudiadas.	129
5.2.	Lenguas indígenas más habladas en el estado de Tabasco.	131
5.3.	Máximo nivel de estudios de los encuestados en porcentaje.	136
5.4.	Principales indicadores sociodemográficos de Huimanguillo y Cárdenas.	136
5.5.	Ingreso promedio mensual de los encuestados en porcentaje.	138
5.6.	Principales comisiones del municipio de Cárdenas.	141
5.7.	Principales comisiones del municipio de Huimanguillo.	141
5.8.	Conformación de las autoridades auxiliares del Ayuntamiento de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo.	142
5.9.	Organización administrativa de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo.	142
6.1.	Reservas de petróleo calculadas para los países principales.	160
6.2.	Distancia mínima entre fuente explosiva y pozos o tuberías de petróleo o gas según la regulación canadiense.	162
6.3.	Distancia mínima expresada en pies entre fuente explosiva y otros objetos según la regulación estadounidense.	164

7.1.	Resistencia y elaboración del concreto ante diferentes usos constructivos.	170
7.2.	Proporción de mezcla de concreto en los usos más comunes (grava de $\frac{3}{4}$ ).	170
7.3.	Proporción de mezcla de concreto en los usos más comunes (grava de $1 \frac{1}{2}$ ).	171
7.4.	Situación de riesgo/costo ante distintas pendientes de terreno.	174
7.5.	Tipos de terreno.	176
7.6.	Cimentación para construcciones de un nivel.	177
7.7.	Cimentación para construcciones de dos niveles.	178
7.8.	Características y recomendaciones aplicables para diferentes tipos de edificaciones en clima cálido húmedo.	184
7.9.	Longitud de muro necesaria por metro cuadrado de construcción.	189
7.10.	Tipos de techos para viviendas.	194

# PRESENTACIÓN

Existen diversas causas por las que las edificaciones pueden sufrir daños o deterioros que afectan su aspecto exterior o interior, su funcionalidad, o peor aún, su seguridad, lo que puede implicar poner en riesgo la vida de sus habitantes.

Si bien es cierto que el daño hacia las personas y sus edificaciones puede ser causado por fenómenos naturales tales como sismos, deslizamientos de tierra, hundimientos, inundaciones, huracanes, lluvias torrenciales, desborde de ríos, etc., también se puede sufrir daño debido a la acción humana. Esta última afectación está directamente relacionada con la actividad y el comportamiento del hombre y se clasifica como *riesgo antrópico*<sup>1</sup>. Dicho riesgo es la consecuencia de una actividad particular y puede hacer vulnerables a las personas y a las construcciones, más aún cuando se presenta en alguna región como un fenómeno desconocido para el que se está más expuesto. El riesgo antrópico puede manifestarse de diferentes maneras, una de ellas corresponde al caso en que se conoce la presencia o magnitud del riesgo antes de realizar asentamientos, lo que permite en ocasiones, tomar las medidas o prevenciones necesarias para mitigarlo, siempre que el conocimiento y la economía lo permitan. Sin embargo, el riesgo antrópico también se puede presentar muchos años después de que las personas edificaron sus viviendas, por lo que su nivel de vulnerabilidad aumenta al no estar diseñadas para resistir los efectos de ese riesgo.

En este trabajo se desarrolla un estudio que permite identificar y cuantificar los impactos derivados de la ocurrencia de vibraciones producidas durante los estudios de *prospección sísmica de reflexión profunda*<sup>2</sup>, que realiza la empresa Pemex para localizar y extraer eficientemente hidrocarburos. La región de estudio comprende los municipios de Cárdenas y Huimanguillo ubicados en el suroeste del estado de Tabasco.

El estudio sugiere un proceso con el que es posible determinar los impactos que está produciendo Pemex a nivel regional hacia las poblaciones vulnerables, y en consecuencia, hacia las personas ubicadas en las zonas de mayor riesgo. De igual manera, se presentan un conjunto de estrategias de autoconstrucción con las que es posible reducir la afectación que se presenta, tanto por riesgo antrópico como por causas naturales, hacia las viviendas de los pobladores de la región y por ende en sus formas de vida y economía.

---

<sup>1</sup> Son los riesgos producidos por actividades humanas que se han ido desarrollando a lo largo del tiempo. Están directamente relacionados con la actividad y el comportamiento del hombre" (112 Asturias, 2013).

<sup>2</sup> Consiste en generar ondas sísmicas mediante una fuente emisora y registrarlas en una serie de estaciones sensoras distribuidas sobre el terreno. "La técnica geofísica más utilizada en la prospección de petróleo es la sísmica de reflexión ya que permite obtener una imagen directa de la estructura geológica de las cuencas exploradas. Mediante este método se localizan las estructuras trampa, susceptibles de alojar petróleo, y se establecen los puntos a prospectar mediante sondeos directos" (EsGeo Estudios Geofísicos, 2013).

## PRESENTACIÓN

Para efectos de este estudio, se realiza una separación entre vulnerabilidad humana y vulnerabilidad estructural. La vulnerabilidad humana se refiere al grado de afectación al que los ocupantes de una edificación pueden ser susceptibles, tales como número de víctimas, heridos, daños e inclusive, la muerte: está en función de la intensidad de un desastre.

Por otro lado, la vulnerabilidad estructural se refiere al porcentaje de daño o afectación que puede presentarse en un elemento o grupo de elementos de las edificaciones ante la presencia de una amenaza resultado de la ocurrencia de un suceso desastroso.

El presente estudio puede servir como herramienta para efectuar análisis de intervención correctos, tanto para la investigación, como para entidades municipales, mediante acciones orientadas a reducir la condición de riesgo, de tal manera que los estudios y los métodos en que se fundamenta este trabajo puedan ser útiles para aplicarlos a otras regiones, incluso fuera de México, en las que se susciten situaciones análogas. De esa manera, la tesis se encuentra dividida en ocho capítulos, mismos que se describen brevemente a continuación.

El capítulo uno, primeramente, presenta los resultados de un análisis bibliográfico referente a la temática central de esta tesis, donde se hace evidente que en términos de las afectaciones producidas, las publicaciones referentes a los estudios de prospección sísmica realizados en el océano superan en número a las exploraciones hechas en tierra. Además, las investigaciones reportadas en estas últimas, están enfocadas al estudio de afectaciones de tipo ambiental, es decir, no contemplan las afectaciones que pudieran sufrir las viviendas sujetas a los efectos de las vibraciones del subsuelo. A partir de este análisis se reconoce entonces, un nicho de oportunidad para la investigación doctoral, que por su propia naturaleza resulta ser original. Adicionalmente, se pone de manifiesto la motivación que propició el estudio de la zona y su afectación. Finalmente, con el fin de darle mayor estructura al reporte de la investigación doctoral, se definen las preguntas y objetivos del trabajo, y se enlistan las aportaciones de la investigación.

En el capítulo dos se presenta la definición de los conceptos principales del estudio, así como parte del marco metodológico. En la primera parte, se estudia el concepto de vulnerabilidad estructural (posible daño en las viviendas), y se analiza el fenómeno que puede producirla, definido como riesgo antrópico. En la segunda parte se describen los métodos de evaluación estructural empleados en la presente investigación. De igual manera, se presentan los criterios de seguridad considerados para la evaluación correcta de las edificaciones que permita aminorar los riesgos. Se presentan los fundamentos y métodos para efectuar el análisis del comportamiento estructural y los de evaluación de la vulnerabilidad en términos de la distorsión de entrepiso. Por último, se menciona el enfoque metodológico para efectuar el análisis social y normativo de la investigación.

En el capítulo tres, se presentan las singularidades de la región de estudio, esto es, su distribución geográfica y las condiciones del medio natural que presenta. Se hace una reseña histórica de los municipios, misma que permite identificar y conocer más a fondo la cultura a la que se remonta y la fecha de los primeros asentamientos. Con ello, se busca comprender las razones que llevaron a los habitantes a establecerse en ese sitio. Además, se presenta de manera general el área urbana de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo.

El capítulo cuatro está enfocado a la aplicación del presente trabajo, esto es, se estudia el comportamiento y la respuesta estructural de seis viviendas sometidas a las vibraciones producidas por los estudios de prospección sísmica que efectúa la empresa Pemex. Para lograrlo, primero se describe de manera concisa, el problema de afectación que presentan los habitantes y la región del presente estudio. Se describe la importancia que tiene para el país la producción de hidrocarburos, lo que a su vez repercute, en muchas ocasiones, en efectos adversos hacia los individuos y su entorno. Por otro lado, se comentan los antecedentes del problema de investigación y se indica cómo se clasificaron las poblaciones, las zonas más vulnerables de dichas poblaciones y las viviendas para el análisis. Se presentan los estudios efectuados a través de modelos numéricos y análisis experimental. De igual manera, se muestran los resultados obtenidos, mismos que permitieron realizar un análisis y evaluación de las afectaciones presentes. El capítulo entonces, presenta la distribución espacial de las viviendas estudiadas, el criterio de selección de las mismas, el criterio de instrumentación aplicado (modelo experimental) y se examina el daño estructural correspondiente al análisis dinámico de estructuras. Finalmente, se presentan las condiciones geotécnicas identificadas.

En el capítulo cinco se presenta la información obtenida a través de visitas en campo mediante encuestas aplicadas a los habitantes de la región de estudio. Con este ejercicio, se buscó identificar y acercarse a la parte humana del problema, no sólo en lo referente al daño al patrimonio, sino a situaciones de vulnerabilidad social, en el que se considera a la pobreza y exclusión, a las prácticas sociales, a los niveles de educación y a la participación ciudadana.

El capítulo seis, se refiere al marco regulatorio, en el que se hace un análisis de la legislación tabasqueña existente. Asimismo, se analiza la legislación internacional referente a situaciones similares a las del caso de estudio. El propósito de este capítulo y la importancia del mismo residen en enriquecer los capítulos referentes a los aspectos sociales y técnicos, y de esa manera presentar un estudio integral del problema. La elaboración de este capítulo se llevó a cabo con un análisis del marco normativo correspondiente a los tres órdenes de gobierno que rigen al país (municipal, estatal y federal) en materia de vulnerabilidad, riesgo y amenaza debidas a los estudios de prospección sísmica que pudieran experimentar los habitantes de la región del estudio.

## PRESENTACIÓN

El capítulo siete pretende ofrecer una estrategia con la que los habitantes de la zona sean capaces de llevar a cabo el proceso de autoconstrucción que han venido realizando por años, pero atendiendo criterios de construcción, economía y eficiencia que aminoren el nivel de vulnerabilidad ante el riesgo antrópico. Con ello se pretende ayudar a elevar el nivel de vida de los pobladores de la región estudiada.

Finalmente, en el capítulo ocho se presentan las conclusiones generales del trabajo.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales motivos por los que el sureste mexicano ha sido estudiado, es la existencia de yacimientos de petróleo. Los estudios se efectúan con datos sísmicos en 2D y 3D, así como con la perforación de cientos de pozos.

Derivado de esta búsqueda, se producen efectos adversos sobre el ambiente, que son originados por el hombre debido a la liberación accidental o intencionada de petróleo. Esto es, afecta en forma directa al suelo, agua, aire, y a la flora y fauna, lo que puede ser considerado como un impacto ambiental en el territorio que conlleva a un conjunto de modificaciones o alteraciones producidos por la actividad humana hacia el ambiente natural, socio-económico, cultural y estético (Cruz *et al.*, 2009).

Dentro de las alteraciones se encuentran involucradas todas las operaciones relacionadas con la explotación y transporte de hidrocarburos, que conducen al deterioro gradual del ambiente. Por ejemplo, cuando el vertido del petróleo u otros desechos se efectúa sobre aguas superficiales, se produce una disminución del contenido de oxígeno. Asimismo, cuando el vertido se efectúa sobre aguas subterráneas, el mayor deterioro se manifiesta en un aumento de la salinidad del vital líquido.

Los efectos que se presentan sobre el suelo, son muy variados, pues dañan las áreas ocupadas por pozos, playas de maniobra, ductos, redes y otros; por lo que una gran superficie del terreno resulta afectada. Ello es la resultante del desgaste del terreno y los desplazamientos que se generan debido a la operación de equipos pesados.

Por otro lado, los derrames de petróleo producen alteraciones en el sustrato original en el que se desplantan las especies vegetales, dejando suelos inutilizables durante años, de tal manera que los efectos sobre la flora, que se enfatizan en arbustos y matorrales, son los más afectados por la contaminación con hidrocarburos, y a su vez, se reflejan hacia la fauna, pues son el lugar que les ofrece refugio y alimento, siendo las aves quienes se ven más afectadas, debido al contacto directo con la vegetación y el agua contaminada. Mientras tanto, cuando el derrame de hidrocarburos se efectúa en zona costera o en el mar, se producen daños invariables sobre la fauna marina (Instituto Argentino del Petróleo, 1991).

Actualmente la búsqueda de hidrocarburos ha generado distintos tipos de sensaciones hacia los seres humanos, al mismo tiempo que provoca distintos impactos ambientales, además de los mencionados, que día a día se han ido resolviendo según las necesidades de cada región.

## INTRODUCCIÓN

La región de estudio de este proyecto de investigación se denomina “*Herradura Norte 3D Ampliación de los Municipios de Cárdenas y Huimanguillo*”. Dicha región se encuentra ubicada en el sureste de México en el estado de Tabasco. La región es de gran importancia para el país en cuanto a producción de hidrocarburos, por lo que la presencia de la empresa Pemex es fundamental para la extracción de tan valioso recurso. No obstante, la afectación producida por las actividades geofísicas de exploración realizadas por Pemex, alcanza a los individuos asentados en la zona, en sus formas de vida, en la sensación de inseguridad y en la percepción del entorno.

Lo anterior, es la razón principal por la que se le ha dado importancia a este tema como estudio de investigación, teniendo como finalidad estudiar los efectos que ocasiona la industria petrolera en esta localidad.

### **1.1. ANTECEDENTES**

La prospección sísmica de reflexión profunda es una técnica geofísica por medio de la cual es posible conocer las propiedades del subsuelo utilizando un principio similar al que utilizan los sonares. La técnica se basa en la generación de una onda mecánica que se propaga por debajo de la superficie terrestre, sufriendo difracciones y refracciones que son cuantificadas con varios sensores (o geófonos) distribuidos a lo largo del terreno en puntos diferente al de la fuente. Cuando la onda mecánica generada, por ejemplo, mediante detonaciones, incide en la frontera entre dos medios cuya impedancia sísmica es diferente, parte de la onda se refleja. Conociendo las características de propagación de la onda en el subsuelo y el hecho de que, en general, la densidad de las rocas aumenta con la profundidad en la Tierra, las reflexiones experimentadas por las ondas que se emiten permiten construir una imagen del subsuelo terrestre mediante el empleo de técnicas de procesamiento digital. En particular, utilizando esta técnica es posible identificar, con cierto nivel de precisión, la presencia de pozos que pueden contener gas o petróleo debajo de la superficie terrestre. Con base en estos estudios se definen proyectos de exploración y la posición geográfica de pozos (Nolen-Hoeksema, 2014). Esta técnica también permite monitorear cambios durante el proceso de producción. Es por ello que empresas como Pemex utilizan estos métodos para explorar el subsuelo en zonas de la República Mexicana con alta probabilidad de presencia de hidrocarburos.

Aunque los orígenes de los estudios de prospección sísmica se remontan al trabajo de Robert Mallet, realizado en el siglo XIX, su utilización formal se dio a principios del siglo XX, primero empleando las ondas que se producen como consecuencia de un movimiento telúrico natural, y posteriormente, generando las ondas mecánicas o sísmicas a partir del uso de explosivos. De hecho, México y Texas fueron de los primeros territorios explorados con estas técnicas (Sheriff y Geldart, 1995).

Los estudios de prospección sísmica se realizan en tierra (*onshore*) y en el océano (*offshore*), y aunque ambos están basados en el mismo principio de operación, su metodología es diferente. En la exploración marina, la fuente de energía está constituida por un arreglo de cámaras de aire comprimido que flotan atrás de un buque explorador, el cual genera ondas acústicas que penetran las capas de roca que forman el lecho marino (donde se espera encontrar petróleo). Tras el proceso de reflexión ya descrito, hidrófonos espaciados a lo largo de cables flotantes unidos al buque captan las ondas para su posterior procesamiento (Suetsugu y Shiobara, 2014). Esta técnica ha resultado muy exitosa. Sin embargo, si se toma en cuenta que este tipo de exploraciones requiere la generación de impulsos acústicos cuya intensidad supera los 230 dB y que las ondas sonoras viajan más fácilmente en el agua que en el aire, es claro que su utilización pone en riesgo a la ecología marina. Así, el impacto del ruido antrópico en diversas especies marinas se ha convertido en un tema de preocupación para la humanidad, ya que puede afectar seriamente a organismos que habitan en el océano (en términos de comunicación, navegación, alimentación y otros hábitos indispensables para su supervivencia), con serias repercusiones biológicas, ecológicas, políticas y económicas (Nowacek *et al.*, 2015).

A diferencia de la literatura que se genera a partir de las investigaciones referentes al riesgo producido por los estudios de prospección sísmica que se realizan en tierra, las publicaciones que tratan del riesgo antrópico consecuencia de los estudios de prospección sísmica realizados en el océano constituyen un conjunto muy amplio. El análisis bibliográfico realizado nos brinda una gama de publicaciones que abarca desde artículos científicos como el de Carroll *et al.*, 2017, hasta noticias en blogs de acceso internacional recientemente publicadas (Kennedy, 2017). Esta asimetría en el número de publicaciones referentes al riesgo antrópico generado por los estudios de prospección sísmica llevados a cabo en tierra y mar puede deberse al hecho de que mientras que los estudios realizados en el océano presentan una probada afectación a la vida marina, con los consecuentes impactos de carácter ecológico y político (Mossop, 2016 y E&P Sound and Marine Life Programme, 2017), el riesgo antrópico asociado a los estudios realizados en tierra no ha sido suficientemente investigado, especialmente porque, como se demuestra en este trabajo, la normativa en la materia que rige en países desarrollados está orientada a, precisamente, disminuir dicho riesgo. Es en ese sentido, que el trabajo presentado en esta tesis cobra una relevancia particular. No solamente por su originalidad, sino porque nace de una necesidad de investigación en la temática particular que sea aplicable a México, y en especial a algunos municipios del estado de Tabasco, cuyos habitantes han manifestado su preocupación ante los efectos de los estudios de prospección sísmica.

Los análisis de prospección sísmica realizados en tierra se basan en el uso de vibradores o explosivos de bajo impacto para generar las ondas acústicas con que se efectúan los estudios. Mediante el uso de geófonos terrestres se reciben las ondas reflejadas en el subsuelo, lo que permite crear una imagen de las capas

## INTRODUCCIÓN

terrestres y por ende identificar zonas donde los combustibles fósiles se pueden encontrar atrapados. A diferencia de las exploraciones realizadas en el océano, cuya extensión es inmensa, cuando los estudios de prospección sísmica se realizan en tierra, cerca de áreas pobladas, las detonaciones asociadas a los estudios pueden, en principio, generar afectaciones a las viviendas de los habitantes de la zona. A pesar de la importancia de este hecho, es interesante observar que el número de publicaciones asociadas al estudio del riesgo antrópico generado por las exploraciones geológicas es muy bajo.

Esto puede explicarse porque actualmente la literatura generada referente a estos temas, está dominada por las investigaciones referentes al daño producido en estructuras que causan, no las ondas acústicas generadas artificialmente por detonaciones, sino las ondas sísmicas de gran magnitud que surgen de manera natural cuando se produce un terremoto (Cornell, 1968 y Pérez, 2006). Obviamente, el impacto potencial en la vida y los bienes de las personas que puede causar un movimiento telúrico de gran magnitud supera con mucho el correspondiente que pueden causar los estudios geofísicos, y de ahí el interés en el primero. Prueba de ello es que ha sido arduamente estudiado en numerosas investigaciones tanto teóricas como experimentales, cuyos resultados se encuentran disponibles en la literatura especializada como lo hace Meli (1985).

Aun así, cuando se trata de zonas de alta vulnerabilidad, como las estudiadas en este trabajo de tesis, el nivel de riesgo antrópico se incrementa, tornando el problema en un reto apasionante que incita a la investigación, principalmente por el beneficio en términos de seguridad que puede llegar a aportar a familias de escasos recursos. Además, considerando el carácter holístico del problema, su investigación admite un enfoque desde diferentes aristas. Debido a la limitación en tiempo, en este trabajo se abordan las perspectivas ingenieril, social y normativa, ya que las consideramos como las de carácter más práctico, aunque no necesariamente más relevantes que otras.

Con base en el análisis bibliográfico realizado como parte de la investigación doctoral, se ha encontrado que las investigaciones acerca de los estudios de prospección sísmica realizados en tierra son de corte ambiental, principalmente. Estas normalmente se enfocan en averiguar cómo las diferentes etapas de la exploración petrolera ocasionan contaminación, cambios en el uso del suelo, modificaciones bióticas sobre el hábitat natural y alteraciones de patrones socio-culturales. Estos trabajos de investigación normalmente dejan de lado el estudio del impacto que la exploración petrolera tiene sobre las viviendas. Lo anterior se debe en parte al hecho de que muchos de los estudios de prospección sísmica se realizan lejos de las zonas habitadas o en lugares inhóspitos, como son selvas o desiertos. El caso de Tabasco es singular (y por ende atractivo) en ese sentido.

De acuerdo a la investigación documental realizada, los primeros estudios formales de la posible afectación de viviendas por las exploraciones sísmicas del subsuelo fueron desarrollados por un grupo de académicos

del Instituto de Ingeniería de la UNAM, iniciando prácticamente a principios de este siglo. En concreto, el estudio de la validez de la Norma Oficial Mexicana 026 de la Secretaría de Energía y de la Secretaría de Hidrocarburos (NOM-026-SESH-2007), que regula los trabajos de prospección sísmica, fue estudiado con anterioridad como caso de estudio en viviendas de Cárdenas y Huimanguillo por Carbajal en 2015, concluyendo que dicha norma requiere para su efectiva aplicación, de la incorporación de los efectos de sitio. El estudio se circunscribe al análisis de resultados obtenidos del monitoreo sísmico de algunas viviendas de la zona de exploración con base en la norma referida, pero se omite cualquier tipo de análisis estructural que permita evaluar el grado de afectación de las viviendas producido por los estudios de prospección sísmica. Este estudio se complementa con el realizado por el mismo grupo de investigación del Instituto de Ingeniería de la UNAM y que se reporta en el informe de Lermo y Escobar (2013) para la misma zona de estudio. A esta investigación le antecede el trabajo realizado en el año 2000 en el municipio de Macuspána, Tabasco, donde se evalúa el daño producido por similares estudios de prospección sísmica (Escobar *et al.*, 2000). La escasez de trabajos que abordan la problemática tratada en esta tesis, garantiza la originalidad de la investigación realizada y, al mismo tiempo, pone de manifiesto la actualidad del tema, cuyas implicaciones prácticas en el ámbito del urbanismo son de gran relevancia.

## 1.2. MOTIVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En el año 2013 surgieron fuertes reclamaciones, por parte de propietarios de viviendas unifamiliares ubicados en el suroeste del estado de Tabasco (región denominada “*Herradura Norte 3D Ampliación de los Municipios de Cárdenas y Huimanguillo*”), que comprende los municipios de Huimanguillo y la parte sur de Cárdenas, de igual manera, afectados por las vibraciones producidas durante los estudios geofísicos. En la Fig. 1.1 se presenta la región de estudio del presente trabajo de investigación (círculo rojo). Asimismo, en la Fig. 1.1, en un círculo en color azul y líneas punteadas se presenta la región anteriormente estudiada.

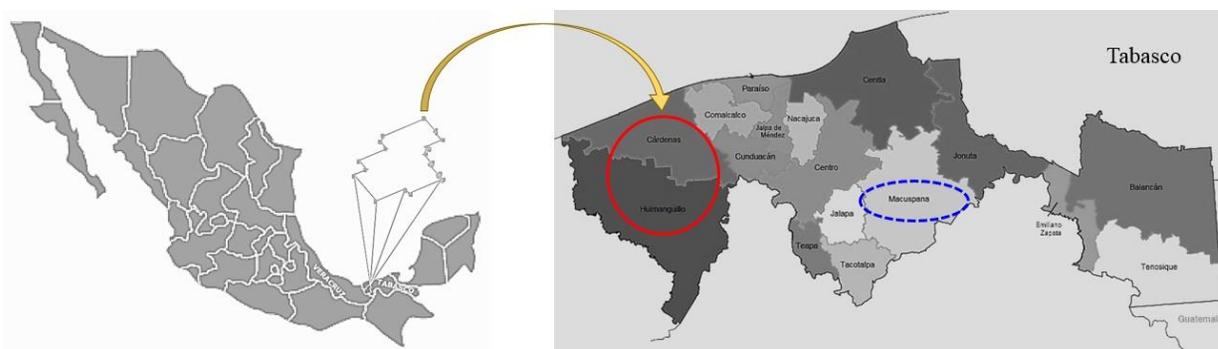


Figura 1.1. Mapa que muestra la ubicación de la región “*Herradura Norte 3D Ampliación de los Municipios de Cárdenas y Huimanguillo*” en el estado de Tabasco.

## INTRODUCCIÓN

Los habitantes asentados en la región que comprende el presente proyecto de investigación, demandan que la empresa petrolera sufrague los daños que pudieran ocasionarse en sus viviendas. Ello representa que la presencia de las compañías petroleras y la búsqueda de hidrocarburos generan problemas hacia las personas y su economía (patrimonio), que a su vez, puede estar afectando al medioambiente; considerándose esto un problema presente y futuro. Y si bien, la solución más sencilla sería la prohibición de la extracción de hidrocarburos, ello es poco razonable, pues México como muchos otros países, depende de sus reservas petrolíferas para el desarrollo económico.

Actualmente, no se tiene una manera adecuada para efectuar estudios de prospección que estén determinados por normativas, políticas o leyes que sean claras para las empresas y los habitantes. En ese contexto, en el presente trabajo de investigación se deben integrar elementos de legislación urbano-regional que incidan en los impactos por actividades industriales. Asimismo, se determinarán los impactos que produce Pemex que están afectando a la zona desde el punto de vista social.

En la investigación se considera la recurrencia de eventos de riesgo asociados a las vibraciones en el terreno producidos por los periódicos estudios de prospección sísmica en el estado de Tabasco, por lo que se requiere de manera fundamental realizar investigaciones que generen argumentos orientados a proteger la integridad de los habitantes de la región, con respecto a su seguridad y economía. Esta es la razón principal para efectuar este trabajo. Su importancia, por tanto, reside en la necesidad de generar una análisis integral que contemple estudios previos, actuales y prospectivos de manera analítica y auxiliada por modelos que presenten la distribución de las amenazas a la seguridad de los habitantes afectados, como instrumento preventivo que permita formular criterios para reducir la inseguridad de los mismos.

Esto es, si se piensa en la región afectada sólo como el lugar en donde tienen efecto este tipo de riesgos, no parece ser importante, se pensaría que únicamente se debe reparar lo ocurrido y no emprender acciones proactivas. Sin embargo, si se suma a esta región el número de demandas en otras regiones, las pérdidas materiales, la ruptura de la vida cotidiana, trastornos de tipo psicológico, emocionales y otros, el daño pudiera ser difícil de calcular.

En la investigación el estudio se considera integral, por incorporar aspectos técnicos y sociales. Se estudia la percepción de los habitantes en riesgo, la respuesta de sus edificaciones bajo riesgo y la proximidad geográfica hacia las poblaciones, lo que haría más o menos vulnerables a los asentamientos actuales y futuros.

### 1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Las preguntas de investigación para el presente trabajo responden de manera particular a los planteamientos desarrollados en función de modelos matemáticos y experimentales. Estos se construyen con base en los supuestos de afectación que se derivan, tales como la vulnerabilidad de las edificaciones, que se establece con base en los procesos constructivos y de localización y de la vulnerabilidad social, que se refiere a la posible afectación hacia los habitantes de los municipios de Huimanguillo y Cárdenas pertenecientes al estado de Tabasco.

De esa manera, la pregunta de investigación general queda planteada de la siguiente forma: *¿cuáles son las posibles consecuencias que se desprenden hacia los habitantes de Huimanguillo y Cárdenas, que permitan identificar las condiciones de vulnerabilidad frente a los trabajos de prospección sísmica que realiza Pemex?*

Posteriormente, se pueden identificar las preguntas específicas para detectar los aspectos que requieren ser abordados para el control adecuado de la vulnerabilidad. Por lo que las preguntas de investigación específicas son: *¿cómo está afectando el riesgo antrópico a las poblaciones?, ¿cómo está afectando el riesgo antrópico a las viviendas? y ¿cómo mitigar la afectación derivada del riesgo antrópico que se tiene en la región de estudio?*

Así entonces, considerando los cuestionamientos desde las condiciones propias de los habitantes afectados y de las edificaciones, se pretende evaluar las condiciones urbanas y constructivas de la región de estudio, con el fin de prevenir el daño.

### 1.4. OBJETIVOS

La vulnerabilidad derivada del riesgo antrópico al que se encuentra expuesta la región sureste de México, en específico los municipios del estado de Tabasco, Cárdenas y Huimanguillo, está transformando la región, porque genera efectos adversos que incomodan a los pobladores. Además, dicho riesgo, es el resultado de los estudios geofísicos de prospección sísmica de reflexión profunda que efectúa Pemex y que se supone damnifica a los habitantes y deteriora, e inclusive llega a dañar, a sus edificaciones.

Para resolver los distintos tipos de vulnerabilidad que se presentan, será necesario realizar un análisis de la región con respecto a sus habitantes, sus poblaciones, sus viviendas y la reglamentación que interviene, para desarrollar un estudio integral que permita detectar las condiciones más desfavorables que requieran una política específica en torno a la gestión del riesgo antrópico presente. El estudio está fundamentado de manera teórica y experimental; la primera, mediante la elaboración de modelos matemáticos y

## INTRODUCCIÓN

bibliográficos, y la segunda, con estudios efectuados en campo que permitan recopilar información de los habitantes, de sus poblaciones y de sus viviendas.

Dicho lo anterior, el objetivo general de la investigación es entonces: determinar los efectos que está produciendo Pemex (riesgo antrópico) a nivel urbano-regional, para con ello identificar y clasificar a las poblaciones más vulnerables en función de su localización; a las viviendas con respecto a sus formas constructivas y, enunciar brevemente posibles líneas de acción hacia las políticas que intervienen y que podrían ser atendidas en beneficio de los habitantes de las zonas afectadas.

De esa manera, los objetivos específicos son:

1. Evaluar los efectos que produce Pemex hacia la ciudadanía de la región de estudio, para poder disminuir la vulnerabilidad social persistente.
2. Analizar y clasificar las zonas más vulnerables de las poblaciones que manifestaron afectaciones a su patrimonio, para con ello identificar los sitios en los que los habitantes de la región no deberían edificar.
3. Estudiar y clasificar a las viviendas más vulnerables para prevenir el riesgo a daño, con ayuda de modelos matemáticos y experimentales.
4. Analizar y evaluar la normatividad referente en la materia vigente en el estado de Tabasco y a nivel internacional para sugerir posibles reformas si así se requiere.
5. Enunciar líneas de acción en beneficio de los habitantes de las zonas afectadas.

### **1.5. APORTACIONES ORIGINALES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

En las últimas décadas, se ha observado un aumento acelerado de las poblaciones en ciudades y áreas metropolitanas. Ese aumento acelerado de urbanización y concentración demográfica ha generado una serie de problemas ambientales, tanto físico-naturales como sociales, los que sumados a la gestión de ellas, hace que los problemas sean más difíciles de resolver.

La persistencia de los problemas señalados y la intrusión de la mano del hombre ocasionan que la atención a esos problemas no sean indiferentes. En ese aspecto, el estado de Tabasco experimenta transformaciones socio-espaciales, funcionales y morfológicas derivadas de la presencia de Pemex, las cuales comienzan a mostrar, entre otras, conductas de problemas ambientales, sociales y económicos. Por lo que en el presente trabajo de investigación el estudio se concentra en el área urbano-regional de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, ambos considerados como ciudades intermedias de tamaño medio, con gran importancia en la zona sureste de México. Partiendo de que todo impacto tiende a modificar las condiciones de un ambiente, desde situaciones insignificantes hasta aquellas totalmente drásticas, y a falta de una regulación específica

que guie el criterio de las empresas petroleras para determinar el monto de indemnización a pagar por el daño ocasionado, el trabajo conduce a que las valoraciones de las afectaciones se conviertan en un problema de seguridad jurídico. Ello, considerando también, que los impactos se pueden volver acumulativos, pues se van sumando a los ya existentes y en consecuencia se generan daños al ambiente y a los seres humanos.

Ante el panorama descrito, una de las aportaciones de este trabajo fue poner en el mapa de la problemática nacional una zona urbano-regional que tradicionalmente ha sufrido marginación, con la finalidad de realizar un estudio original para identificar las afectaciones que han sufrido como resultado de los estudios basados en detonaciones que por años ha realizado una de las empresas más poderosas del estado mexicano.

Otra aportación es el enfoque que se propone para solucionar dicha problemática, ya que conjunta aspectos que tradicionalmente no se integran en una investigación y que en este caso corresponden al aspecto social, normativo y muy particularmente, al aspecto ingenieril, que conlleva la realización de cálculos numéricos y empíricos, así como modelaciones precisas, dando como resultado una solución altamente integrada no comúnmente observada en la literatura.

Otra aportación es que la investigación es suficientemente general y, al no concentrarse en una de las grandes urbes que componen al país, sino a una zona urbano-regional, el estudio puede trasladarse para solucionar problemas similares en otras regiones afines.

Una característica que destaca este estudio es que resuelve un problema concreto mediante una solución real basada en un análisis estricto de hechos verificables y sustentados por datos comprobables.

Otro aspecto importante a destacar de los resultados de esta investigación es su carácter pragmático, ya que resulta de beneficio tanto para los pobladores de la región en estudio como para las compañías afiliadas a Pemex encargadas de realizar la exploración de hidrocarburos. Esto es así porque al no existir reclamaciones, Pemex puede desempeñar sus funciones de manera óptima y, por otro lado, se demostraría que los habitantes no están en situación de riesgo con la consecuente tranquilidad que ello representa.

Otra aportación de este estudio, de carácter ingenieril, es la de sugerir estrategias de acuerdo a las normas edificativas para que los habitantes mejoren sus técnicas de autoconstrucción.

Finalmente, otra aportación se refiere a las reformas para la legislación mexicana con base en la normatividad internacional de países desarrollados, que considere criterios simples y escritos en un lenguaje llano, que sea de carácter federal o aplicable para todo el país y que esté disponible de manera digital y gratuita.



# CAPÍTULO 2

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

Se estudia el concepto de vulnerabilidad estructural, la cual repercute en el aspecto socioeconómico de los habitantes de la región de estudio. Asimismo, se analiza el fenómeno que lo produce (riesgo antrópico) y los factores que intervienen en él. Posteriormente, se analizan los efectos derivados de la amenaza a la que se encuentran sometidos los habitantes de la región suroeste de Tabasco, tales como la afectación a su territorio y a sus viviendas. De igual manera, se presentan los fundamentos teóricos que apoyan a la investigación respecto a la afectación social y normativa. Por otro lado, se describen los métodos de evaluación de vulnerabilidad estructural y social empleados en la presente investigación, así como el sistema normativo utilizado.

### 2.1. VULNERABILIDAD Y RIESGO

La vulnerabilidad que se manifiesta en las poblaciones ha evolucionado a lo largo de la historia. Una de las primeras acepciones de vulnerabilidad se define como “el grado en el cual un sistema, subsistema o componente del sistema está propenso a experimentar daño debido a su exposición a una amenaza, perturbación o estrés” (White, 1974).

Sin embargo, el marco conceptual de la vulnerabilidad surgió de la experiencia humana en situaciones en las que la propia vida diaria era difícil de distinguir de un desastre y era entendida como la capacidad reducida para adaptarse a determinadas circunstancias. De igual manera, la vulnerabilidad es definida como el grado en que las personas o comunidades pueden ser sensibles al detrimento en casos de desastre y se relaciona con la capacidad para resistir, enfrentar y sobreponerse de amenazas específicas en un momento dado (Chardon y González, 2002).

El concepto de vulnerabilidad desde el punto de vista social, entonces, se define como “la probabilidad de que un individuo, un hogar o una comunidad se sitúe por debajo del nivel mínimo de bienestar”, así como a la incapacidad para enfrentar de manera efectiva dichos acontecimientos (un-Habitat, 2007).

La vulnerabilidad humana ha sido definida por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), como un estado de riesgo que puede estar asociado a los ciclos de vida o a condiciones estructurales de pobreza, privaciones y desigualdades, que sitúa a las personas y a grupos de población en situaciones de riesgo, ya sea temporales o permanentes.

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

Un grupo de especialistas de la UNDRO y la UNESCO elaboraron el informe *Natural Disasters and Vulnerability Analysis* en el que se incluyeron las definiciones siguientes (UNDRO 1979):

- *Amenaza o peligro*: Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.
- *Vulnerabilidad*: Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresado en una escala desde 0 (sin daño) a 1 (pérdida total).
- *Elementos bajo riesgo*: Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades, edificios y obras singulares de ingeniería civil, y los efectos sobre las actividades económicas, servicios públicos e infraestructura debido la ocurrencia de un desastre en un área determinada.
- *Riesgo específico*: Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función tanto de las amenazas naturales y la vulnerabilidad.
- *Riesgo*: Se define como el número esperado de pérdidas debido a la ocurrencia de un fenómeno particular, y en consecuencia el producto de amenaza y riesgo específico.

De lo anterior, el enfoque sobre la *amenaza* en las comunidades se encuentra comúnmente asociada al riesgo, y estos conceptos nacen de investigaciones de riesgos, amenazas y resiliencia. Entonces, a través del tiempo, el término de vulnerabilidad ha contribuido a dar claridad a los conceptos de riesgo y desastre. Con respecto a ello, los factores que promueven condiciones de vulnerabilidad social son múltiples y se manifiestan a diferentes escalas (un-Habitat, 2007):

- a) Escala global: acentúa la segregación, el desequilibrio económico (desempleo, migración, ignorancia, etc.), el calentamiento global y el cambio climático.
- b) Escala nacional: marco jurídico, político y de gasto público, ingreso per cápita y el factor cultural.
- c) Escala urbana (factores más específicos): rápido crecimiento de asentamientos marginales, construcción precaria en terrenos propensos a amenazas y la incapacidad de generar un crecimiento económico sostenido.

### **2.1.1. Riesgo antrópico: definición del riesgo presente en la región**

Desde la perspectiva de *un Habitat*, los *riesgos antrópicos* son considerados como la segunda amenaza a la seguridad urbana, los cuales están vinculados a los desastres provocados por el hombre. Este organismo internacional define a los riesgos antropogénicos como “la grave perturbación en los sistemas humanos provocada por un riesgo tecnológico o industrial que causa pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, y que exceden la capacidad de los afectados para enfrentar la situación” (un-Habitat, 2007).

Inicialmente, y con el objetivo de tener una visión específica de la problemática que se suscita en la región sureste de México, el riesgo antrópico será concebido como la existencia de vibraciones repetidas efectuadas por las actividades de prospección sísmica, ya que con ello, es posible que las edificaciones sean vulnerables a una afectación estructural (Fig. 2.1).



Figura 2.1. Alegoría de la problemática suscitada en la región sureste de México (Galote, 2015).

Dentro de ese contexto, en este estudio se considera al método de prospección sísmica como el riesgo antrópico de la región hacia las edificaciones. En general, el objetivo de los estudios de prospección sísmica es realizar el análisis del subsuelo, lo que permite obtener información geológica de los materiales que lo conforman. Esto es, la prospección sísmica se basa en el mismo principio que la sismología y consiste en generar ondas sísmicas mediante una fuente emisora y registrarlas en una serie de estaciones sensoras (geófonos) distribuidas sobre el terreno. A partir del estudio de las distintas formas de onda y sus tiempos de trayecto, se consigue obtener imágenes del subsuelo que luego se relacionan con las capas geológicas.

El desarrollo de la teoría sísmica se remonta a 1678 cuando se enunció la Ley de la Elasticidad de Hooke, mucho antes de la existencia de instrumentos capaces de realizar medidas significativas. Sin embargo, no fue sino hasta 1845 cuando, Robert Mallet, realizó los primeros intentos de medición de las velocidades sísmicas a través de “terremotos artificiales”, usando pólvora negra como fuente de energía y recipientes de mercurio como receptores. La sísmica de reflexión nació gracias a los primeros trabajos realizados por Reginald Fessenden, en 1913, con el fin de detectar icebergs. Pero no fue sino hasta 1927 cuando el método de reflexión se convirtió en una técnica comercial de exploración geofísica (Gayá, 2005).

La prospección sísmica es entonces una herramienta de investigación eficaz, ya que con ella es posible inspeccionar desde los primeros metros del terreno (con resolución buena) hasta varios kilómetros de profundidad (sísmica profunda).

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

Para la sismica profunda se utilizan fuentes de energía muy potentes, tales como explosivos o camiones vibradores, capaces de generar ondas elásticas que llegan a las capas profundas del subsuelo. De manera que la sismica profunda es empleada para la detección de reservorios petrolíferos (ya sea terrestres o marítimos), grandes estructuras geológicas (plegamientos montañosos, zonas de subducción, etc.), yacimientos minerales, domos salinos y otros. Mientras que en la sismica superficial, se hace uso de martillos de impacto, rifles sísmicos y explosivos de baja energía, teniendo aplicación en la obra pública y la ingeniería civil. Visto de manera extrema, la vibración del suelo, en esta y otras situaciones, se puede representar como distintos eventos sísmicos que han afectado a México en los últimos años, tales son los casos de los sismos de 1985 donde, oficialmente, se dañaron aproximadamente 90,000 viviendas; el sismo de Tehuacán en 1999, donde se dañaron 30,676 viviendas y el de Colima en el que se dañaron 25,353 viviendas (Ramírez de Alba *et al.*, 2007).

Desde esa perspectiva, resulta importante contar con métodos e información de análisis que permitan estimar la vulnerabilidad de las viviendas en diferentes zonas con base en afectaciones distintas.

### **2.1.2. Del riesgo natural al riesgo antrópico**

Si se retoman las definiciones de riesgo natural y riesgo antrópico, se menciona que el riesgo natural se puede definir como la probabilidad de que un territorio y la sociedad que habita en él, se vean afectados por episodios naturales de rango extraordinario. Esto es, el riesgo será el producto del peligro, la vulnerabilidad y la exposición. Por el contrario, los riesgos antrópicos son riesgos provocados por la acción del ser humano sobre la naturaleza, tales como la contaminación ocasionada en el agua, el aire, el suelo, la sobreexplotación de recursos, etc.

De lo anterior, para efectuar la evaluación del riesgo, es necesario contemplar el peligro, el cual está definido comúnmente como “un efecto o situación que podría conducir/causar un desastre”. Un desastre, en términos generales, se define como “una grave perturbación del funcionamiento de una comunidad o una sociedad que causa pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que exceden la capacidad de los afectados, de la comunidad o la sociedad para hacer frente con sus propios recursos” (un-Habitat, 2007). Las referencias conceptuales de lo que es un desastre, se clasifican en dos: desastre natural y desastre antrópico. Un desastre natural es considerado como “una grave perturbación de los sistemas humanos provocado por un peligro natural que causa pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales excediendo la capacidad de los afectados para enfrentar la situación”. Mientras que los desastres antrópicos remiten a “la grave perturbación en los sistemas humanos provocada por un riesgo tecnológico o industrial que causa pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, y que exceden la capacidad de los afectados para enfrentar la situación” (un-Habitat, 2007).

A nivel mundial, de 1991 a 2000, se estima que el 98% de quienes han sido afectados por desastres eran habitantes de países en desarrollo. Las causas principales se debían a los problemas del cambio climático (resultado del calentamiento global y la rápida urbanización) que afectan los patrones de conducta del medio ambiente. De ellos, se mencionan principalmente: tsunamis, sequías prolongadas, lluvias intensas y otros que afectan principalmente a las ciudades. No obstante, otras causas que incrementan el riesgo son la planificación, las técnicas de construcción, el financiamiento urbano y la pobreza.

## 2.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO

De las escalas mencionadas en la sección 2.1 de la tesis (global, nacional y urbana), para este proyecto de investigación se consideran el desequilibrio económico, el ingreso per cápita, el crecimiento de asentamientos y la construcción precaria en terrenos propensos a amenazas. Las dos primeras como un indicador de vulnerabilidad social, por su impacto en las necesidades de los individuos y las limitantes que crea para responder a circunstancias de riesgo. Y las dos últimas como indicadores de vulnerabilidad estructural. Con base en ello, el riesgo será evaluado como el resultado de la suma entre amenaza y vulnerabilidad menos la acción preventiva o de mitigación que se implemente (Mansilla, 1999). Lo anterior quedaría definido como se muestra en la Fig. 2.2. Como se puede observar, el análisis del riesgo permite realizar entonces una estimación de la afectación a la población en términos de individuos y de construcciones.

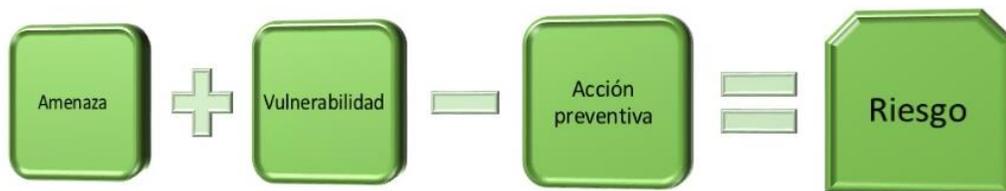


Figura 2.2. Proceso de evaluación del riesgo.

La vulnerabilidad estructural es una propiedad intrínseca de la estructura descrita a través de una ley causa-efecto, donde la causa es el riesgo y el efecto es el daño. Entonces, la vulnerabilidad estructural se refiere al porcentaje de daño o afectación que puede presentarse en un elemento o grupo de elementos de las edificaciones ante la presencia de una amenaza resultado de la ocurrencia de un suceso desastroso. Cabe destacar que se ha observado que a partir del desastre, ciertas estructuras, con la misma tipología estructural, experimentan un daño más severo que otras, a pesar de estar ubicadas en la misma zona. Por ello, al nivel de daño que sufre una estructura, generado por un evento de características determinadas, se le denomina vulnerabilidad, y se puede clasificar como “más vulnerables” o “menos vulnerables” (CEPAL y BID, 2000).

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

La respuesta de la estructura es entonces consecuencia del movimiento en su cimentación por la función de transferencia de la propia estructura. Dicha función es única y característica de la propia estructura (Fig. 2.3).



Figura 2.3. Posibles consecuencias debidas a las propiedades del suelo (Ofi Geo, 2014).

El análisis de la vulnerabilidad estructural implica la consideración de las características geométricas de la edificación, la resistencia e integridad de los materiales, las modificaciones en la construcción con respecto a los establecido en la propuesta original, detalles de los elementos no estructurales y las fallas ocurridas en el pasado, ello permitirá adquirir una idea más precisa sobre las posibles causas en los errores de estructuración.

Este problema ha sido abordado desde diferentes perspectivas por varios investigadores. Conchrane y Shaad (1992), proponen un criterio para establecer la vulnerabilidad básica por medio de los niveles de daños registrados. Su estudio desarrolla una herramienta para estimar la vulnerabilidad en términos de costo-reparación de las estructuras dañadas. Asimismo, el estudio se basó en información de datos a nivel mundial, por lo que es posible aplicarlo a México. Sin embargo, no incluye construcciones a base de materiales precarios, siendo que la gran mayoría de las edificaciones para vivienda en el presente estudio están construidas con estos. No obstante, a partir de los resultados de Conchrane y Shaad se puede estimar la vulnerabilidad básica, suponiendo que si se toma el límite inferior se podrá tener una estimación de los daños mínimos esperados en una zona, que puede ser considerada como referencia afectándola con los factores apropiados para representar las condiciones locales.

Arellano *et al.* (2003), utilizaron relaciones entre la aceleración máxima del terreno y las intensidades para estimar, mediante encuestas de campo, el número probable de viviendas dañadas en Chilpancingo, Gro.

Considerando tres escenarios de vibraciones posibles, encontraron que más del 70% de las viviendas existentes pueden sufrir daños de diferente cuantía. Tejeda *et al.* (2004), evaluaron el comportamiento estructural de diferentes tipos de vivienda en Colima, durante el sismo de enero de 2003. Encontraron relación directa de los daños con la calidad de los materiales, las prácticas de diseño/construcción y la aplicación de las normas. Alarcón y Zavala (2005) estudiaron la vulnerabilidad sísmica en el Distrito de la Molina en Lima, Perú. Evaluaron una muestra representativa y, mediante simulación, obtuvieron respuestas sísmicas para diferentes tipologías estructurales. Como resultado, propusieron curvas de vulnerabilidad a manera de mapas de riesgo. Vega y Lermo (2005) llevaron a cabo un estudio para estimar el efecto de sitio y la vulnerabilidad sísmica en Acatlán, Puebla. Estudiaron más de 400 edificaciones y definieron tres tipologías, utilizando un programa de análisis estructural explicaron los daños ocurridos en la zona debido al sismo de 1999 (sismo de Tehuacán), así como su posible extrapolación. Sánchez (2005) determinó el índice de susceptibilidad de daños por vibración como una función del peligro sísmico y obtuvo mapas cualitativos de riesgo.

Se puede observar que el cálculo de la vulnerabilidad es variable y, en muchos casos, depende del tipo de método o código al que se hace referencia. Así pues, el código de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), establece o permite incursiones dentro del intervalo de comportamiento inelástico para eventos desastrosos importantes, de tal manera que la estructura puede sufrir daños siempre y cuando no sufra falla (Fernández y Santana, 1990). Esto es, una edificación que sufra deformaciones en sus elementos no estructurales, tales como ventanas, pisos, paredes de mampostería u otros, no sería vulnerable a menos que fallaran. Sin embargo, desde el punto de vista del propietario de la construcción, es vulnerable, pues los daños sufridos en los elementos no estructurales, en definitiva se traducen en gastos subsiguientes e inclusive en la posibilidad de considerar la pérdida total de la estructura. Aún en el caso de construcciones destinadas a vivienda que presenten incursiones considerables dentro del intervalo inelástico durante un evento desastrosos (pero que no fallen ni presenten pérdidas de vidas).

Considerando estos precedentes, en general, la premisa fundamental de todos los códigos y metodologías para el análisis de vulnerabilidad de una estructura es la preservación de la vida y los parámetros para el desarrollo pueden agruparse en tres grandes categorías (Fernández y Santana, 1990):

1. Definición de los focos de evaluación.
2. Establecimiento o definición de fases.
3. Selección de perímetros para el comportamiento permisible.

La definición de los focos de evaluación se refiere básicamente a establecer criterios que permitan tomar decisiones respecto al estado de la construcción. Para llegar a ello, se deben considerar tres aspectos fundamentales:

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

- a) Características del material, tales como resistencia, rigidez, comportamiento elástico o inelástico y otras.
- b) Fallas usuales, esto es, tener conocimiento de daños o fallas ocurridos en eventos pasados.
- c) Clasificación de estructuración, es conveniente realizar una clasificación con respecto a aspectos de estructuración, ello permite establecer patrones característicos de comportamiento para cada tipo de construcción (por ejemplo, construcciones a base de muros de mampostería).

Teniendo en cuenta que algunas edificaciones presentan deficiencias, el establecimiento de las fases estará limitado por aspectos de tiempo y dinero. Esto es, se considera prácticamente imposible realizar un estudio minucioso para todas las construcciones existentes de una región. Por lo tanto, es necesario delimitar/reducir el número de construcciones que requieren ser analizados de manera detallada. Partiendo de ello, se pueden establecer tres fases:

- a) Fase 1: Identificación de edificaciones que pueden presentar riesgo potencial.
- b) Fase 2: Identificación del tipo de riesgo.
- c) Fase 3: Estudio de la capacidad.

### **2.3. FUNDAMENTOS DE SEGURIDAD**

Establecer criterios de seguridad permite racionalizar la inversión de recursos. Además, es posible disminuir los riesgos al existir una normalización en la información y datos. Así, para obtener seguridad se requiere una definición correcta de criterios, en donde los criterios que se establezcan deben responder a algún tipo de lineamiento, regla o guía. Existen diversos criterios de seguridad para salvaguardar la integridad de obras de infraestructura, monumentos históricos, equipo de precisión delicado, inmuebles y otros que afectan directamente a los usuarios.

En el presente proyecto de investigación, los criterios de seguridad a rescatar son los que se refieren a viviendas de tipo unifamiliar. Respecto a ello, los criterios de seguridad vigentes tanto en los Estados Unidos de América como en los países vanguardistas, consideran a las viviendas de un nivel como edificios frágiles, denominados de *Tipo I*, los cuales representan construcciones delicadas por la alta repercusión social y económica que ocasionaría su falla.

Actualmente, los criterios de seguridad más estrictos, vigentes, son los siguientes (Carbajal, 2015):

1. El presentado en 1980 por el Departamento de Minas de la Unión Americana (USBM), acorde al reporte de investigación RI-8507.
2. El presentado en 1975 en Alemania Occidental por el departamento de Exploración Geológica conocido como DIN-4150 (Deutsches Institut für Normung).

El primer criterio (USBM RI-8507), no corresponde a una norma, se refiere a un reporte de investigación del departamento de minas de EUA (USBM-U.S. Bureau of Mines) propio para los efectos de las vibraciones producidas por la mina de carbón Ayrshire en Evansville (Indiana), sobre viviendas cercanas y sus indicadores han sido aceptados a nivel mundial como umbrales para la evaluación de daño en viviendas debido a vibraciones causadas por explosiones.

El segundo criterio ha sido actualizado durante 1999 y 2001, dividiéndose en tres partes. La DIN-4150 parte 3, se refiere a los efectos de vibración sobre estructuras y tiene como objetivo alcanzar los estándares específicos de un modelo de medición y evaluación de los efectos de vibración sobre estructuras diseñadas fundamentalmente para cargas estáticas. Este método se aplica mediante una ficha técnica de inspección de inmuebles/estructuras, proporcionando valores de referencia que propicien la ausencia de daños con efectos adversos en la capacidad de servicio de la estructura o el inmueble. El criterio DIN-4150 (1999), establece los valores máximos de velocidad de vibración en unidades de milímetros sobre segundo y están en función de la frecuencia.

Hasta el año 2006, en México no se contaba con una norma de seguridad propia que garantizará la integridad de sus obras de infraestructura ni la seguridad de sus ocupantes. No obstante, el 29 de agosto de 2007, en el Diario Oficial de la Federación Mexicana, se publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007: “*Lineamientos para los trabajos de prospección sísmológica petrolera y especificaciones de los niveles máximos de energía*”, de la Secretaría de Energía y la Secretaría de Hidrocarburos, que define las amplitudes máximas permisibles de vibración para no dañar la infraestructura existente en el área (NOM-026-SESH, 2007).

De los criterios mencionados previamente, se puede indicar que la norma alemana DIN-4150, es la más conservadora. Mientras que la norma USBM RI-8507 es la menos conservadora. De tal manera que la norma mexicana se encuentra ubicada entre ambas normas, esto es, su comportamiento es menos conservador que el de la norma DIN- 4150 y más conservador que el de la norma USBM RI-8507 respecto a las amplitudes máximas permisibles de vibración.

Según el párrafo anterior, para este estudio se considera entonces a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007 como la base a considerar para el cumplimiento de los límites en los trabajos de prospección sísmica. De estos lineamientos, se rescatan los puntos 5, 6 y 9; que señalan lo siguiente:

1. Punto 5: se refiere a los *convenios de servidumbre de paso*.
2. Punto 6: se refiere al *procedimiento de evaluación de la conformidad*; que contempla el cumplimiento de las disposiciones de la norma por parte de organismos como la SERNAPAM o la

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

unidad de verificación correspondiente hacia Pemex u otros, respecto a los niveles de vibración permisibles.

3. Punto 9: se refiere a la *grabación correcta de datos sismológicos*.

Cabe destacar que los tres puntos descritos corresponden a la aplicación correcta del *Anexo 10.1, 10.2 y 10.3* de dicha norma. En donde el *Anexo 10.1* de la norma, se refiere a la ficha técnica para la inspección de inmuebles y de los aspectos mínimos a considerar. Asimismo, en los anexos de la NOM-026-SESH-2007 se presenta un procedimiento para determinar las distancias de seguridad por medio del registro de vibraciones superficiales, mismo que se describe a continuación:

1. Selección de una región característica representativa de la litología del área de estudio.
2. Determinación de las distancias de seguridad a ensayar.
3. Obtención de registros de las vibraciones superficiales de los puntos fuentes a diferentes distancias.
4. Identificación de los valores máximos de vibración de cada registro, así como la representación gráfica de la velocidad de partícula contra la frecuencia.
5. Selección de eventos de vibración que no excedan los valores de la curva límite de referencia indicada en la NOM-026-SESH-2007.
6. La distancia de seguridad será aquella que con los parámetros de la fuente establecidos proporcione valores de velocidad de partícula que estén por debajo de la curva límite de referencia y a partir de esos datos se deberá generar un gráfico de distancia contra velocidad máxima de partícula que represente la respuesta del terreno a las vibraciones superficiales.

Según lo descrito, y como resultado del diseño de ejecución del estudio de prospección sismológica, será posible definir las características y el tipo de fuente de energía a utilizar así como su orientación y espaciamiento entre los puntos de emisión y recepción de energía. Una vez cumplido, y si los resultados son favorables para el área asignada para estudio sísmico de reflexión, es posible efectuar una inspección de las edificaciones en la que se debe aplicar una ficha técnica que contenga los datos generales de las construcciones que se encuentren en el área de estudio con información del propietario, de la fuente de energía más cercana al inmueble, de las características de la construcción y de la evaluación del estado físico del edificio antes y después de la prospección.

En la Fig. 2.4, se presenta una ficha técnica elaborada en julio de 2012 por Pemex. En ella se puede apreciar que fueron aplicadas en cumplimiento a la norma mexicana. Sin embargo, para efectos de este estudio, no es posible identificar si la valoración de las fichas técnicas aplicadas contienen información real o estimada correctamente, por lo que sólo se muestran como ejemplo de su aplicación.



Figura 2.4. Ficha técnica aplicada por Pemex en 2012 para la inspección de viviendas.

El Anexo 10.2 se refiere a los *procedimientos para determinar las distancias de seguridad por medio de registros de vibraciones superficiales* y en él se recomienda seleccionar una zona que sea representativa de la litología del área de estudio como se indicó previamente. Ello debido a que será el lugar donde se realizarán las pruebas para determinar las distancias mínimas de seguridad. Se recomienda realizar mediciones a diferentes distancias del punto de tiro, para que con sensores y adquiredores de datos sea posible elaborar gráficas de velocidad de partícula contra frecuencia y contra distancia, así como detectar los efectos de sitio.

El último punto está definido en el Anexo 10.3 que se refiere a la medición correcta de los registros en el terreno a diversas distancias de la fuente de vibración superficial, con el propósito de efectuar un control de calidad de los datos registrados y detectar efectos de sitio. Esto es, señala cómo efectuar la selección de inmuebles y el registro de las vibraciones provocadas por las explosiones a través de sismógrafos y a su vez; cómo colocar correctamente los sismómetros o geófonos en sus tres componentes (radial, vertical y transversal). A su vez, en el subíndice 10.3.1 de la norma, se hace mención a la toma de registros en el terreno a diversas distancias de la fuente de vibración superficial, con la finalidad de efectuar un control de calidad de los datos registrados y detectar *efectos de sitio*, para posteriormente, con base en el subíndice 10.3.2 la secuencia del monitoreo de vibraciones superficiales sea evaluada. Cabe destacar, que sólo en ese apartado, se hace referencia a la manera de localizar efectos de sitio, no obstante, no se indica cómo identificarlo, analizarlo o evaluarlo en caso de presentarse. No obstante, en el presente trabajo de investigación, como se indicó, se considera a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007 y se analiza y evalúa lo señalado en sus anexos.

## 2.4. FUNDAMENTOS PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES A BASE DE MAMPOSTERÍA

En México, el comportamiento de las edificaciones a base de muros de mampostería ha sido estudiado ampliamente (Meli, 1975; Alcocer, 1997), este sistema tradicional de construcción tiene gran diversidad en sus usos y generalmente se asocia con procedimientos artesanales tanto en la fabricación de las piezas (tabiques, bloques, piedras talladas en formas regulares u otros) acopladas entre sí por un mortero adhesivo, como en los procesos constructivos.

En la presente sección y en las secciones 3.3 y 3.4 de esta tesis, se realiza una breve descripción de los fundamentos básicos de los métodos utilizados para el análisis de los muros de mampostería. Cabe destacar que el sustento técnico no se trata a detalle, por lo que se sugiere consultar las referencias disponibles.

Alrededor del mundo se han hecho numerosas investigaciones para comprender el comportamiento de las viviendas de mampostería. Estas se realizan de acuerdo con la prioridad de cada región y de los resultados obtenidos a partir de la presencia de fenómenos.

Cuando los muros de mampostería se encuentran sujetos a cargas laterales como las fuerzas inducidas por la acción de un sismo, la respuesta estructural que interesa conocer esencialmente es la de los desplazamientos laterales, las rotaciones del muro y los desplazamientos angulares (Cecilio, 2013).

Lo anterior, puede ser representado por la ecuación 2.1 y la Fig. 2.5, en las que se muestran las contribuciones de los desplazamientos por cortante, flexión y desplazamiento total:

$$\Delta_T = \frac{Vh^3}{3EI} + \frac{Vh}{GA} \quad (2.1)$$

donde:  $V$  y  $h$ , son la fuerza cortante y la altura del muro;  $A$  e  $I$ , son el área y momento de inercia equivalente de la sección  $E$  y,  $G$  corresponde a el módulo de elasticidad y de cortante.

Por otro lado, los requisitos de diseño sísmico de estructuras de mampostería que se han producido después del sismo de 1985, primero en el Distrito Federal y después en otros estados, han dado lugar a cambios significativos en los diseños de viviendas. Alcocer *et al.* (1999) se basan en experiencias adquiridas de la observación de daños en desastres pasados y de entender el comportamiento de muros aislados o acoplados sometidos a cargas laterales cíclicas a partir de ensayos de laboratorio.

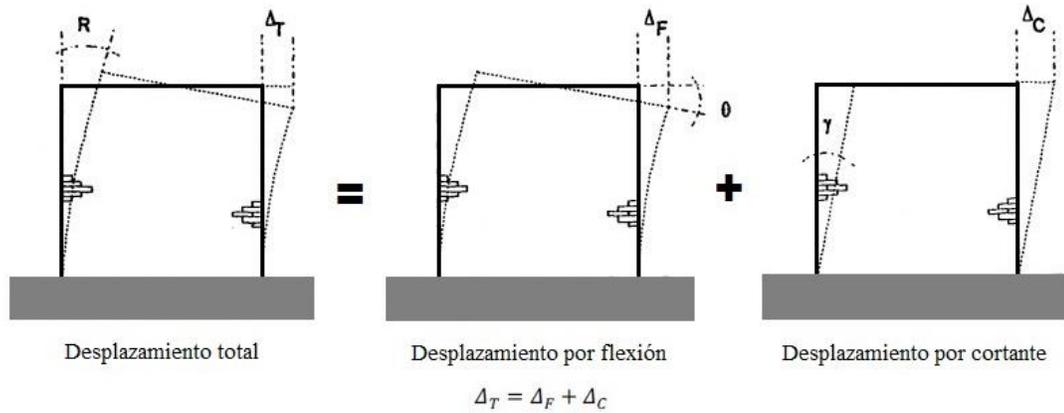


Figura 2.5. Contribuciones al desplazamiento total de los muros (Alcocer *et al.*, 1999).

Por lo anterior, para entender el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería de manera integral, es necesario determinar experimentalmente la interacción entre los diferentes elementos que la forman. Por lo tanto, dependerá de la calidad de las piezas que conformen el muro, de la mano de obra, de las dimensiones y de la cuantía de refuerzo de los elementos de confinamiento. Es decir, del trabajo conjunto que se logre entre el muro de mampostería y los elementos de confinamiento, de la esbeltez del muro y de la existencia de acero de refuerzo horizontal.

En general, las construcciones de mampostería confinada con dalas y castillos han demostrado tener un comportamiento sísmico aceptable. Sin embargo, se ha observado que la resistencia de los muros disminuye rápidamente cuando se daña el elemento de concreto que lo confina (regularmente el castillo), ello se presenta en la Fig. 2.6. La falla del elemento ocurre cuando, después del agrietamiento diagonal del muro, los esfuerzos cortantes en los extremos del castillo provocan que aparezcan grietas inclinadas en una distancia de 30 a 40 cm a partir del vértice de las esquinas interiores (Cecilio, 2011).



Figura 2.6. Falla de castillo por tensión diagonal (CENAPRED, 2013).

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

Para entender el daño, las causas o el comportamiento sísmico de las edificaciones de mampostería se requieren identificar los tipos de falla más frecuentes. A continuación, se mencionan los tipos de fallas más importantes que pueden presentarse en estructuras de concreto reforzado y mampostería tras la ocurrencia de eventos desastrosos (Murillo, 2004):

1. Falla por la resistencia al cortante inadecuada de los entrepisos debido a la escasez de elementos tales como columnas y muros. Esta falla puede producir el colapso de los edificios, y se debe a la poca resistencia a la carga lateral de los elementos verticales de soporte como son columnas y muros. Las fuerzas de inercia generan fuerzas cortantes decrecientes desde la base hasta la cúspide.
2. Falla frágil de cortante y tensión diagonal en columnas o en vigas. Cuando la respuesta sísmica del edificio es dúctil, se presentan deformaciones en compresión considerables debidas a efectos combinados de fuerza axial y momento flexionante. Si existe la presencia de un sismo, es muy importante que las construcciones tengan la capacidad de deformación suficiente para soportar de manera adecuada la sollicitación sísmica sin demeritar su resistencia.
3. Falla por adherencia del bloque de unión en las conexiones viga-columna debida al deslizamiento de las varillas ancladas o a falla de cortante. Cuando las conexiones entre los distintos elementos estructurales presentan concentraciones elevadas o condiciones de esfuerzos complejos. Así, se pueden producir distintos casos de falla especialmente entre uniones de muros y losas de estructuras a base de paneles, entre vigas y columnas en estructuras de marcos, entre columnas y losas planas, así como en las uniones de columnas con cimentaciones.
4. Falla frágil en muros de cortante, sin o con aberturas, solos o acoplados. Los muros de cortante resisten, principalmente, esfuerzos producto de fuerzas horizontales de los sismos. Así, ante la presencia de éste, las fallas que suelen presentarse son en la unión con los sistemas de piso, por cortante horizontal o vertical y por volteo.
5. Falla por vibración torsional causada por la falta de coincidencia en planta del centro de masas con el centro de rigidez. Cuando la distribución de los elementos estructurales resistentes de un edificio presenta asimetría, puede causar una vibración torsional ante la acción sísmica y generar fuerzas elevadas en los elementos de la periferia del edificio. Esta vibración se manifiesta cuando el centro de masa del edificio no coincide con su centro de rigidez y por esta acción, el edificio tiende a girar respecto a su rigidez. Esto causa grandes incrementos en las fuerzas laterales, que actúan sobre los elementos perimetrales de soporte de manera proporcional a sus distancias al centro.
6. Falla de edificios a base de losas planas por punzonamiento de la losa producidos por los elevados esfuerzos cortantes. Esta es una falla de conexión que se presenta en edificios de losas planas y se debe a una falla de punzonamiento producida por esfuerzos cortantes elevados. En esta falla los sistemas de piso quedan sin apoyo dando lugar a un colapso en el que sólo las columnas permanecen de pie.

7. Falla por variación brusca de la rigidez a lo largo de la altura del edificio. Comúnmente, las plantas bajas de los edificios se construyen dejando el mayor espacio posible, y los pisos superiores se construyen mediante marco-muro. En la mayoría de los casos queda confinado por el marco, proporcionándole a los pisos superiores mayor rigidez que los de la planta baja. Debido a ello, se produce una concentración de daños en la planta débil (planta baja), la cual tiene una rigidez mucho menor en comparación con la de los pisos superiores.
8. Falla por golpeteo entre edificios. En caso de la presencia de un sismo, la cercanía entre edificios y el movimiento desigual entre ellos, puede causar daños severos. Ello se agrava cuando los edificios cercanos no están a la misma altura.
9. Falla en columnas de pisos superiores por la amplificación de los desplazamientos en la azotea de los edificios. Cuando las vibraciones inducidas por un sismo se propagan desde la base hasta la cima de los edificios, se presentan amplificaciones de la vibración a lo largo de su altura. Estas se acentúan en los niveles superiores, (principalmente en edificios altos), lo que conduce a una concentración elevada de acciones internas que pueden provocar el colapso del edificio.
10. Falla frágil de cortante en columnas acortadas por el efecto restrictivo al desplazamiento causado por elementos no estructurales. La interacción entre elementos no estructurales, tales como muros divisorios de mampostería y las columnas de marcos de concreto, provoca concentraciones de fuerza cortante en los extremos libres de las columnas, estas tienden a fallar por cortante.

Se puede observar que el comportamiento no lineal de una estructura está asociado a su estado de daño, inicialmente en elementos no estructurales y posteriormente en los estructurales. Las principales características que presenta una estructura cuando incursiona en su intervalo de comportamiento no lineal, son la pérdida de resistencia, la degradación de rigidez y el aumento del amortiguamiento que traen como consecuencia el agrietamiento de los elementos estructurales y no estructurales (Bazán y Meli, 2002).

#### **2.4.1. Teoría para analizar el comportamiento inelástico de estructuras de mampostería**

El estudio de las estructuras en la etapa de comportamiento no lineal es de gran importancia. Se puede considerar que, si un diseño cumple las exigencias de los estados límite de servicio, casi se puede asegurar que también va a cumplir el estado límite último. Ello debido a que ese estado suele contener condiciones de seguridad más estrictas en las normas de diseño. Así, con el objetivo de disipar la energía mediante deformaciones permanentes, cuando las edificaciones se encuentran sometidas a sismos intensos, en el diseño se debe considerar que los materiales ingresan a su intervalo de comportamiento no lineal.

En los materiales elásticos, el comportamiento puede ser definido por una gráfica esfuerzo-deformación lineal, en la que se presenta un tramo lineal o intervalo elástico cuya pendiente es el módulo de elasticidad

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

$E$  y éste es directamente proporcional al esfuerzo aplicado ( $\sigma$ ) e inversamente proporcional a la deformación unitaria  $\varepsilon$ , esto es (ecuación 2.2):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.2)$$

Cuando la relación de proporcionalidad deja de cumplirse, el comportamiento mostrado por los materiales se denomina no lineal o intervalo inelástico (Fig. 2.7). Si el material supera cierto estado límite empieza a perder rigidez, en este caso la curva de comportamiento muestra que a medida que aumenta el esfuerzo las deformaciones suelen crecer más rápidamente que en el estado elástico.

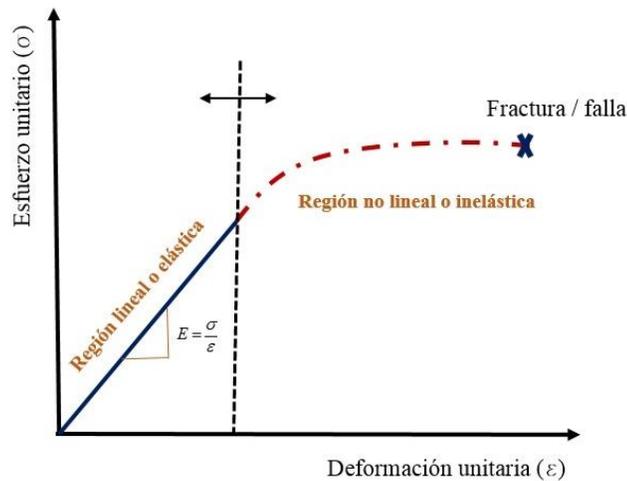


Figura 2.7. Comportamiento de los materiales, curva esfuerzo-deformación (Galiote, 2015).

En general, la resistencia de la mampostería en tensión es muy baja, la falla es frágil y la curva esfuerzo-deformación en compresión es prácticamente lineal hasta la falla (Bazán y Meli, 2002).

De acuerdo con Orduña y Ayala (2001), el comportamiento inelástico de las estructuras de mampostería proviene de dos fuentes principales:

1. Del comportamiento inelástico inherente de los materiales a partir de cierto nivel de deformaciones, el cual es heredado a los elementos estructurales y a las estructuras. Para el caso de la mampostería, el comportamiento inelástico de las piezas y del mortero es similar a las del concreto. Sin embargo, cuantitativamente las propiedades mecánicas tanto elásticas como inelásticas de las piezas pueden ser muy distintas a las del mortero.
2. Del comportamiento de la superficie de unión entre pieza y mortero, en donde ocurre agrietamiento por tensión y deslizamiento debido a esfuerzos cortantes. En muros donde la falla es por cortante, este aspecto determina en forma muy significativa el comportamiento global del elemento estructural.

Por otra parte, para las construcciones modernas, en donde se utilizan elementos de liga y refuerzo, el desempeño estructural que presenta la mampostería es considerado apropiado para ciertos límites de altura de la construcción y de la cantidad y distribución de los muros. De esa manera, para la mampostería confinada, que es usualmente el sistema estructural a base de muros de mampostería más empleado en México y otros países de Latinoamérica (Fig. 2.8a), el comportamiento ante ciclos de carga repetida muestra una disipación de energía limitada, pero se aleja de pertenecer a una falla frágil (Fig. 2.8b).

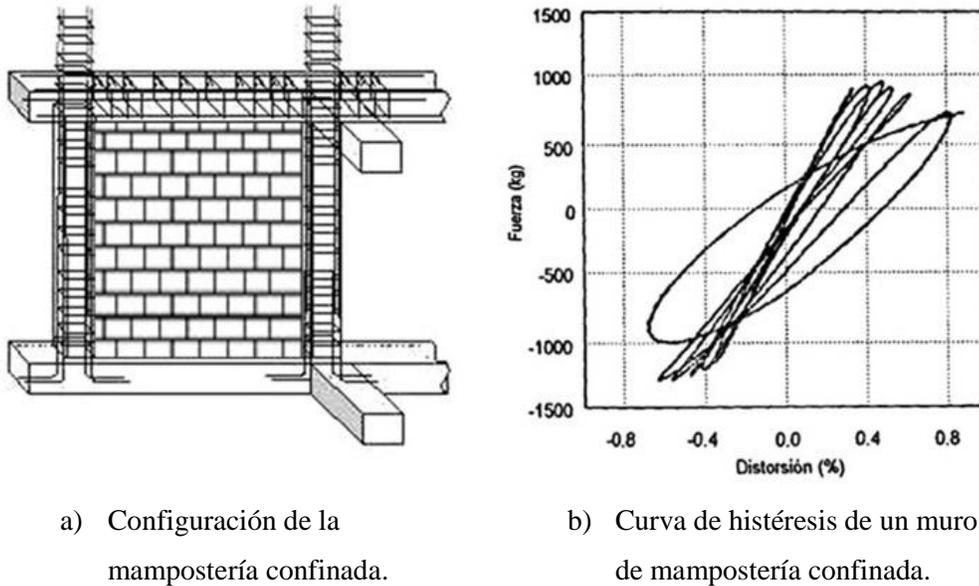


Figura 2.8. Comportamiento de la mampostería confinada ante cargas cíclicas (Alcocer *et al.*, 1999).

Asimismo, con el propósito de obtener un modelo de histéresis que represente con mayor precisión el comportamiento de la mampostería confinada bajo la acción de cargas laterales, se han planteado modelos de histéresis diferentes al del comportamiento elástico, que están basados en comportamientos de tipo inelástico bilineal y trilineal. Por ejemplo Meli (1975) define un modelo de histéresis trilineal para la mampostería confinada a partir de curvas obtenidas experimentalmente (Fig. 2.9), en donde el primer intervalo describe el comportamiento cercano al agrietamiento del muro; el segundo (de rigidez inferior), corresponde a la zona entre el agrietamiento y la carga máxima y, finalmente, se presenta el intervalo horizontal que representa la fluencia hasta la falla.

Ante dichos estudios, es de gran importancia conocer el comportamiento inelástico de las estructuras cuando son sometidas a distintas excitaciones. Para ello, existen dos procedimientos para conocer la respuesta inelástica de una estructura:

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

1. Por métodos experimentales, en donde las estructuras son sometidas a solicitaciones que provocan que incurrieren en su etapa de comportamiento inelástico (procedimiento destructivo) y,
2. A través de modelos matemáticos, donde se representan las características inelásticas de los materiales y las secciones que componen a la estructura (procedimiento no destructivo).

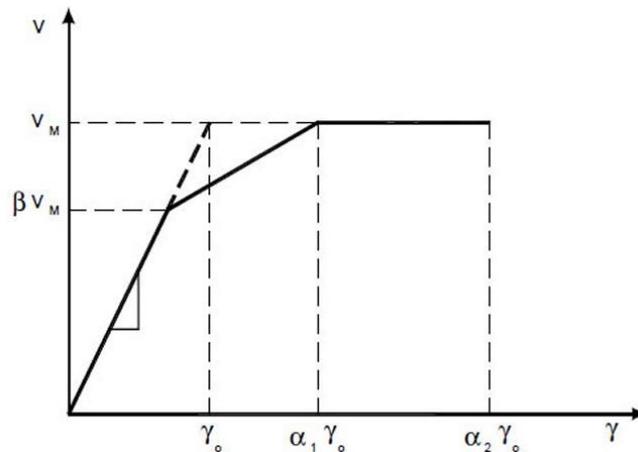


Figura 2.9. Curva trilineal propuesta por Meli (1975).

El proceso de diseño de estructuras de mampostería está basado en experiencias adquiridas y en entender el comportamiento de muros aislados o acoplados sometidos a cargas laterales. Los resultados de los ensayos en laboratorio de tipo cuasi-estático, es decir, a frecuencias bajas (del orden de 0.002 Hz) forman la base del criterio actual de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Alcocer *et al.*, 1999). Sin embargo, no se tienen antecedentes sobre el nivel de seguridad de estructuras de mampostería ante *excitaciones dinámicas* controladas como las que se pueden generar en la zona de estudio de este proyecto. De igual manera, no se contemplan explícitamente las características de la región de estudio.

En este trabajo se analiza el comportamiento inelástico de estructuras de mampostería confinada a través de modelos matemáticos inelásticos de las estructuras. Estos modelos se realizan para el programa de computadora CANNY-2010, desarrollado por Kang Ning Li (1999). Este programa fue elaborado para el análisis de estructuras de concreto reforzado. No obstante, puede ser utilizado para estructuras de acero, estructuras combinadas y de mampostería. Adicionalmente, para elaborar los modelos se eligió un comportamiento trilineal de la mampostería, por lo cual se empleó el modelo de histéresis *Sofisticado bilineal/trilineal* del programa CANNY-2010.

### 2.4.2. Programa CANNY

Se presentan las características del programa CANNY-2010 (Kang Ning Li, 1999), que fue desarrollado para resolver problemas de ingeniería estructural.

El programa ha tenido diferentes versiones, tales como RANMI, CANNY-C, CANNY-D, CANNY-E y CANNY-2010, esta última se emplea en este trabajo y fue desarrollada de 2006 a 2010.

El programa tiene como propósito general efectuar el análisis estructural no lineal tridimensional de la mayoría de las estructuras (concreto reforzado, acero, mampostería o combinadas). Con el programa, es posible analizar hasta 21 diferentes modelos de histéresis y está diseñado para efectuar análisis modal, estático, estático bajo cargas cíclicas, pseudo-dinámico, dinámico y diseños basados en cargas. El programa CANNY-2010 cuenta con una herramienta denominada *elemento panel de cortante* (Fig. 2.10), con la que es posible realizar la representación de estructuras a base de muros, la cual es idealizada con las siguientes características:

1. Considera los efectos de las deformaciones por flexión, cortante y fuerza axial en el plano del panel, y a su vez, no considera ningún efecto fuera de la dirección del plano del panel.
2. Es idealizado a través de un elemento línea, localizado al centro del panel y paralela el eje vertical global.
3. La localización del elemento línea, debe estar definida entre dos nodos localizados en los extremos del muro.
4. La capacidad del muro a flexión, cortante y fuerza axial, es idealizada a través de resortes simples de un componente sin interacción entre ellos.
5. En el panel de cortante se acepta sección plana para determinar la rotación en la base y en la sección superior del panel y para determinar la traslación vertical de los nodos en las cuatro esquinas de éste.
6. La suposición de una sección plana indica que hay una trabe rígida en la base y la sección superior del panel.
7. El elemento panel de cortante sólo es posible en un sistema marco-piso, para estructuras tipo edificio, y el sistema deberá contar con pisos rígidos en su plano en la parte superior e inferior del panel.

Cabe destacar que otra manera de modelar un muro en el programa CANNY-2010 es por medio de barras que trabajen a compresión y tensión.

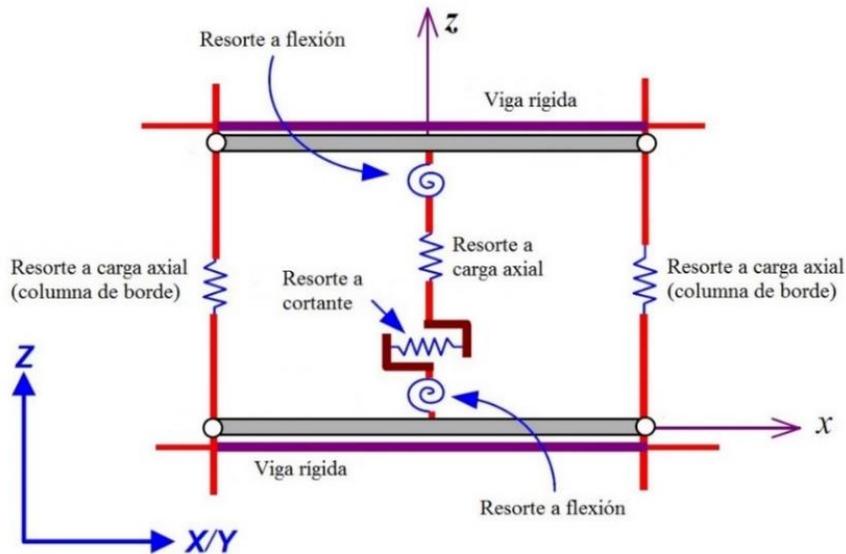


Figura 2.10. Elemento panel de cortante (Kang-Ning Li, 2009).

## 2.5. MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

La respuesta estructural es la caracterización de la forma en la que se comportan las edificaciones ante diferentes fenómenos que las afectan. El cálculo de la respuesta estructural para el presente estudio se efectúa con el programa de computadora SAP2000 (CSI, 2009), que permite modelar las estructuras en tres dimensiones, realizar análisis paso a paso, así como de desplazamientos impuestos.

El modelo matemático que representa a las viviendas del estudio fue efectuado por el Método del Elemento Finito (MEF), que actualmente constituye una de las herramientas más poderosas para el análisis de estructuras complejas, tanto para el intervalo lineal como en el no lineal. Además, para fines prácticos, los resultados pueden considerarse como aceptables, admitiendo ciertos muros de composición y/o geometría complicada. Así, el MEF está reconocido como el más apropiado en la solución de problemas de análisis de estructuras de muros sometidos a un conjunto de fuerzas en su plano (Bazán y Meli, 2002).

El MEF consiste en dividir un medio continuo en subregiones, denominadas elementos finitos, dentro de las cuales se define la forma en que varían los desplazamientos en función de los valores correspondientes a ciertos puntos denominados nodos. Si se considera que se trata de un problema de estado plano de esfuerzos, los muros de mampostería pueden ser modelados por medio del MEF, donde se acepta que los esfuerzos perpendiculares al plano del muro son nulos. Es decir, al modelar los muros se considera un estado plano de esfuerzos porque como se denota más adelante, en la presente investigación, los esfuerzos fuera del plano son despreciables, por lo que una de las razones de emplear este método radica en el cálculo de los esfuerzos en dos direcciones en el mismo plano del muro. Los grados de libertad asignados son,

usualmente, los desplazamientos horizontales y verticales de los nodos (Bazán y Meli, 2002). Dependiendo del nivel de detalle deseado, los muros de mampostería (Fig. 2.11a) se pueden modelar con el MEF de las siguientes formas (Lourenço, 2008):

1. *Micro-modelo detallado*. Las piezas de mampostería (tabiques) y mortero se representan como elementos continuos, mientras que la unión mortero-tabique es representada por elementos discontinuos (Fig. 2.11b).
2. *Micro-modelo simplificado*. Las piezas de mampostería están representadas por un elemento continuo donde el comportamiento de las juntas de mortero y la unión mortero-tabique está representadas por elementos discontinuos (Fig. 2.11c).
3. *Macro-modelo*. Las piezas de mampostería, mortero y unión mortero-tabique están contenidos en solo elemento continuo (Fig. 2.11d).

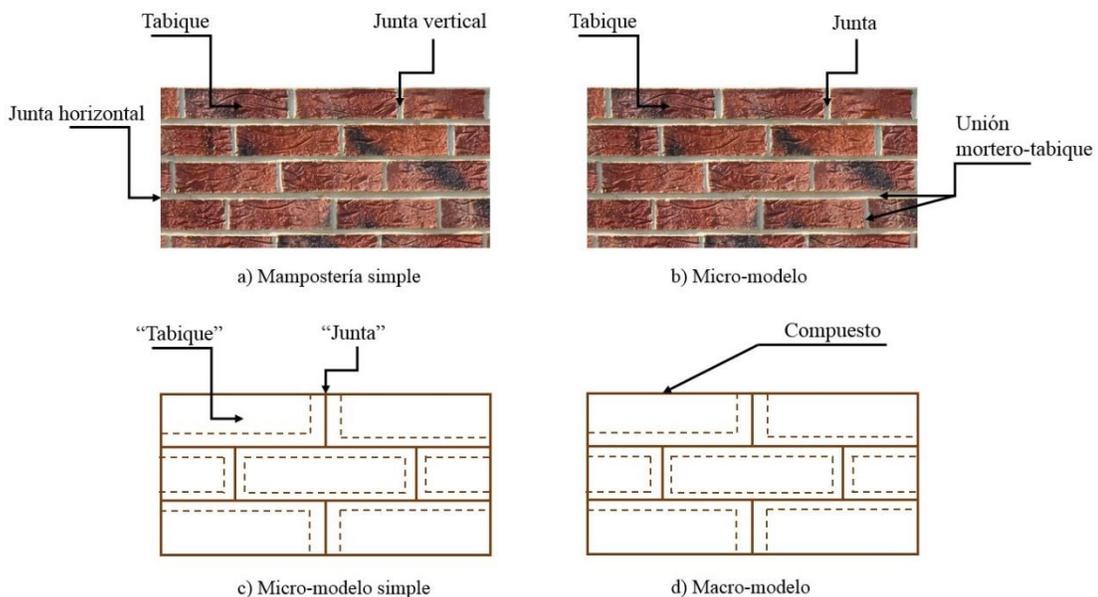


Figura 2.11. Diferentes estrategias de modelado de la mampostería con elementos finitos (Lourenço, 2008).

De acuerdo con lo anterior, para modelar los muros de las viviendas estudiadas se emplearon elementos finitos cuadrangulares (con relaciones de forma largo/ancho aproximadamente igual a 1), y se empleó un macro-modelo de la mampostería. Una parte importante del análisis con este método consiste en definir adecuadamente los elementos finitos necesarios para representar el comportamiento de la estructura de manera correcta.

Para realizar el análisis de estructuras con muros de mampostería confinada, el MEF utiliza dos técnicas (Taveras, 2008):

1. Modelar todos los componentes estructurales con elementos tipo área.

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

2. Modelar sólo la mampostería como elemento tipo área. Los elementos confinantes como dallas y castillos, se modelan como elementos tipo barra unidos a la mampostería sólo en los nodos de conexión.

En la presente tesis, se utiliza la segunda técnica de modelación antes descrita. Cabe destacar que el elemento tipo área se refiere a sistemas de modelado en dos dimensiones (largo y ancho), a diferencia de utilizar líneas en una sola dimensión, pues con SAP2000 es posible realizar la modelación de un elemento tipo superficie con Elementos Shell (Shell Element), tales como:

1. *Elemento membrana (membrane)*: realiza comportamiento de membranas. Resiste fuerzas y momentos normales sólo en el plano, únicamente para material homogéneo.
2. *Elemento placa (plate)*: realiza comportamiento de placas. Resiste sólo momentos flectores y fuerzas transversales. Permite formulación de placa delgada (Thin-Plate) o gruesa (Thick-Plate). Se puede aplicar en material homogéneo.
  - a) *Placa delgada*: sólo considera a las deformaciones por flexión despreciando el efecto del esfuerzo cortante. Se consideran las hipótesis de Kirchhoff. Se establece que dicha condición se presenta cuando  $t/L \leq 0.05$ .
  - b) *Placa gruesa*: considera las deformaciones por flexión y por esfuerzo cortante. Obedece a las hipótesis de Mindlin-Reissner. Dicha condición se presenta cuando  $0.10 \leq t/L \leq 0.25$ .  
\*donde, para ambas condiciones  $t$ , representa el espesor del elemento y  $L$  la longitud del elemento en dirección de la flexión.

La modelación en el presente estudio se efectuó por medio de elementos *Shell Thick*; estos elementos además de lo mencionado, consideran todos los grados de libertad en todas las direcciones y en particular, permiten analizar los efectos por cortante mediante la formulación de Mindlin-Reissner. No obstante, la principal desventaja de este tipo de elementos es que se puede perder precisión con el tamaño del elemento, por lo que es necesario elaborar elementos muy pequeños, de igual forma este tipo de elementos al incluir la colaboración del cortante tienden a hacer más rígidos a los elementos empleados.

Adicionalmente, los modelos numéricos de las viviendas analizadas se calibraron con los resultados obtenidos de pruebas de vibración ambiental, realizadas por personal del II-UNAM en noviembre de 2014. Una vez calibrados, los modelos se utilizaron para determinar sus características dinámicas y comportamiento estructural ante las detonaciones producidas por Pemex.

## 2.6. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN TÉRMINOS DE LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO

La distorsión de entrepiso se define como la diferencia de desplazamientos entre dos niveles consecutivos dividida por la altura del entrepiso, con excepción de los sistemas estructurales a base de muros de concreto o de mampostería, en los que la distorsión se refiere a la altura total del edificio (Reyes, 1999).

En el presente trabajo se efectúa el análisis de la distorsión de entrepiso para determinar el daño en sistemas estructurales a base de muros de mampostería. Para caracterizar la respuesta estructural, se utilizó el desplazamiento relativo de entrepiso, que como se mencionó, es el incremento en el desplazamiento lateral, entre un piso y el siguiente de una estructura. No obstante, una manera más práctica para obtenerlo consiste en expresarlo adimensionalmente. Así, al dividir el desplazamiento relativo de entrepiso entre la altura  $H$  del mismo, se obtiene la distorsión de entrepiso  $\varphi$  (ecuación 2.3).

$$\varphi = \frac{\Delta}{H} \quad (2.3)$$

El índice  $\varphi$  es el más empleado para cuantificar la respuesta de estructuras de edificios, para estudiar el comportamiento de diferentes sistemas estructurales y para estimar el grado de daño que puede presentarse, tanto en la estructura misma como en los elementos no estructurales (Bazán y Meli, 2002).

En sistemas estructurales sometidos a cargas laterales como las producidas por movimientos del suelo (sismos o explosiones subterráneas), es importante controlar su distorsión de entrepiso porque, al conocer su valor, es posible limitar el daño tanto en elementos estructurales como no estructurales, y también evitar la inestabilidad de las estructuras.

Históricamente se han realizado estudios que relacionan el daño de una estructura con su distorsión de entrepiso. Tal es el caso de las estructuras de mampostería, en donde se considera que el valor de la distorsión que inicia el daño en muros es aquél que causa la primera grieta diagonal y de acuerdo con Hernández y Meli (1975, 1976), presenta los siguientes valores:

1. En piezas macizas, como las de tabique rojo recocido y para las tipo rejilla o panal es  $\varphi=0.001$ .
2. En piezas huecas con refuerzo interior, confinadas con dalas y castillos y pegadas con morteros ricos en cemento, similares al tipo I del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente, RCDF (RCDF, 2004),  $\varphi=0.0007$ .
3. En piezas huecas con refuerzo interior y pegadas con morteros ricos en cemento, similares al tipo I del RCDF (RCDF, 2004),  $\varphi=0.0005$ .
4. En piezas de concreto con refuerzo interior y confinadas con castillos y dalas  $\varphi=0.0005$ .

ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

5. En piezas huecas pegadas con morteros pobres en cemento, similares al tipo III del RCDF (RCDF, 2004) y piezas sílice-calcáreas,  $\varphi=0.0003$ .

Con respecto a la máxima distorsión de entrepiso que pueden soportar las estructuras compuestas por mampostería, Hernández y Meli (1975, 1976), encontraron que:

1. En estructuras construidas con tabique macizo o tipo panal con o sin castillos, la máxima distorsión de entrepiso que soportan es  $\varphi=0.006$ .
2. En el caso de estructuras construidas con piezas huecas con refuerzo interior y sin castillos, la máxima distorsión de entrepiso que soportan es  $\varphi=0.003$ , y con castillos  $\varphi=0.006$ .
3. En bloques de concreto con refuerzo interior confinados por castillos y dalas, la máxima distorsión de entrepiso que soportan es  $\varphi=0.005$ .

Hernández y Meli (1975, 1976), señalan que la distorsión límite para estructuras de mampostería construidas con castillos (mampostería confinada) corresponde al inicio del deterioro del castillo. Sin embargo, también se ha observado que después de que la distorsión de entrepiso alcanza ese valor, la resistencia del muro disminuye rápidamente (Alcocer *et al.*, 1999), razón por la que se considera a ese valor de la distorsión de entrepiso como de daño total (Reyes, 1999).

En la Tabla 2.1, se presentan de manera sintetizada los valores de la distorsión de entrepiso que se pueden considerar para el inicio del daño y el daño total para los elementos estructurales a base de mampostería.

Tabla 2.1. Distorsiones de entrepiso en sistemas estructurales a base de mampostería (Reyes, 1999).

Elementos de mampostería	Distorsión de entrepiso inicial	Distorsión de entrepiso para daño total
Piezas macizas	0.001	0.006
Piezas tipo panal	0.001	0.006
Piezas huecas con refuerzo interior y confinadas por castillos y dalas	0.001	0.006
Piezas huecas con refuerzo interior sin confinar	0.0007	0.006
Bloques de concreto confinados por castillos y dalas	0.0005	0.003
Piezas huecas pegadas con mortero pobre o bien piezas sílice-calcáreas	0.0005	0.005
	0.0003	0.003

## 2.7. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN SOCIAL Y LEGAL

Son de interés general las afectaciones producidas por los fenómenos naturales y por la mano del hombre hacia las personas y sus bienes, teniendo como propósito principal ayudar a la población más vulnerable.

Según Acuña (2011), en un territorio vulnerable se pueden distinguir dos tipos de vulnerabilidades: la perteneciente a lo material y a lo construido (vulnerabilidad de lo edificado) y la que es inherente a los habitantes (vulnerabilidad social). Respecto a esta última, a su vez, se consideran niveles de pobreza y exclusión, prácticas sociales, niveles de educación, forma de organización, utilización de recursos, participación ciudadana y otros. Razón por la que, para fines de un análisis inherente a la vulnerabilidad social, en el presente proyecto de investigación se evalúan.

La evaluación se realizó mediante dos encuestas efectuadas en las poblaciones de los municipios de Huimanguillo y Cárdenas en dos diferentes periodos de tiempo. La primera se realizó como un primer acercamiento con la población, buscando obtener un entendimiento general del problema principal presente. Dicho acercamiento se efectuó en noviembre de 2014. El segundo acercamiento y encuentro se efectuó en diciembre de 2016, teniendo como propósito obtener resultados cuantitativos más específicos que permitieran desarrollar tablas y gráficas para ahondar en la comprensión del problema. El cuestionario aplicado en 2014 (punto de partida de la investigación), se presenta en el Apéndice II-Encuesta E1 de esta tesis y está formulado con preguntas de carácter cualitativo. El cuestionario aplicado en 2016, fue aplicado durante el segundo acercamiento, se presenta en el Apéndice II-Encuesta E2 de la presente tesis, y está elaborado con preguntas cerradas; con él se identifica el tipo de vulnerabilidad social en la que se encuentran los habitantes de la región estudiada respecto a los niveles antes mencionados.

Por otra parte, con el propósito de complementar la vulnerabilidad de lo edificado y la vulnerabilidad social, y de esa manera realizar un estudio integral del problema, se analizan los aspectos normativos aplicables en la región de estudio y que conciernen al problema específico debido al riesgo antrópico. Su inclusión parte del hecho de que los habitantes de la región estudiada, como todos los mexicanos que habitan en territorio nacional, están regulados por leyes y reglamentos que proporcionan obligaciones y derechos. Por esa razón, se efectuó un análisis del marco normativo nacional en materia de vulnerabilidad, riesgo y amenaza debido a los estudios de prospección sísmica que pudieran experimentar los habitantes de las poblaciones estudiadas. Inclusive, la investigación se complementa con legislación aplicable para otros países, ello con el fin de proporcionar un marco de referencia en materia legal con el que sea posible realizar comparaciones o adquirir recomendaciones que permitan sugerir propuestas para el marco legal mexicano en la materia. Los principales documentos que fueron considerados en el análisis realizado, entre otros, son los siguientes:

- Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco.

## ENFOQUE TEÓRICO Y METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

- Reglamento de Zonificación del Municipio del Centro del Estado de Tabasco.
- Ley de Protección Ambiental del Estado de Tabasco.
- Ley de Responsabilidad Civil por Daño y Deterioro Ambiental del Estado de Tabasco.
- Ley de Ordenamiento Sustentable del Territorio del Estado de Tabasco.
- Ley de Vivienda del Estado de Tabasco.
- Ley de Derechos y Cultura Indígena del Estado de Tabasco.
- Ley de Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Tabasco.
- Ley de Planeación del Estado de Tabasco.

# CAPÍTULO 3

## CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

El sureste de México, es una región de los Estados Unidos Mexicanos, formada por los estados de Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Yucatán.

El estado de Tabasco se localiza en el sureste de México, colinda al norte con el Golfo de México, al noreste con el estado de Campeche, al sureste con la República de Guatemala, al oeste con el estado de Veracruz y al sur con Chiapas. La superficie de su territorio ocupa una extensión de 25,267km<sup>2</sup>, que lo colocan en la vigésimo cuarta posición en la lista de los estados mexicanos ordenados por superficie (Gobierno de Tabasco, 2014). Según el segundo censo llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en 2010, en Tabasco habitan 2,238,603 personas, por lo que se trata del estado más poblado de todo el sureste mexicano.

De acuerdo con la Constitución Política de Tabasco, el estado se integra por 17 municipios (ver Fig. 3.1), (Gobierno de Tabasco, 2014):

- |               |                     |               |
|---------------|---------------------|---------------|
| 1. Balancán   | 7. Emiliano Zapata  | 13. Nacajuca  |
| 2. Cárdenas   | 8. Huimanguillo     | 14. Paraíso   |
| 3. Centla     | 9. Jalapa           | 15. Tacotalpa |
| 4. Centro     | 10. Jalpa de Méndez | 16. Teapa     |
| 5. Comalcalco | 11. Jonuta          | 17. Tenosique |
| 6. Cunduacán  | 12. Macuspana       |               |

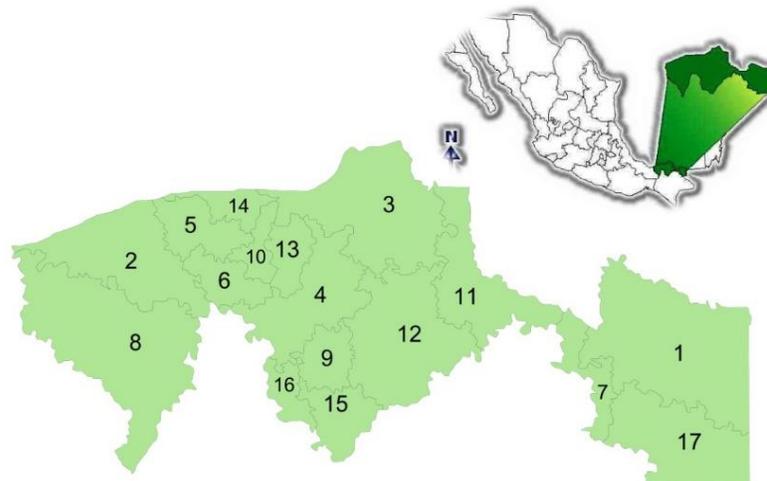


Figura 3.1. Distribución de los municipios del estado de Tabasco (Gobierno de Tabasco, 2014).

## CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

Los municipios se encuentran distribuidos en dos regiones mayores y cinco subregiones según sus características geográficas. En términos de superficie, Huimanguillo es el municipio más grande y Paraíso, el más pequeño; mientras que según el número de habitantes, el municipio más poblado es Centro y el menos poblado es Emiliano Zapata.

Históricamente, las poblaciones de la región sureste de México han presentado los mayores rezagos y disparidades de bienestar. Esto debido a la centralización de servicios, por la segregación, la migración, los niveles de educación bajos, por el uso irracional de los recursos, por las actividades industriales que pueden desarrollarse y en algunos casos, por su localización geográfica (clima extremo e inundaciones).

El estado de Tabasco ha enfrentado a lo largo del tiempo, grandes y diversos retos, tales como desempleo, infraestructura rebasada, dañada o colapsada, salud deficiente, entre otros. No obstante, el desarrollo geológico del territorio tabasqueño (que está determinado por eventos estratigráficos y estructurales del Mesozoico y Cenozoico), ha dado lugar a la base petrológica sobre la cual se ha configurado el actual paisaje del estado, lo que hace del estado de gran importancia para el país.

El estado de Tabasco se sitúa como el líder de reservas de hidrocarburos del país, contando, hasta el año 2013, con 3,500 millones de barriles, lo que lo convierte en el segundo productor nacional de petróleo en la República Mexicana. El volumen de producción de petróleo crudo en el estado representa el 25.5% de la producción nacional y el volumen de producción de gas natural representa el 31.9% de la producción nacional, convirtiendo a Tabasco en la octava potencia petrolera de América, por arriba de países como Ecuador y Perú (Arias, 2013; PEMEX, 2013).

Debido a la importancia que la región representa para el país en cuanto a producción de hidrocarburos, actualmente, en el estado se encuentran ubicadas compañías que efectúan entre otras actividades, exploraciones geofísicas, que les permiten inferir la estructura geológica del subsuelo a través de distintos métodos (sísmicos, gravimétricos, geoeléctricos y magnetométricos), y se utilizan con base en la propiedad física de la Tierra.

### **3.1. CONDICIONES DEL MEDIO NATURAL DE HUIMANGUILLO Y CÁRDENAS**

La región de estudio del presente proyecto de investigación comprende los municipios de Huimanguillo y el sur de Cárdenas. Huimanguillo se localiza en la región de la Chontalpa, colinda al norte con el municipio de Cárdenas; al este y al sur con el estado de Chiapas (cuyo límite es el río Mezcalapa) y, al sur y al oeste con el estado de Veracruz (cuyo límite es el río Tonalá).

Con respecto a la posición en el mapa de la República Mexicana, el municipio de Huimanguillo se encuentra entre las coordenadas geográficas 17° 19' latitud norte y entre 93° 23' longitud oeste (Fig. 3.2). Tiene una extensión territorial de 3,757.59 kilómetros cuadrados (15.35% de la superficie estatal) y es considerado el municipio más grande del estado de Tabasco. Su altitud es variable, por lo que se sitúa a una altura promedio de 1,000 metros sobre el nivel del mar. Según el tercer censo efectuado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en 2010, el municipio de Huimanguillo está conformado por un total de 179,463 habitantes.



Figura 3.2. Ubicación geográfica del municipio de Huimanguillo, Tabasco (Prontuario Huimanguillo, 2008).

A su vez, el municipio de Cárdenas colinda al norte con el Golfo de México, al sur con el estado de Chiapas y con el municipio de Huimanguillo, al este con los municipios de Comalcalco y Cunduacán y con el estado de Chiapas y, al oeste con el municipio de Huimanguillo y el estado de Veracruz (Fig. 3.3). La extensión territorial del municipio es de 2,112 kilómetros cuadrados (8.63% respecto al total del estado), y ocupa el 5 lugar en la escala de extensión municipal.

## CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

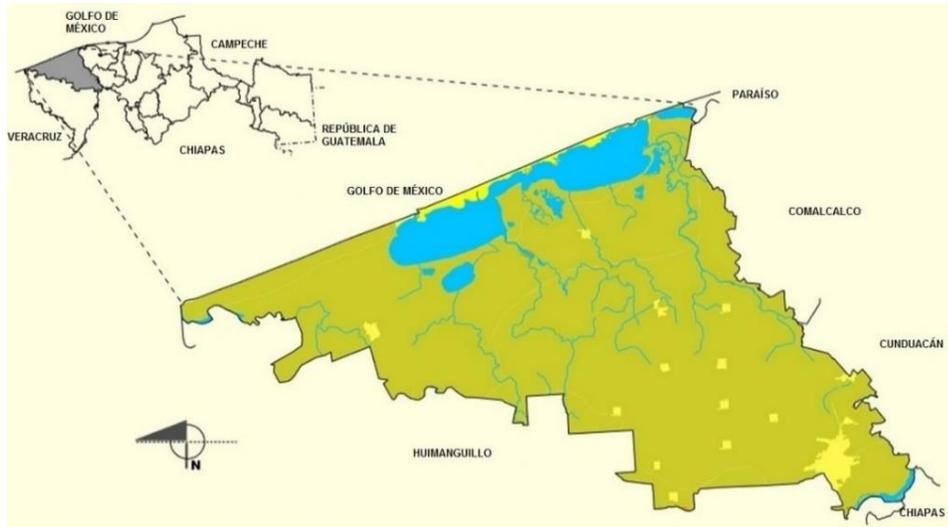


Figura 3.3. Ubicación geográfica del municipio de Cárdenas, Tabasco (Prontuario Cárdenas, 2008).

### 3.1.1. Edafología

Al norte del municipio de Huimanguillo y en los límites con el municipio de Cárdenas (sur de Cárdenas), se presentan *suelos gleysoles*, formados por la excesiva humedad a escasa profundidad y poco oxígeno, la formación de este tipo de suelo se debe al drenaje deficiente. En lo que respecta a la región este y sur existen *suelos acrisoles*, cuya composición contiene un alto contenido de arcillas, debido a procesos pedogenéticos (migración de arcillas), y son ricos en materia orgánica, abarcando la totalidad de la sabana de Huimanguillo.

Mientras que en la parte central existen *suelos cambízales* (suelos en transición de jóvenes a maduros) y *andasoles* (de origen volcánico). En los límites de los ríos que corren en el municipio, se encuentra suelos de tipo *fluvisoles*.

El suelo del municipio de Cárdenas, presenta un relieve muy regular, compuesto por terrenos planos con áreas de depresión con una altitud variable (entre los 2 y los 17 msnm). La mayor parte de la superficie presenta suelos arcillosos muy húmedos con drenaje deficiente. También contiene suelos arenosos y salinos en las zonas cercanas a la costa y, suelos sedimentarios en los límites y lechos de los ríos.

El subsuelo de Cárdenas y Huimanguillo inviste importantes yacimientos petrolíferos, por lo que se consideran zonas de extracción de petróleo de primer orden.

### 3.1.2. Geología

Los primeros estudios de la estratigrafía y la geología del sureste de México fueron publicados en la primera mitad del siglo XX por Böse, Villarello, Burckhardt, Gibson, Álvarez, Viniegra y Oñate. Posteriormente, Castillo-Tejero y Contreras, sintetizaron los estudios del área de manera histórica (Padilla, 2007).

De 1969 a 1980, Sánchez-Montes de Oca realizó uno de los trabajos principales sobre la geología superficial de la Sierra de Chiapas. Otros autores, posteriormente, agregaron datos estratigráficos y cartográficos valiosos. Hoy se sabe que las principales rocas almacén son areniscas del Mioceno, calizas del Kimmeridgiano y del Cretácico Superior-Paleoceno, y que las rocas fuente de los hidrocarburos son principalmente las lutitas del Tithoniano (Fig. 3.4).

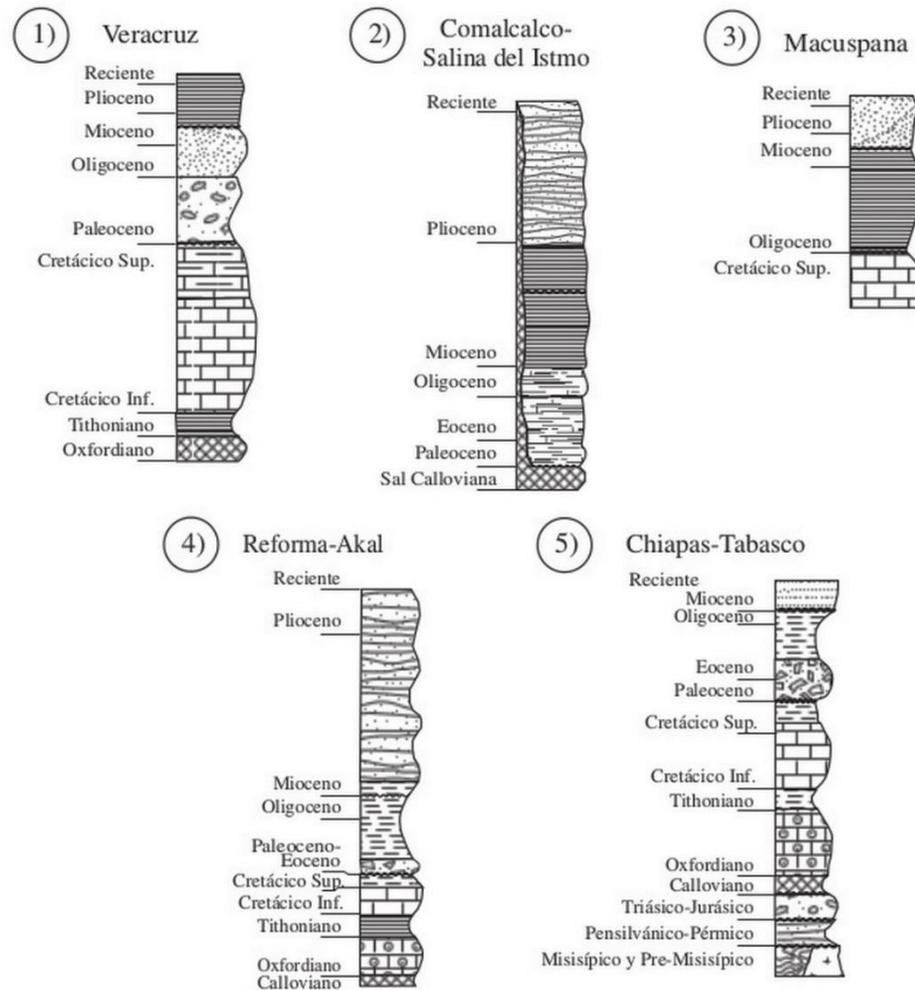


Figura 3.4. Litoestratigrafía regional del sureste mexicano (Padilla, 2007).

En la década de los ochenta del siglo pasado, geólogos franceses contribuyeron al conocimiento tectónico y estratigráfico a través de estudios de geología superficial, identificando algunas etapas de la apertura del Golfo de México, desde el Permotriásico hasta el Calloviano.

De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social y Protección del Ambiente (2006), el proceso de evolución del estado de Tabasco en términos generales es reciente y con pocas variaciones. La planicie se encuentra

## CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

sobre un grupo de calizas plegadas y falladas que descansan sobre un basamento cristalino que aflora en la parte sur en la zona del Soconusco.

Debido a la transgresión marina, a inicios del cretácico se formó un gran banco calcáreo, dando como resultado la sedimentación y depósito de carbonatos en la península de Yucatán y en los estados de Tabasco y Chiapas. Asimismo, se desarrollaron depósitos de talud en la franja que bordea el bloque calcáreo. Dicha franja está localizada al este del estado de Tabasco y su importancia radica en la gran producción de petróleo que brinda. Durante el terciario se inicia en Tabasco la sedimentación terrígena marina producto del levantamiento de la porción occidental de México y el plegamiento de la Sierra Madre Oriental.

A excepción de la porción sur, en el estado de Tabasco no existen estructuras geológicas superficiales de gran envergadura. Sin embargo, en el subsuelo se han detectado estructuras asociadas a diferentes etapas tectónicas cuya evolución se puede resumir en tres grandes eventos, una primera etapa de eventos compresivos que plegó las rocas sedimentarias depositadas durante el jurásico, lo que dio lugar a geoformas representadas por sinclinales y anticlinales alargadas con rumbo noroeste-sureste, en altitudes que varían desde los 200 a 900 msnm. Posteriormente se dio la intrusión de masas salinas hacia las capas superiores a través de planos de falla y ejes de falla generando deformación tipo cúpica distribuida de forma irregular. Finalmente durante el Mioceno Superior Pleistoceno, esta tectónica distensiva afectó las geoformas existentes y generó desplazamientos laterales asociados al sistema Polochic-Motagua de la edad del Mioceno-Plioceno. Por ello, el relieve se presenta como bloques que superficialmente definen valles tectónicos. Lo anterior, originó la formación de las cuencas de Macuspana y Comalcalco, donde se pueden encontrar importantes sedimentos terrígenos. La existencia de estas fosas y pilares originaron que las cuencas se encuentren desarrolladas de manera independiente y con características particulares. En ellas, existieron condiciones de mares someros donde había abundante materia orgánica, lo que formarían las rocas generadoras de hidrocarburos.

En el estado de Tabasco no existe una gran diversidad litológica. En la llanura costera predominan los suelos cuaternarios de tipo aluvial, lacustre, palustre y litoral, así como lomeríos de areniscas y calizas de edad terciaria (oligoceno), estas últimas correspondientes a la plataforma yucateca. Las rocas más antiguas son también de origen sedimentario y fueron depositadas en ambientes marinos, lagunares y deltaicos, donde se formaron calizas, evaporíticas y conglomerados respectivamente; de estas las más antiguas son de la edad Cretácica.

En la región de estudio del presente proyecto de investigación, denominada “*Herradura norte 3D ampliación de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo*”, no se encuentra ninguna estructura geológica,

a excepción de la presencia de algunas fallas localizadas que son originadas por los anticlinales de tipo cilíndrico del Cerro Mono Pelado.

### 3.1.3. Hidrografía

El estado de Tabasco presenta un escurrimiento considerable de agua a lo largo del año, por lo que la extracción para consumo humano es menor del 1% del agua disponible al año. La red hidrológica del estado es la más compleja del país, caracterizándose por entramados sinuosos de corrientes superficiales y una gran densidad de cuerpos de agua. Por ello, grandes extensiones de terreno tabasqueño son propensas a sufrir inundaciones.

En el territorio de Tabasco se ha identificado un acuífero libre, cuya zona de recarga está localizada al sur del estado, este acuífero fue poco explotado hasta que la actividad petrolera se intensificó en la década de 1980 a 1990, cuando proliferaron grandes asentamientos humanos demandantes del preciado líquido para satisfacer sus necesidades básicas.

La mayor parte de la superficie del estado (75.22%) se localiza en la región hidrográfica número 30, también conocida como “región del sistema Grijalva-Usumacinta”, formada por las cuencas hidrográficas del Grijalva, Usumacinta y de la Laguna de Términos; que en Tabasco ocupan el 41.45%, el 29.24% y el 4.53%. Mientras que el 24.78% restante, se encuentra dentro de la región hidrográfica número 29, también llamada “región del Coatzacoalcos”, formada por las cuencas Coatzacoalcos y Tonalá y, las lagunas del Carmen y la Machona. En la Fig. 3.5, se puede observar que para los municipios de Cárdenas y Huimanguillo la región hidrográfica que les corresponde es la 29.



Figura 3.5. Regiones hidrográficas del estado de Tabasco.

## CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

El nivel freático regional es somero, lo cual está relacionado con la presencia generalizada de lagunas y lagos con profundidades variables, las más profundas contienen lentes y horizontes arcillosos que dan lugar a condiciones locales de semiconfinamiento en el acuífero.

En el municipio de Huimanguillo se localizan el río Mezcalapa (proveniente del estado de Chiapas), el río Blasillo (brazo del río Tonalá) y el río Tancochapa (funciona como límite con el estado de Veracruz). Se localizan además, las lagunas El Protrero, Jicatal, Los Limones, El Caracol y La del Rosario; siendo esta última la más importante.

En el municipio de Cárdenas se localiza el sistema lagunario más importante del estado, está formado por las lagunas del Carmen y la Machona. Se localizan además, las lagunas de La Palma, Santa Teresa y el Pajalar, esta última mantiene en una de sus islas una importante población de aves entre gaviotas, pelícanos, garzas, entre otras. En la parte Norte, los ríos San Felipe y Naranjeño desembocan en la laguna del Carmen y el río Santana en la laguna de La Machona. El río Chicozapote bordea la villa Benito Juárez y desemboca en el río Tonalá cerca de la boca de este último en el Golfo de México. En la Fig. 3.6, se presenta la distribución de los ríos, lagos y lagunas.



Figura 3.6. Distribución de ríos, lagos y lagunas del estado de Tabasco (García, 2013).

### 3.1.4. Fisiografía

El estado de Tabasco está comprendido por dos provincias fisiográficas, la Llanura Costera del Golfo Sur que cubre la mayor parte del área norte del estado y la Sierra de Chiapas y Guatemala que se distribuye en la porción sur tocando los municipios de Huimanguillo, Teapa, Tacotalpa, Macuspana y Tenosique.

La provincia de la Llanura Costera del Golfo Sur, comprende a los municipios de Huimanguillo y Cárdenas; así como a los 14 municipios restantes; con excepción del municipio de Tacotalpa, el cual se encuentra en la provincia Sierra de Chiapas y Guatemala. Es decir, la planicie abarca la mayor proporción de superficie en el estado (70%), bordeando la zona norte del estado de Tabasco y la costa sur del Golfo de México.

El municipio de Cárdenas se caracteriza por un relieve compuesto de terrenos planos con depresiones, por lo que se pueden encontrar altitudes que varían de los 2 a los 17 msnm. El municipio no presenta elevaciones naturales superiores a los 25 metros sobre el nivel del mar. La altitud de la cabecera municipal es de 10 msnm.

Mientras que en el municipio de Huimanguillo se presentan tres tipos de relieve. El primero corresponde a zonas planas que abarca el 87% del territorio, el segundo tipo son zonas semiplanas que corresponden al 11% del territorio y el tercero es una zona accidentada y abarca el 2% del territorio. Siendo esta última zona utilizada como límite entre Tabasco y Chiapas, debido a su elevación. En el municipio de Huimanguillo se encuentra el cerro Mono Pelado, el cual, con 1000 msnm, constituye el punto de mayor elevación en el estado; sirve también como límite entre los estados de Chiapas y Tabasco. Otros cerros, de menor elevación, son los de La Pava, La Ventana, La Copa y Las Flores.

### 3.1.5. Clima

El clima en ambos municipios es cálido-húmedo (Fig. 3.7), con temperatura media anual de 26°C, siendo la máxima en mayo con 30.6°C y la mínima en diciembre y enero con 20°C (la temperatura media y máxima están por encima de los rangos de confort en verano).



Figura 3.7. Distribución climática del estado de Tabasco.

## CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

La humedad relativa permanece fuera de confort casi todo el año, con una precipitación pluvial de alrededor de 1500 mm anuales. Las mayores velocidades del viento (vientos huracanados, ciclones y nortes) se presentan en los meses de noviembre y diciembre a 30 km/h (provenientes del norte y el este), siendo en junio las menores, con 20 km/h (Morillón, 2004).

El clima cálido-húmedo de la región, favorece el cultivo de plátano, papaya, naranja, limón, coco, cacao, arroz, maíz y frijol, entre otros.

### **3.1.6. Flora, fauna y recursos naturales**

Según la información del H. Ayuntamiento de Huimanguillo (2015), en la zona de Huimanguillo existen áreas con vegetación diversa, se puede encontrar selva alta perennifolia con árboles mayores de 30 metros de altura y algunos de selva media perennifolia con árboles de 15 a 30 metros de altura, tales como el cedro, caoba y tatuán. No obstante, una gran parte de los recursos forestales han sido talados, por lo que se ha provocado la formación de selva secundaria diferente.

Otro tipo de vegetación importante son los popales, suelos bajos inundables, en donde se cultiva maíz, frijol y calabaza en diferentes épocas del año. Finalmente, se detecta una vasta extensión de sabanas (140.000 has), utilizadas para la ganadería principalmente, cuyas características son pasto natural de 1.5 metros de altura.

La fauna del municipio es escasa, en gran medida por la falta de vegetación, no obstante, se pueden mencionar algunas especies como el saraguato, conejo, tepescuincle, tortuga y una gran variedad de pájaros. Es una de las principales zonas ganaderas del estado, ocupando el segundo lugar en importancia por su producción de ganado bovino de carne y leche. Mientras que, como productor de aves de corral ocupa el primer lugar en el estado de Tabasco.

La vegetación original del municipio de Cárdenas es selva media y alta perennifolia, aunque la mayor parte contiene cultivos agrícolas y, en su mayoría, pastizales y acahuales, utilizados para la crianza de ganado. En las áreas cercanas a los cuerpos de agua existe también vegetación hidrófila, conocida como popal, cuya presencia se debe a las deficiencias de drenajes de los terrenos, formando marismas y pantanos de gran extensión. La vegetación está conformada por flores, árboles, plantas de tomates, entre otros. La fauna está constituida por diversas especies de reptiles, aves, anfibios y mamíferos; así como una enorme variedad de invertebrados. En la Tabla 3.1, se presenta un resumen de la fauna existente en los municipios de Huimanguillo y Cárdenas respectivamente; se agrupan de acuerdo a su clase y se indica si la especie es susceptible de extinguirse en un futuro próximo.

Tabla 3.1. Clasificación de la fauna en Huimanguillo y Cárdenas (H. Ayuntamiento, 2015).

Mpio.	Clase	Nombre común	Situación	Mpio.	Clase	Nombre común	Situación
<i>Huimanguillo</i>	Mamíferos	Zorro	amenazada	<i>Cárdenas</i>	Mamíferos	Mono aullador	amenazada
		Armadillo	amenazada			Mono araña	amenazada
		Saraguato	amenazada			Hurón	amenazada
		Conejo	amenazada			Tlacuache	no amenazada
		Tepescuincle	amenazada			Cacomixtle	amenazada
	Zanate	no amenazada	Zorrillo			amenazada	
	Pijije	no amenazada	Ardilla			no amenazada	
	Garza blanca	no amenazada	Saraguato			amenazada	
	Pea	no amenazada	Conejo			no amenazada	
	Patos	no amenazada	Tuza			amenazada	
	Aves	Chachalaca	no amenazada		Zanate	no amenazada	
		Gavilán	amenazada		Pijije	amenazada	
		Búho	amenazada		Garza blanca	amenazada	
		Cardenal	amenazada		Pea	amenazada	
		Cotorro	amenazada		Pato	amenazada	
		Perico	amenazada		Chachalaca	amenazada	
		Loro	amenazada		Gavilán	amenazada	
		Alcón	amenazada		Zopilote	no amenazada	
		Zopilote	no amenazada		Toloque	amenazada	
		Reptiles	Nauyaca		no amenazada	Nauyaca	amenazada
	Cocodrilo		amenazada		Iguana	amenazada	
	Sauyan		no amenazada		Lagarto	amenazada	
	Culebra de agua		no amenazada		Sauyan	amenazada	
	Iguana		no amenazada				
	Toloque		no amenazada				
	Garrobo		no amenazada				
	Lagarto		amenazada				
	Caimán		amenazada				
Lagartija	no amenazada						
Tortuga hicotea	amenazada						



Respecto a los recursos naturales, el municipio de Huimanguillo cuenta con árboles maderables que se utilizan para la elaboración de muebles. Con respecto a los yacimientos petrolíferos, según el H. Ayuntamiento (2015), existen 271 pozos en explotación que se indican a continuación: Bacal (17), Blasillo (27), Presidente (63), Chamigua (1), Fénix (1), Giraldas-TA (16), Iris (2), Jujo (26), La Central (6), La Venta (25), Ogarrío (55), Paredón (9), Tecominoacán (23). De los que se obtiene una producción diaria de 148,542 barriles de petróleo crudo y 337.8 millones de pies cúbicos de gas natural.

## CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

El municipio de Cárdenas de igual manera, cuenta con árboles maderables y con yacimientos de petróleo. El registro de estos últimos corresponden a 169 pozos petroleros en explotación en 13 campos: Cárdenas (21), Chipilín (1), Edén (6), Jacinto (8), Jolote (10), Mora (9), Otates (6), Rodador (12), San Ramón (22), Sánchez Magallanes (64), Santuario (9) y Tepeyil (1). Produciendo 113,507 barriles diarios de petróleo crudo y 222.6 millones de pies cúbicos de gas natural.

### **3.2. RESEÑA HISTÓRICA DE HUIMANGUILLO**

Huimanguillo proviene del vocablo náhuatl “Uei-man-co” o “Huimango”, que significa “lugar de autoridades grandes” o “lugar del cacique principal”.

Lo que hoy en día es el territorio de este municipio pudiera remontarse más allá de 2000 años a.C., periodo en el que floreció la cultura Olmeca (habitantes de la región del hule), llamada también la cultura madre de Mesoamérica, cuyo centro político y religioso se encontraba en lo que hoy se conoce como La Venta.

En la Zona Arqueológica de La Venta se han hallado vestigios importantes, como las cabezas colosales, llamadas popularmente cabezas olmecas y otros monolitos gigantescos que actualmente se exhiben en el parque museo de La Venta de la capital del estado. Lo que revela a una cultura evolucionada y enigmática.

Los asentamientos humanos más antiguos de los que se tiene registro, datan de 1680, cuando los habitantes del pueblo náhuatl conocido con el nombre de Huimango y que se encontraba asentados en lo que hoy es el municipio de Cunduacán, se internaron en el territorio (huyendo de los constantes ataques piratas) y se asentaron en lo que hoy es la ciudad de Huimanguillo, nombrándola así, como un diminutivo de su antigua población. Sin embargo, los ataques piratas continuaron, por lo que los habitantes de Huimanguillo y de otros pueblos de la Chontalpa decidieron en 1770 desviar el cauce del río Mezcalapa hacia un brazo del río Grijalva con la finalidad de evitar el paso de las embarcaciones de los bandidos.

El desvío del cauce del río Mezcalapa, originó que la administración general de Guatemala pretendiera extender hasta Huimanguillo sus dominios, pero esto fue impedido por el Alcalde Mayor de Tabasco y por la intervención del gobierno virreinal de la Nueva España.

El 27 de febrero de 1811 en Cádiz, España, el diputado José Eduardo de Cárdenas y Romero, en su "Memoria" hace la petición de que Huimanguillo se agregue a Tabasco. La solicitud fue aceptada por la corte española y en 1812 Huimanguillo estaba sujeto a Tabasco en todo lo concerniente a la administración de la Real Hacienda.

Por las características del territorio tabasqueño y debido a que las únicas vías de comunicación en ese entonces eran los ríos, la población se asentó en la margen izquierda del río Mezcalapa, sin embargo, por las recurrentes inundaciones, fue recorrida a su ubicación actual.

En 1840 pasó a depender de la cabecera del distrito de Acayucan, Veracruz, pero en 1857 de acuerdo a la Constitución de la República y por mandato del presidente Benito Juárez, se restituyó al Estado de Tabasco en calidad de cabecera de partido, teniendo como pueblos a Tecominuacán, Mecatepec y Ocuapan, con todas sus riberas, haciendas y rancherías. En 1847 la cabecera municipal se fundó como ciudad.

### **3.3. RESEÑA HISTÓRICA DE CÁRDENAS**

La ocupación del territorio de lo que hoy es el municipio de Cárdenas pudiera remontarse hacia los años 800 a 400 a.C. como consecuencia de la expansión olmeca. Al noroeste y sur del municipio (Arroyo Hondo, La Azucena, Encrucijada, Santuario y en Sánchez Magallanes), se han encontrado vestigios arqueológicos pertenecientes a la cultura maya.

Hacia 1524 inician las incursiones españolas al territorio, desde Coatzacoalcos (La Villa del Espíritu Santo), con la finalidad de conquistar y pacificar la región llamada de la Chontalpa.

Bernal Díaz del Castillo narra en “La Verdadera Historia de la Conquista de la Nueva España”, que el conquistador Hernán Cortés en su trágica expedición a Las Hibueras (hoy Honduras), pasó por un pueblo llamado Ayagualulco o Agualulco, identificado hoy con La Villa y Puerto de Sánchez Magallanes (antes Barra de Santa Ana).

Entre 1680 y 1689, debido a las incursiones de piratas ingleses al mando del pirata Laureen Graff, alias Lorencillo, los agualulcos tuvieron que abandonar la Barra de Santa Ana e internarse tierra adentro fundando aldeas y pueblos, y para evitar de una vez por todas el asedio de los piratas, los pueblos de la Chontalpa determinaron tapan el río Mezcalapa o de Dos Bocas (sitio ubicado en el municipio de Huimanguillo), desviándolo hacia un brazo afluente del río Grijalva. Desde entonces, a ése cauce que disminuyó drásticamente su caudal, se le llamó Río Seco.

Recientemente fueron encontrados dos antiguos mapas, uno fechado en 1776 y otro en 1777, en los que aparece un asentamiento llamado Pueblo Nuevo, en el sitio que hoy corresponde a la cabecera municipal; cabe señalar que en la ciudad de Cárdenas existe un barrio con ese nombre.

## CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

El 22 de abril de 1797 por disposición del gobernador colonial Miguel de Castro y Araoz, y a iniciativa del doctor José Eduardo de Cárdenas y Romero, dio inicio la mensura de las tierras de San Antonio Río Seco y con ello, la fundación de San Antonio de Los Naranjos, en lo que hoy sería el primer cuadro de la ciudad de Cárdenas.

El 2 de enero de 1851, el Congreso del Estado decretó que se declaraba villa al pueblo de San Antonio de Cárdenas, en memoria del muy ilustre, Dr. José Eduardo de Cárdenas y Romero, en virtud de haber sido el donante de los terrenos de su propiedad “Los Naranjos”. En 1868, el Congreso del Estado emitió un decreto en el que otorgó el título de “Heroica” a la villa de Cárdenas en premio a su patriótico comportamiento en la defensa del Estado contra los invasores franceses.

El 18 de diciembre de 1883, según la Ley Orgánica de la División Territorial del Estado de Tabasco, se crea oficialmente el municipio de Cárdenas y a finales de 1890, la división territorial del municipio estaba integrada por una villa (Heroica Cárdenas), 2 pueblos (Barra de Santa Ana y San Felipe Río Nuevo) y 12 vecindarios rurales (Arroyo Hondo, Bajío, Camino Nacional, Calzada, Habanero, Hidalgo, Limón y Candelero, Naranjeño, Paso y Playa, Poza Redonda y Santuario, Río Seco 1ª, Río Seco 2ª, Santana y Zapotal).

El 16 de septiembre de 1910 por decreto, la XXIV Legislatura del Estado, siendo gobernador Abraham Bandala Patiño, se elevó a la categoría de ciudad. El 5 de abril de 1919, fue uno de los 17 municipios libres en que se divide el estado y el 4 de mayo de 1949, Cárdenas es ratificado municipio del estado de Tabasco.

### **3.4. EL ÁREA URBANA DE LOS MUNICIPIOS DE HUIMANGUILLO Y CÁRDENAS**

Huimanguillo presenta una tipología urbana muy característica al resto de la región tabasqueña. Está estructurado a través de un eje vial principal que inicia en su acceso principal, por la réplica de la cabeza Olmeca y en “arco maya”, y finaliza en la torre del reloj y en el parque central en cuyo costado se encuentra el Ayuntamiento.

El eje principal lo constituye la avenida Rafael Martínez de Escobar, paralela a esta se encuentra un paseo comercial conocido como la calle “remodelada”. Se distribuyen caminos hacia el poniente, la salida de la ciudad por la escultura de “La piña”, hacia el sur el Colegio de Bachilleres de Tabasco Plantel 7 y el CERESO y hacia el oriente el puente “Solidaridad” que traslada a varias comunidades.

Por su conformación original, la ciudad se estableció a la orilla del río Mezcalapa y debido a las inundaciones periódicas la población tuvo que desplazarse. Sin embargo, la afectación permaneció, y en

1999 y en 2007 muchas viviendas se inundaron. Hasta hoy el peligro sigue latente por riesgo a inundación. Los habitantes utilizan el periférico que rodea la ciudad como dique para proteger a algunas de las edificaciones que este rodea.

La forma de la ciudad se caracteriza por zonas habitacionales y habitacional con comercios en el centro y a lo largo de su eje principal. Las viviendas van de uno a tres niveles, con excepción de algunos edificios de cuatro y cinco niveles. En cuanto a su tipología arquitectónica, la mayoría de las viviendas tienen fachada contemporánea y de aspecto popular caracterizado por la autoconstrucción. Las viviendas ubicadas en el centro son de las más antiguas y se distinguen por el sello de los años 30 y 40.

Los bordes principales de la ciudad son el Río Mezcalapa y la carretera federal número 187 (Mal Paso-El Bellote). La ciudad está rodeada de extensa sabana y matorrales. En la Fig. 3.8, se presentan los usos del suelo y la vegetación de Huimanguillo.

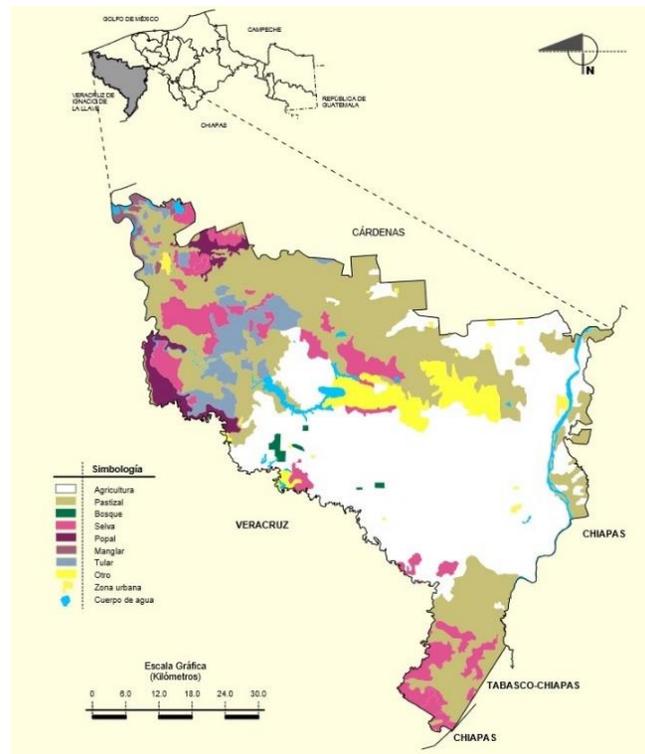


Figura 3.8. Usos del suelo y vegetación del municipio de Huimanguillo (Prontuario Huimanguillo, 2008).

Cárdenas es considerada la segunda ciudad de importancia en el estado y la quinta del sureste de México. Se encuentra localizada a 50 km de distancia de la capital del estado y en ella se encuentran ubicados los edificios principales públicos del municipio y las representaciones estatales y federales. Las principales actividades económicas son el comercio y el servicio.

A Cárdenas se puede arribar por carretera, el municipio cuenta con 811.50 km de carreteras pavimentadas de las cuales 80.3 km son de carreteras federales pavimentadas y 259 km de carreteras estatales, de estas últimas 155 km están pavimentadas y 104.2 km se encuentran revestidas. La carretera federal número 180 conocida como “Circuito del Golfo”, atraviesa el municipio de poniente a oriente y cuenta con dos opciones, la carretera federal libre y la autopista de cuota. De igual manera, la carretera federal número 187 “Malpaso-El Bellote”, atraviesa el municipio de sur a norte. La carretera costera del estado, comunica a la villa de Sánchez Magallanes con la ciudad de Paraíso, pero se encuentra en muy mal estado debido a la erosión marina que ha afectado diversos trayectos. En el municipio de Cárdenas, se han construido 109 puentes vehiculares como parte de la infraestructura carretera.

La iglesia de San Antonio de Padua (Fig. 3.9), es la iglesia principal de Cárdenas, su fachada principal es sobria, donde destacan las torres y el nicho con la escultura de San Antonio de Padua, lo que hace de esta edificación un sitio digno de visitar. El Parque Benito Juárez García, cuenta con andadores, plazas y bancas de hierro, donde el componente más destacado lo constituye la decoración a base de vegetación de palmeras, flamboyanes y laureles de la India.



Figura 3.9. Iglesia de San Antonio de Padua en Cárdenas, Tabasco.

En Cárdenas, se encuentra el Museo Carlos Pellicer, donde se exhiben obras del poeta, fotografías y piezas arqueológicas de la cultura olmeca. Desde inicios del siglo pasado, la explotación de maderas y la expansión de áreas para la ganadería y la agricultura redujeron considerablemente la vegetación, al grado que ahora sólo existen algunos remanentes, uno de ellos es el Parque Ecológico de La Chontalpa, que comprende una superficie de 277 ha y se localiza alrededor del kilómetro 21 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, en el suroeste del municipio de Cárdenas. El Parque Ecológico de la Chontalpa, constituye uno de los dos últimos

relictos de selva mediana perennifolia en el mundo, donde crece el árbol de “canacoíte” (*Bravaisia integerrima*). Esta reserva natural, aunque pequeña en su extensión, contiene especies de flora y fauna nativas del trópico mexicano que constituyen una parte importante de la rica biodiversidad del país.

El municipio de Cárdenas cuenta con una población indígena de 306 habitantes, de los cuales 67 pertenecen a la etnia de habla náhuatl, 58 a la maya, 57 a la zapoteca, 50 son chontales de Tabasco y el resto se compone de otros grupos sin clasificación definida. El subsuelo de Cárdenas posee importantes yacimientos petrolíferos a nivel estatal, por lo cual es una zona de extracción de petróleo de primer orden. En la Fig. 3.10 se presentan los usos del suelo y la vegetación de Cárdenas.

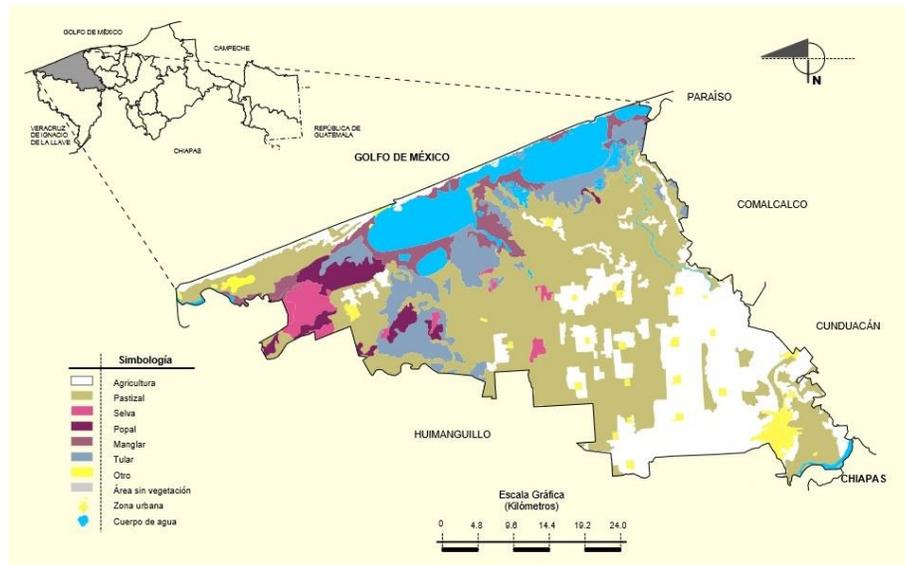


Figura 3.10. Usos del suelo y vegetación del municipio de Cárdenas (Prontuario Cárdenas, 2008).

### 3.5. CONDICIONES DE LA PROVINCIA PETROLERA DEL SURESTE

El estado de Tabasco se encuentra ubicado en la *provincia petrolera sureste terrestre*, provincia más productiva de aceite y gas del país. En dicha provincia, se encuentran ubicados los municipios de Huimanguillo y Cárdenas, a su vez, los municipios se encuentran dentro de las provincias de *Pilar Reforma-Akal* y los límites de *Salina del Istmo*. En la Fig. 3.11, se muestran los límites de la *provincia petrolera suroeste* y su división en tres provincias geológicas, en donde las manchas rojas representan cuerpos salinos. De la Fig. 3.11 se puede observar que la región de estudio se encuentra ubicada mayormente en la provincia *Pilar Reforma-Akal*. De acuerdo con el marco tectónico regional, la provincia limita al sur con el Cinturón Plegado de la Sierra de Chiapas, al oriente con la Plataforma de Yucatán, al occidente con el Complejo Volcánico de los Tuxtlas y la porción sur de la Cuenca de Veracruz y al norte con la extensión en aguas profundas de la Provincia Salina del Istmo.

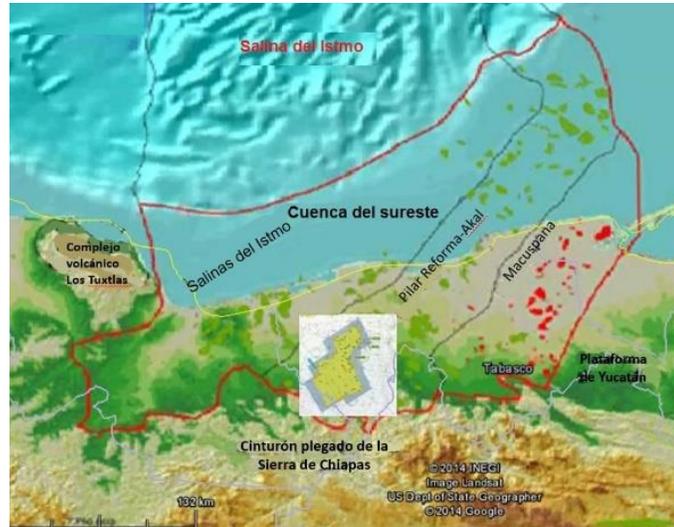


Figura 3.11. Límites geológicos de la provincia petrolera sureste y su división en tres provincias geológicas (Lermo y Escobar, 2013).

La provincia *Salina del Istmo*, corresponde a la porción Sur de la Provincia Salina del Istmo y tiene su origen por la evacuación de sal y la carga de sedimentos, esto es, en esta provincia existen cuerpos salinos que dan origen a cuencas por evacuación de sal y a mini cuencas que se originan entre los cuerpos salinos. Estructuralmente se caracteriza por diapiros, paredes, lengüetas y toldos de sal que dieron lugar a la formación de cuencas por evacuación de sal, tales como la de Comalcalco y mini cuencas entre cuerpos salinos.

La provincia de *Macuspana*, está limitada al este-sureste por un sistema de fallas normales que la separa de la Plataforma de Yucatán, al noroeste-oeste por el sistema de fallas Frontera y al sur por el Cinturón Plegado de Chiapas. Esta sub-provincia se caracteriza por tener fallas lítricas del Mioceno-Plioceno y, cuando dichas fallas rompen y se desplazan, ocasionan el contacto de los cuerpos de sal con los sedimentos del terciario. Por otro lado, en la provincia *Pilar Reforma-Akal*, existen diversos estilos estructurales sobrepuestos, ello debido a la combinación de las dos provincias anteriormente mencionadas y se encuentra limitada al oeste por el sistema de fallas Comalcalco y al este por el sistema de fallas Frontera.

En la *provincia petrolera sureste* se han reconocido sistemas petroleros asociados a cuatro niveles generadores principales, el Oxfordiano, el Tithoniano, el Cretácico Inferior y el Mioceno inferior (Pemex, 2013). Estratigráficamente la roca generadora del Oxfordiano tardío presenta carbonatos ricos en materia orgánica que contienen una mezcla de kerógeno tipo I y II, que bajo condiciones de madurez, carga rocas almacenadoras del Oxfordiano temprano en la porción marina. La segunda roca, la de mayor importancia, corresponde al Tithoniano y está constituida por calizas arcillosas y lutitas calcáreas ricas en materia

orgánica que contienen un kerógeno de tipo II y IIS. La tercera roca generadora se relaciona al Cretácico Inferior con un kerógeno tipo I-II. Y, finalmente la cuarta roca generadora en la Cuenca de Macuspana, está constituida por lutitas del Mioceno inferior con kerógeno tipo II y III, las cuales generan gas y en ocasiones llegan a tener mezclas de aportes del Tithoniano. Cabe destacar que en la parte norte de esta cuenca se tiene una mínima presencia de gas biogénico (Pemex, 2013).

La exploración de la *provincia petrolera sureste* inició en 1886 con la perforación del pozo *Sarlat* en la Cuenca de Macuspana (Pemex, 2013). Sin embargo, no fue hasta 1905 y 1906 que se realizaron las primeras perforaciones de pozos que resultaron productores comerciales, iniciando de esa manera, la explotación en dicha región. En 1943, Petróleos Mexicanos inició actividades en la zona, realizando descubrimientos de aceite ligero y gas. En los siguientes años, se realizaron descubrimientos importantes en la región, tal es el caso del complejo Cantarell, detonando la explotación de la provincia más importante del país. De esa manera, la producción en la *provincia petrolera sureste*, alcanzó su máximo histórico de más de 4 millones de barriles de petróleo crudo equivalente por día en 2004.



# CAPÍTULO 4

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS AFECTACIONES

La vivienda es la base del desarrollo humano, es la mayor inversión que el ser humano realiza, ya sea para adentrarse a la sociedad, tener cobijo por las inclemencias del tiempo, por salud o por estatus.

En el presente trabajo, se pudo identificar que en la región sureste de México, en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tab., muchas familias edifican sus viviendas con diferentes materiales, tales como mampostería, madera, lámina metálica y de hojas de palma llamados localmente como guano, entre otros. De igual manera, se pudo observar que las viviendas construidas a base de muros de mampostería confinados por dalas y castillos (estructuras denominadas de autoconstrucción), son las que tienen el mayor número de reclamaciones por parte de los habitantes fundamentando que son afectadas por Pemex.

A continuación se presenta el estudio de caso de la investigación. Para facilitar su exposición y lectura, se ha dividido en tres capítulos (4, 5 y 6). En el primero de ellos, que corresponde al presente capítulo, se trata el aspecto estructural con base en la caracterización de la región y de acuerdo a la clasificación de las poblaciones a analizar, así como las zonas más vulnerables de dichas poblaciones y las viviendas para el análisis. Se indican los estudios efectuados a través de modelos numéricos y de análisis experimental. De igual manera, se muestran los resultados obtenidos con los que se efectuó el análisis y evaluación de las afectaciones presentes. El capítulo entonces, presenta la distribución espacial de las viviendas estudiadas, el criterio de selección de las mismas, el criterio de instrumentación aplicado y se examina el daño estructural correspondiente al análisis dinámico de estructuras. Asimismo, se analiza la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007 y se presentan las condiciones geotécnicas identificadas.

### 4.1. ANTECEDENTES

En la actualidad, muchos problemas locales como el incremento de la pobreza, señalados por las autoridades públicas, tienen relación con las condiciones prevalecientes en el ambiente natural, marcado por un significativo deterioro.

La región del presente estudio se encuentra ubicada en el sureste de México, en los territorios que tradicionalmente eran reconocidos como asiento de los llamados pueblos mayas, los cuales han variado de manera significativa debido a diversas condiciones, tales como la presión demográfica ocasionada por el proceso de colonización impulsado por el gobierno estatal hacia la década de los años setenta; el deterioro generalizado que este proceso profundizó en el ámbito rural; y la globalización económica neoliberal que

asumió el gobierno mexicano. Cabe señalar que este macro-proceso impuso a los gobiernos de los países en desarrollo el abandono del apoyo económico al campo, con su consecuente empobrecimiento como resultado de las reformas al artículo 27 constitucional y a la Ley Agraria. Todos ellos fueron acontecimientos estructurales que generaron cambios socioeconómicos en el sector rural tabasqueño y crearon una creciente migración de los pueblos mayas hacia el interior del estado, hacia otros estados del sur sureste del país y, principalmente, hacia Estados Unidos y Canadá (Pinkus, 2012).

La petrolización del estado de Tabasco puso de manifiesto el fracaso de grandes planes de diversificación agropecuaria. El impulso de la actividad petrolera inició en los años cincuenta y se expandió de forma explosiva durante los años setenta. Durante este período aconteció una intensa movilidad social interna y proveniente desde otros estados de la República Mexicana (Michoacán, Veracruz y Chiapas).

La petrolización del estado cobró auge y se descubrieron varios campos de potencial explotación, tales como: Fortuna Nacional, en 1949; Tortuguero, en 1950; José Colomo, en 1951. El primero y último campo de explotación daría origen, en 1974, a la creación de Ciudad Pemex, la cual generaría más de 30% de la producción nacional de gas. También fueron surgiendo otros centros de explotación petrolera como: La Venta, Usumacinta, Almendro, Santuario, San Román, Tintal, Samaria y Tucán, entre otros. Los pozos en operación fueron en aumento y dieron lugar a un fenómeno: el boom petrolero, que rebasó el auge de la producción platanera de agroexportación y se convirtió en la causa de apogeo socioeconómico en la región. Como en otros casos, los ingresos derivados de la exportación petrolera fueron manejados por la administración pública federal de Petróleos Mexicanos (Martínez, 1996).

Con el descubrimiento de grandes yacimientos petrolíferos en las regiones de Chiapas y Tabasco en 1973, las reservas del país pasaron de 6,000 millones de barriles, en 1975, a 60 mil millones en 1980. En 1974, debido a las nuevas reservas, México pasó de ser importador de crudo en el primer semestre de ese año, a exportador en el segundo semestre (Martínez, 1996). El auge del petróleo en el estado de Tabasco coadyuvó al crecimiento de la población, de tal forma que mientras en 1980 había 1,062,961 habitantes, para 1990 se incrementó a 1,501,183 y para 2005 la población alcanzó la cifra de 1,989,969, por lo que en 25 años el aumento poblacional fue de 25% (488,786 personas de 1990 a 2005) debido al crecimiento poblacional natural y a los movimientos migratorios.

El crecimiento anual de la población fue 4.2%, mientras la producción de alimentos aumentó apenas 0.7% debido a que, paradójicamente, la superficie cosechada disminuyó de 178,000 hectáreas a 164,000, porque la población joven trabajadora se volcó hacia la explotación petrolera, o bien, en muchos casos, migró hacia otros estados del sureste, lo que trajo como consecuencia la dependencia de la población local del mercado

regional y nacional para el suministro de los productos básicos en su alimentación. Por su parte, la producción petrolera aumentó de 92,000 a casi 600,000 barriles diarios en tan solo 20 años (Martínez, 1996).

En la actualidad, la población del estado se concentra en ocho de los 17 municipios de la entidad tabasqueña, aquellos que están más dedicados a la explotación petrolera como Cárdenas, Centla, Paraíso, Comalcalco (el de mayor crecimiento), Macuspana y Ciudad Pemex.

Los cambios operados en Tabasco fueron drásticos porque la inversión federal para el desarrollo de la petrolización desplazó al sector primario, que pasó de 11.7% del total en 1977 a sólo 2.2% en 1982. Por el contrario, la inversión destinada a la industria petrolera aumentó en el mismo lapso de 68.4% a 93.2%. Los productos tradicionales como el cacao, el plátano y el coco apenas crecieron y la caña de azúcar disminuyó a la mitad de su producción original entre 1970 y 1983, y hoy en día la producción de estos cultivos está en franca decadencia. El grueso de las participaciones federales para el desarrollo petrolero pasó de 16.310,000 pesos a 80.981,000 entre 1970 y 1985 y, consecuentemente, la inversión para reactivar el campo se fue desplazando a segundo término. Por otra parte, los gobiernos federal y estatal emprendieron grandes obras de drenaje y desecación de terrenos con la finalidad de introducir los ductos y toda la infraestructura indispensable para la explotación y traslado del crudo. Estas obras provocaron grandes cambios en el ambiente natural ya que se afectaron tierras de cultivo y cría de ganado para poner en su lugar las instalaciones de la explotación petrolera. Hubo derrames de petróleo crudo, sales, aceites, emulsiones, contaminación atmosférica, entre otros múltiples daños al medio ambiente (Pinkus, 2012).

Se puede decir entonces, que la intervención de las empresas petroleras en la entidad tabasqueña dio inicio a una nueva fase de deterioro de los paisajes naturales, al mismo tiempo que generó una monetarización de la economía y de la vida cotidiana de los habitantes de la entidad. Este proceso económico repercutió en la elevación de los precios de los productos alimenticios, la vivienda, la educación y, en general, el encarecimiento en todos los aspectos de la vida a que estaban acostumbrados los habitantes de Tabasco.

A partir del auge de la explotación petrolera en Tabasco la vida de los pueblos mayas y mestizos tabasqueños cambió drásticamente al convertirse sus miembros en población económicamente activa, en fuerza de trabajo barata de los pozos petrolíferos. Comenzaron a asumir costumbres, actitudes, acciones y nuevos estilos de vida que fueron introducidos a partir de la explotación petrolera. Desde esta perspectiva, estas sociedades originarias, a diferencia de los mayas de Yucatán y de los mixes o los zapotecos de la sierra de Oaxaca, fueron paulatinamente asimilados al proceso secularizador que propaga la cultura global y que exalta el estilo de vida occidental como meta a alcanzar bajo la premisa del aparente desarrollo que tendrían el estado y las comunidades con la explotación del crudo.

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS AFECTACIONES

A raíz de la actividad petrolera y del empobrecimiento del campo, se vieron obligados a migrar paulatinamente hacia los centros urbanos para emplearse como mano de obra en la industria de la construcción: como vendedores ambulantes, o bien como obreros y empleados del sector de servicios.

Así, el auge petrolero tuvo dos grandes consecuencias, por una parte, se propagó entre las poblaciones la creencia en la abundancia a partir de una falsa construcción de la imagen de progreso expresada en obras de índole urbana, que beneficiaron fundamentalmente a la capital del estado, Villahermosa, sin que influyeran directamente en las condiciones de vida de las poblaciones rurales. Por otra parte, el desarrollo petrolero originó el surgimiento de una nueva cultura cuyas bases se fundaron en la petrolización de la economía y en la esperanza de mejorar el bienestar en las condiciones de vida de los pobladores, quienes también fueron cambiando paulatinamente sus percepciones respecto a sí mismos, a su identidad y al eje de su economía tradicional, es decir, de sus actividades productivas de subsistencia.

Dos décadas más tarde, las esperanzas de estas sociedades se vieron frustradas al percatarse de que los beneficios de la petrolización de la economía traían consigo pocos impactos favorables en sus condiciones de vida y, por el contrario, estaban ocasionando directamente el deterioro de sus recursos naturales, de sus propias actividades productivas, así como la de sus viviendas y la cría de sus animales de traspatio. Todo ello como efecto de la alta contaminación que provocaba la extracción del crudo, del gas, el uso de diversos químicos, así como los constantes derrames y la polución que generaban.

Ante ese panorama, las comunidades, manifiestan tener una percepción generalizada del significado negativo que puede tener el desarrollo de la explotación petrolera, sobre todo en cuanto al aspecto de la contaminación y destrucción que producen sus actividades.

De lo anterior, se puede deducir que las demandas que actualmente están haciendo los líderes rurales de las comunidades estudiadas, están asociadas con el interés de verse beneficiados por los proyectos productivos, para poder aspirar a diferentes alternativas económicas, evitar la expansión petrolera en sus comunidades y disminuir la afectación hacia sus viviendas que pueden implicar costosas indemnizaciones.

Este proyecto de investigación se remonta al año 2003, fecha en la que se iniciaron las primeras investigaciones de carácter ingenieril por parte de la UNAM. Dicho estudio fue motivado, porque se presentaron cerca de 7,000 demandas legales por parte de propietarios de construcciones vulnerables a las vibraciones producidas durante las exploraciones geofísicas. Esto es, los residentes se consideraban amenazados con respecto a la integridad de sus viviendas y mostraron una firme oposición a los estudios de prospección sísmica que aparentemente ponen en riesgo su seguridad. Derivado de ello, se efectuó por parte

de la UNAM, un análisis de tipo estructural con respecto a la seguridad de sus viviendas, pero que no consideró los impactos sociales y ambientales.

La amenaza se presentó, específicamente, por las actividades de exploración sísmica efectuadas debido a que son ejecutadas con el fin de crear ondas sísmicas que se propagan a través del terreno, las cuales se generan de manera artificial con uso de explosivos, los que a su vez ocasionan vibraciones repetidas en el terreno. En la Fig. 4.1 se muestra el área estudiada, esta comprendió parte de los estados de Tabasco, Veracruz y Chiapas.

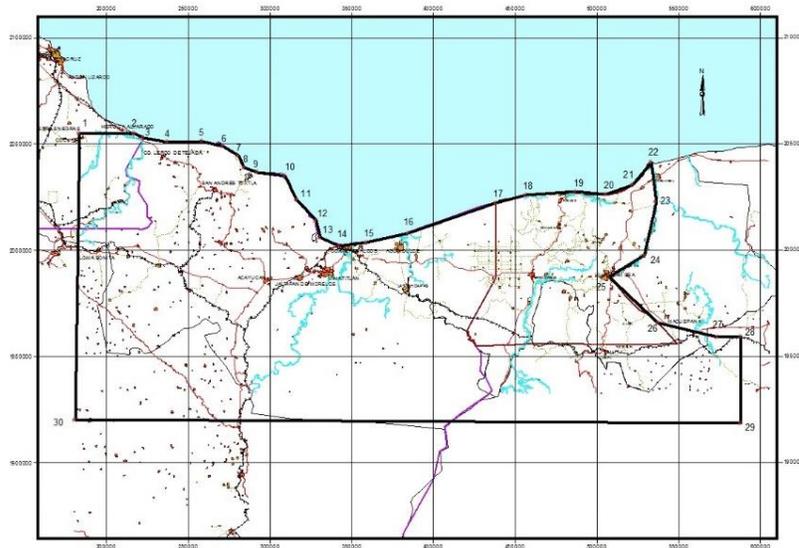


Figura 4.1. Ubicación general del área estudiada por la UNAM en 2003 (Escobar *et al.*, 2000).

El estudio de carácter ingenieril realizado por la UNAM se dividió en dos etapas de trabajo. Las actividades realizadas en la primera etapa fueron:

1. Revisión de la información y estudios de micro-sismicidad y monitoreo sísmico.
2. Levantamiento de características estructurales de viviendas en el área de estudio.
3. Reconocimiento de las viviendas a estudiar.
4. Determinación de las propiedades mecánicas de las piezas de mampostería.
5. Exploración geotécnica de campo.
6. Trabajos geotécnicos de laboratorio.
7. Análisis de la información geofísica y geotécnica.

Por otro lado, las principales actividades de la segunda etapa fueron:

1. Trabajos geotécnicos de campo (exploración geotécnica de detalle).
2. Trabajos geotécnicos de laboratorio.

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS AFECTACIONES

3. Análisis de los resultados geotécnicos.
4. Pruebas dinámicas en cuatro casas instrumentadas.
5. Análisis de la respuesta estructural registrada.
6. Modelación de la respuesta estructural en dos casas.

Así, para el estudio se analizaron entre otras, las condiciones geotécnicas generales, las características estructurales y de cimentación y los daños identificados (Murià *et al.*, 2003).

### *Condiciones geotécnicas generales identificadas:*

Considerando los entornos hidrológicos y topográficos, se identificó que el área de estudio se dividía en dos, la zona baja y la zona alta o de lomeríos. La primera, localizada en la porción norte de la región, hacia el Golfo de México, es pantanosa y se inunda estacionalmente y sus suelos superficiales son depósitos de arcilla. La segunda, se encuentra localizada en la porción sur y suroeste, el terreno también es arcilloso pero contiene limos intercalados con lentes de arena.

### *Características estructurales y de cimentación identificadas:*

La construcción que dominaba en las viviendas rurales fue del tipo denominado autoconstrucción, con muros de carga de mampostería hechos de bloque hueco de concreto de aproximadamente 10 cm de espesor con castillos y dalas de concreto reforzado de la misma dimensión. La cimentación estaba constituida por dalas de concreto reforzado. Los pisos eran firmes de concreto o mortero, generalmente sin refuerzo. Los techos estaban elaborados con lámina metálica, de asbesto o de teja, apoyados sobre vigas de madera, de concreto reforzado o perfiles metálicos. La mayoría de las viviendas carecían de cimentación y los muros generalmente se desplantaban directamente sobre el terreno.

### *Daños identificados:*

En la inspección a las viviendas se pudo observar que la calidad de las construcciones de mampostería era en general mala. Todas las viviendas presentaron daños en elementos estructurales y no estructurales. En algunas viviendas en las que se hicieron reparaciones se presentaban nuevos patrones de agrietamiento atribuibles a hundimientos diferenciales.

Es de importancia mencionar que para llegar a la obtención de resultados, el estudio comprendió un programa de pruebas de campo en las viviendas, que consistió en registrar, mediante acelerómetros, los movimientos producidos por las vibraciones ambientales cotidianas del lugar, así como por las detonaciones generadas por cargas explosivas (similares a las más típicas de los trabajos de prospección sísmica). El efecto de las explosiones se determinó valorando la información procesada de vibración ambiental y por las

explosiones, en conjunto con los efectos observados de las inspecciones oculares y las nivelaciones efectuadas después de cada prueba.

Con base en el análisis de la documentación, reportes e informes elaborados por la UNAM, se presentan los resultados principales obtenidos (Escobar *et al.*, 2000):

1. Las arcillas superficiales están expuestas a ciclos estacionales de expansión y contracción los cuales inducen desplazamientos diferenciales en muchas viviendas, principalmente en aquellas desplantadas sobre plataformas de arcilla remoldeada y compactada manualmente, en las zonas bajas o inundables.
2. Los estudios analíticos demostraron que los asentamientos debidos al peso propio de las viviendas son capaces de producir daños importantes. Las expansiones estacionales del subsuelo también inducen daños estructurales significativos.
3. Los referidos daños se explican esencialmente por deficiencias de estructuración: baja densidad de muros, carencia o escasez de castillos y dalas de concreto reforzado, distribución inadecuada de los elementos estructurales, mala calidad de los materiales y ausencia de cimientos o bien cimientos muy superficiales y de dimensiones reducidas.
4. A lo anterior debe agregarse que los resultados de los estudios de laboratorio indicaron que la calidad de los materiales utilizados para la autoconstrucción de las casas de las diferentes comunidades rurales, aunque muy variable, en general tiende a ser deficiente.
5. Los experimentos de campo con explosivos permitieron definir el tipo y nivel de daño que se puede producir en algunas casas cuando se rebasan los límites permisibles:
  - a) Las velocidades máximas medidas en la superficie del terreno frente a las casas, producidas por las detonaciones que se programaron a 240 m, no excedieron los valores permisibles propuestos en las normas extranjeras más exigentes.
  - b) Para las vibraciones generadas a 120 m se detectaron los primeros daños en las casas desplantadas en suelos blandos, tanto en la zona de lomeríos como en la zona pantanosa, y estos consistieron en agrietamientos muy ligeros en los aplanados de los muros de mampostería, sin afectar la integridad estructural de las viviendas.

Al efectuar una interpretación de los resultados obtenidos, se observa que los daños estructurales encontrados (daños iniciales de la construcción), según los estudios realizados por la UNAM, no resultaron ser originados por las vibraciones producidas por los trabajos de prospección sísmica de reflexión profunda, siempre y cuando las vibraciones a las que las viviendas eran sometidas, respetaran los límites permisibles. No obstante, las vibraciones generadas, producían inseguridad hacia los propietarios y, al no efectuarse un acercamiento de tipo personal con el que se pudiera identificar qué efectos adversos les producían los

estudios geofísicos (además del daño probable a sus viviendas), en términos generales, el estudio efectuado no les fue de ayuda.

Con base en este primer análisis, efectuado hace más de diez años, se puede observar que los estudios de prospección sísmica para localizar yacimientos de hidrocarburos en la región, generan una amenaza hacia los habitantes de las viviendas en las zonas en donde se llevan a cabo. La percepción de dicha amenaza se vio reflejada con el primer acercamiento que tuvieron los habitantes de la región de Macuspana hacia las autoridades de la región, demandando cubrirles las afectaciones producidas en sus viviendas (año 2003). Sin embargo, continúan sin respuesta algunas interrogantes tales como: ¿cuál es el requerimiento principal de los habitantes?, ¿qué está sucediendo respecto a las formas de vida de los habitantes y respecto a las modificaciones o alteraciones que pudiera experimentar la región? Otros cuestionamientos serían: ¿cómo saber si los límites permisibles determinados por normas se respetan?, ¿cómo garantizar la seguridad de los habitantes y de sus edificaciones? y ¿quién o cómo se les brindaría apoyo económico a los habitantes si su integridad física o material se viera afectada? Como esas, surgen otras muchas interrogantes.

Por lo anterior, considerando que los métodos de exploración para encontrar hidrocarburos continúan y posiblemente permanecerán por un tiempo indefinido, la presente investigación se realiza debido a que más de diez años después, los habitantes de una región similar a la anteriormente estudiada, demandan la misma inquietud de afectación hacia sus vidas y bienes inmuebles, por lo que se espera que esta nueva investigación sirva como herramienta que les permita mitigar los daños ocasionados por Pemex, proporcionándoles ayuda en su territorio y en entornos similares. Pues si bien se ha estudiado arduamente el concepto de vulnerabilidad en edificaciones, cada región presenta factores nuevos susceptibles respecto a la demanda. Y, dado el crecimiento sin orden de las poblaciones que las aproxima con rapidez a la urbanidad, será muy importante también, poder identificar los impactos derivados por el riesgo antrópico que se efectúa en la región.

#### **4.2. IDENTIFICACIÓN DE LA REGIÓN Y DE LAS POBLACIONES ESTUDIADAS**

La región de estudio se presenta en la Fig. 4.2, y está señalada por una línea roja. El polígono de estudio se encuentra ubicado, principalmente, dentro del municipio de Huimanguillo. Colinda al este con Coatzacoalcos, Agua Dulce y Las Choapas; al oeste colinda con Huimanguillo y Cárdenas y; al norte colinda con Cárdenas y el Golfo de México.

La asignación de la geometría del polígono fue proporcionada por Pemex y se encuentra dentro del margen de otros levantamientos anteriormente realizados, como se puede observar en la Fig. 4.2.

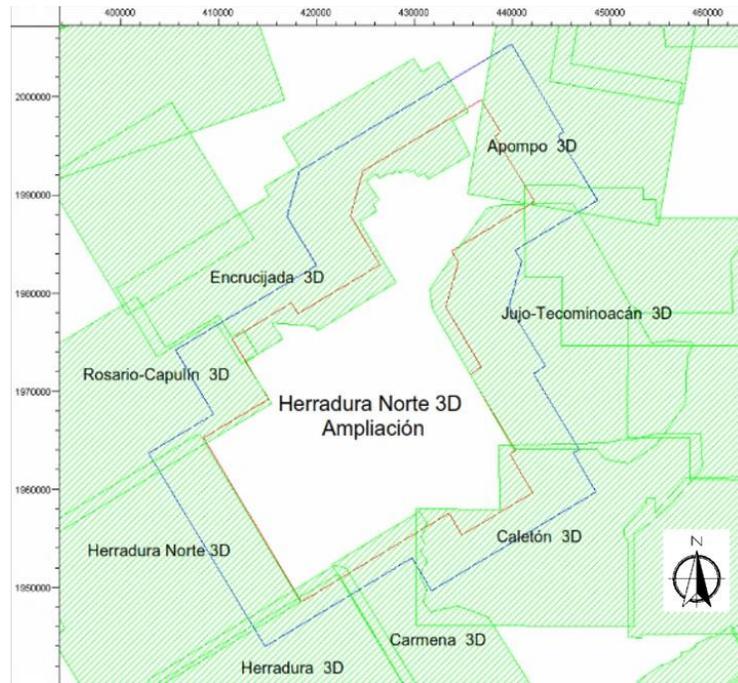


Figura 4.2. Delimitación de la región de estudio (Lermo y Escobar, 2013).

#### 4.2.1. Distribución espacial de las poblaciones estudiadas

Con información proporcionada por la Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental (SERNAPAM), fue posible realizar las consideraciones para elegir a las poblaciones a analizar en el presente estudio. Dichas consideraciones fueron producto del número de reclamaciones que se habían presentado con mayor porcentaje por parte de los habitantes de la región.

Posteriormente, se descartaron a aquellas poblaciones que estaban ubicadas fuera de la zona delimitada en el estudio y que además, se encontraban lejanas a las exploraciones de Pemex. En la Tabla 4.1 se enlistan los nombres de las poblaciones excluidas del estudio y, en la Fig. 4.3, se presenta su ubicación geográfica; los puntos negros denotan las explosiones realizadas por Pemex.

Del polígono de estudio presentado en la Fig. 4.2, se seleccionaron 24 poblaciones derivado del tamaño respecto a número de viviendas y que presentaban las mayores demandas de daño. En la Tabla 4.2, se presentan los nombres y la ubicación geográfica de las poblaciones seleccionadas. Asimismo, en la Fig. 4.4, se muestra la distribución espacial de las poblaciones elegidas para el presente estudio.

La clasificación de las poblaciones permitió obtener la ubicación de las zonas en las que se realizaron estudios geofísicos y geotécnicos para posteriormente, poder tipificar a las viviendas que estaban presentando daño producto probable de las explosiones realizadas por Pemex.

Tabla 4.1. Poblaciones localizadas fuera del polígono de estudio.

No.	Nombre de la población excluida
1	C11 José Ma. Morelos y Pavón
2	C28 Coronel Gregorio Méndez Magaña
3	C33 20 de noviembre
4	C32 Lic. Francisco Trujillo Gurria
5	Ejido El Suspiro
6	Ejido Roberto Madrazo Pintado
7	Tecominoacán

Tabla 4.2. Información de las poblaciones seleccionadas para el estudio.

No.	Población	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
1	C1 Benito Juárez	17.66246	-93.69985
2	C2 Miguel Hidalgo y Costilla	17.67130	-93.73316
3	C6 Manuel Sánchez Mármol	17.75577	-93.72417
4	C10 Francisco Martínez Gaytán	17.76916	-93.81305
5	C20 José M. Pino Suárez, 1ra sección	17.74746	-93.64887
6	C22 Lic. José María Pino Suárez	18.06677	-93.62472
7	C24 Estación Zanapa	17.72459	-93.60373
8	C25 Isidro Cortés Rueda	18.02939	-93.70523
9	C26 General Pedro C. Colorado	18.03087	-93.65835
10	C27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez	18.02134	-93.56109
11	C29 El Carmen	17.82983	-93.64670
12	C31 Ignacio Allende Chapingo	17.85097	-93.65656
13	C32 La Trinidad	17.85970	-93.66743
14	C33 Miguel Alemán Valdez	17.84803	-93.61582
15	C34 Lic. Benito Juárez García	17.97236	-93.60261
16	C35 Ej. Lic. Antonio Zamora Arriola	17.84333	-93.62385
17	C36 Ej. Cuauhtémoc y Palmira	17.87760	-93.62450
18	C42 Ej. Pico de oro, 3ra sección	17.96221	-93.66162
19	C44 San Fernando	17.98488	-93.62528
20	C48 Ej. Tierra Colorada, 2da sección	17.93090	-93.65191
21	C50 Ej. La Esperanza	17.92031	-93.63510
22	C52 Pico de Oro, 1ra sección	18.01966	-93.67291
23	C45 Pico de Oro, 4ta sección	17.99847	-93.67905
24	C59 Ingenio Presidente Benito Juárez	18.00431	-93.58093

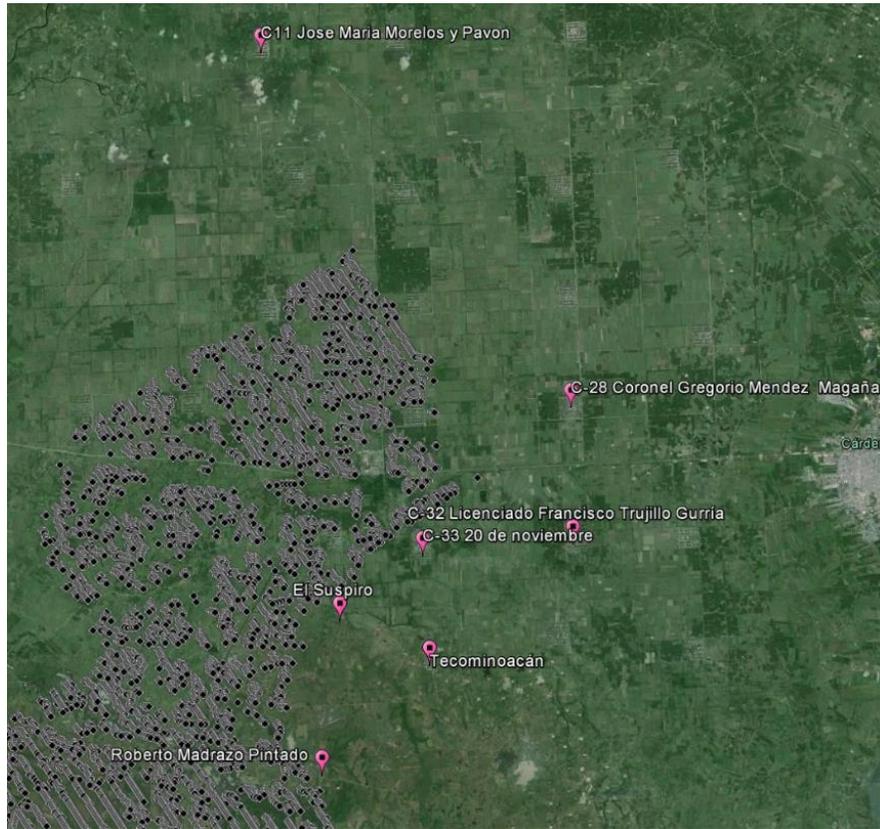


Figura 4.3. Ubicación de las poblaciones excluidas en el estudio (Lermo y Escobar, 2013).

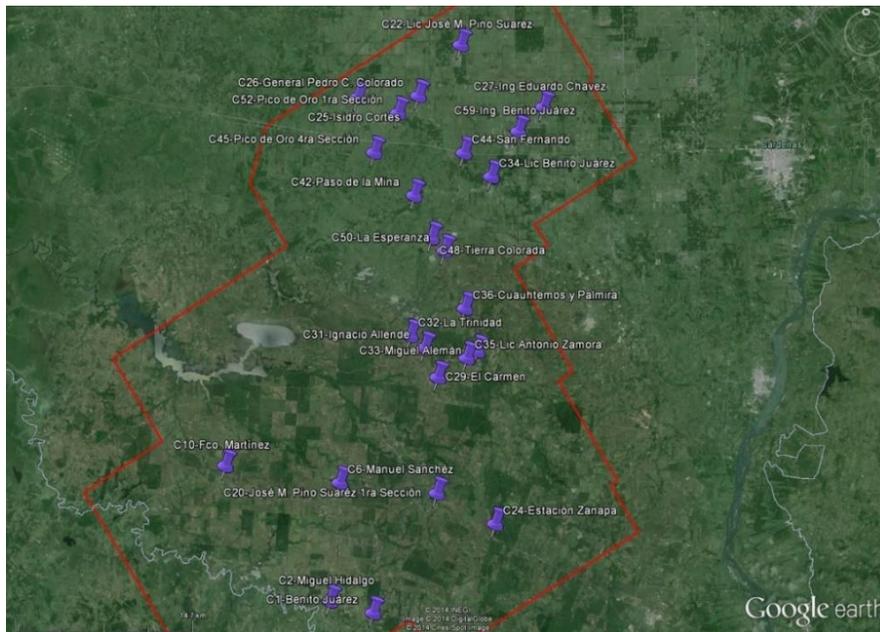


Figura 4.4. Ubicación de las 24 poblaciones estudiadas (Lermo y Escobar, 2013).

#### 4.2.2. Registro de microtemores para la microzonificación de las poblaciones estudiadas

Con el propósito de recopilar información en las poblaciones seleccionadas, Lermo y Escobar (2013), efectuaron campañas de registro de microtemores. Esto es, se colocaron estaciones temporales con sismógrafos de banda ancha (marca Geo-Space, frecuencia natural de 10 Hz, tolerancia de frecuencia  $\pm 2\%$ , sensibilidad 0.28 v/cm/seg), teniendo como objetivo principal, registrar microtemores o vibración ambiental durante un lapso de entre 30 y 40 minutos. En la Fig. 4.5, como ejemplo de las mediciones efectuadas, se muestra la distribución de las estaciones colocadas en la población C22 José María Pino Suárez. El círculo amarillo (P1), representa la ubicación de la estación que permitió obtener el registro de seis sismos regionales que se presentaron, los cuales fueron de utilidad para posteriormente validar la estimación de los efectos de sitio (microtemores).

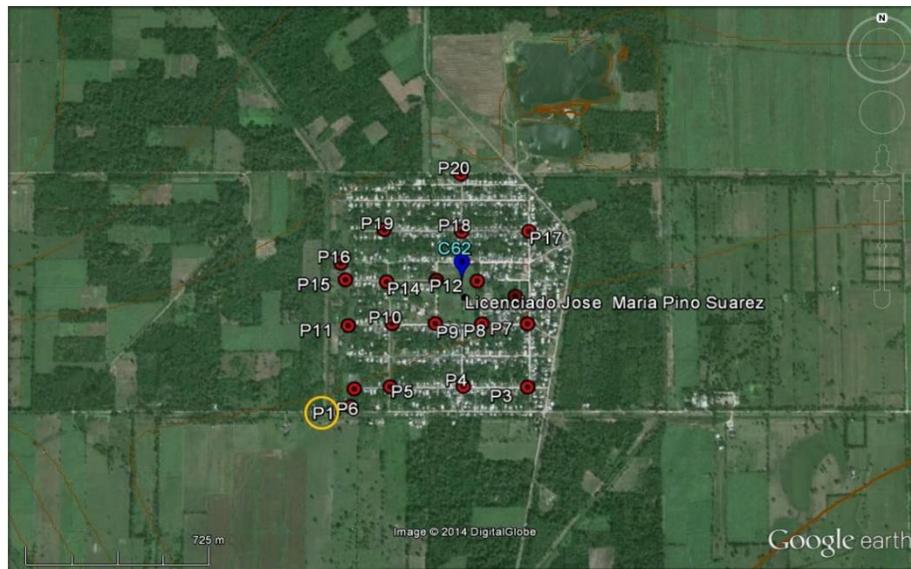


Figura 4.5. Puntos de medición de microtemores de la red temporal ubicada en la población C22 José María Pino Suárez (Lermo y Escobar, 2013).

En la Fig. 4.6, se presentan los instrumentos utilizados para efectuar el registro de las vibraciones ambientales y de sismos (locales y regionales). Asimismo, se puede observar la distribución y colocación de la instrumentación empleada para el análisis de la población C22 José María Pino Suárez.

Después de realizar el monitoreo sísmico de las 24 poblaciones seleccionadas, se efectuó el procesamiento de información y con ello, fue posible estimar los períodos dominantes y su amplificación relativa. Con dicha estimación, fue posible realizar las microzonificaciones correspondientes. El procesamiento de la información se efectuó a través de la función de transferencia empírica (FTE), que se obtiene como resultado de aplicar la técnica de Nakamura a los registros de vibración ambiental provenientes de las 24 poblaciones estudiadas. El proceso aplicado, se puede consultar de manera amplia en la publicación de Carbajal de 2015.



Figura 4.6. Equipo utilizado para el registro de microtemores y sismos ubicado en la población C22 José María Pino Suárez (Lermo y Escobar, 2013).

Para la población C22 José María Pino Suárez, la microzonificación quedó dividida en 3 zonas. La *zona 1* presentó en promedio, una amplificación unitaria en la banda espectral de 1 a 5 Hz (Fig. 4.7). Esto es, se puede apreciar la ausencia de amplificación para estas frecuencias, con lo que es posible asociarla a suelos competentes o firmes.

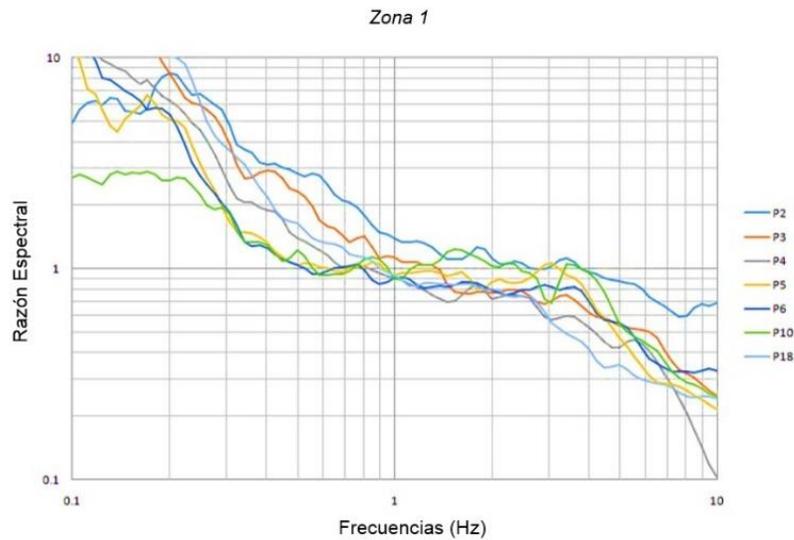


Figura 4.7. Zona 1: familias espectrales estimadas para la población C22 José María Pino Suárez (Lermo y Escobar, 2013).

Por otro lado, la *zona 2* presentó una amplificación relativa de 2 en una banda espectral que comprende de 1 a 2 Hz, lo que podría representar un problema para viviendas con alturas mayores a los 5 pisos (Fig. 4.8).

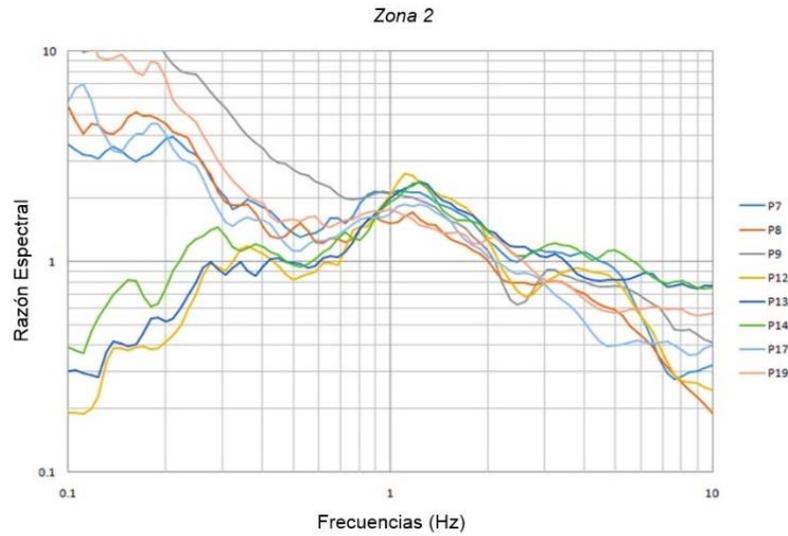


Figura 4.8. Zona 2: familias espectrales estimadas para la población C22 José María Pino Suárez (Lermo y Escobar, 2013).

La *zona 3* mostró el mismo nivel de amplificación que en la *zona 2*, pero en un intervalo mayor que corresponde a la banda espectral de 1 a 5 Hz (Fig. 4.9), lo que podría repercutir en afectaciones hacia viviendas menores a los 5 pisos, y en especial, a las de un nivel. Razón por la que, en el presente trabajo de investigación, es la que se toma en consideración, pues presenta relación con respecto a los supuestos daños ocasionados por las explosiones repetitivas efectuadas por Pemex.

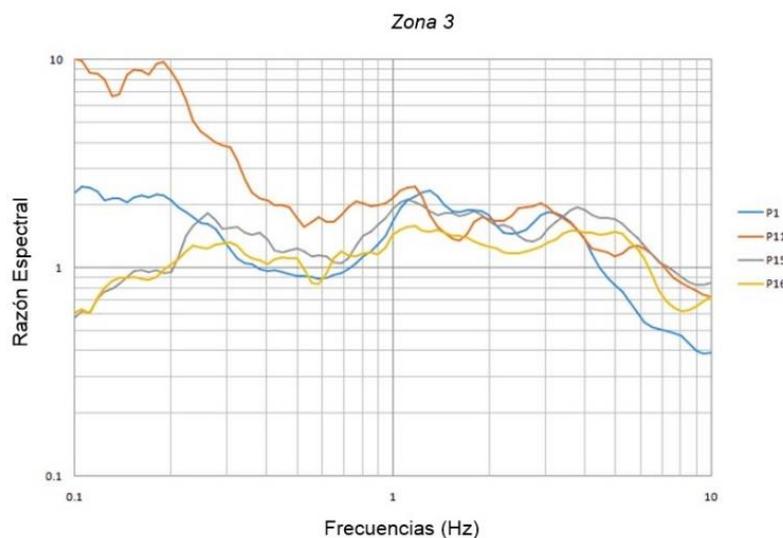


Figura 4.9. Zona 3: familias espectrales estimadas para la población C22 José María Pino Suárez (Lermo y Escobar, 2013).

Con el estudio efectuado, fue posible obtener las familias espectrales que se forman al clasificar las funciones de transferencia empíricas de acuerdo a su forma espectral. Así, se asigna la familia espectral, la frecuencia, el período dominante y la amplificación relativa correspondiente.

En la Fig. 4.10, se presenta la microzonificación de la población C22 José María Pino Suárez, en la que, con base en las familias espectrales, se elabora un mapa de microzonificación. En dicha figura se pueden observar las tres zonas identificadas, la *zona 1* está señalada en color azul, la *zona 2* en color verde y la *zona 3* (zona de interés para el presente estudio) en color amarillo.

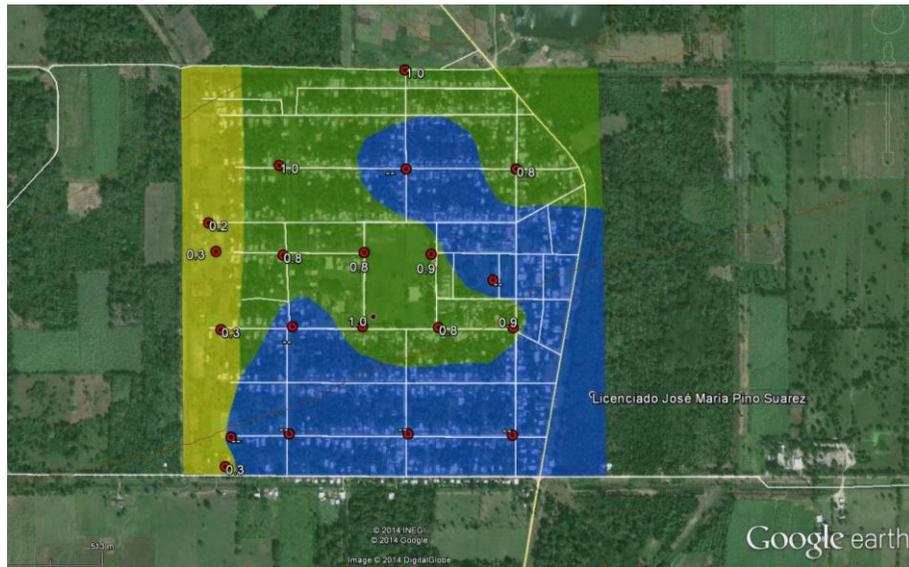


Figura 4.10. Mapa de microzonificación sísmica de la población C22 José María Pino Suárez (Lermo y Escobar, 2013).

#### 4.3. CRITERIO DE SELECCIÓN DE LAS POBLACIONES Y OBTENCIÓN DE REGISTROS DE VELOCIDAD

Después de efectuar la microzonificación de las 24 poblaciones seleccionadas en el estudio, fue posible extraer a aquellas que presentaron efectos de sitio. Esto es, como se indicó previamente, con ayuda de estaciones sísmicas, se detectaron 9 poblaciones que mostraron modificaciones de amplitud, duración y contenido frecuencial en las ondas sísmicas del suelo de su área urbana. Cabe destacar que las poblaciones referidas estaban asociadas a viviendas principalmente unifamiliares.

En la Fig. 4.11, se presenta la distribución espacial de las 9 poblaciones que presentaron efectos de sitio. Se puede observar que la mayoría de ellas se encuentran ubicadas en la región norte del polígono de estudio.

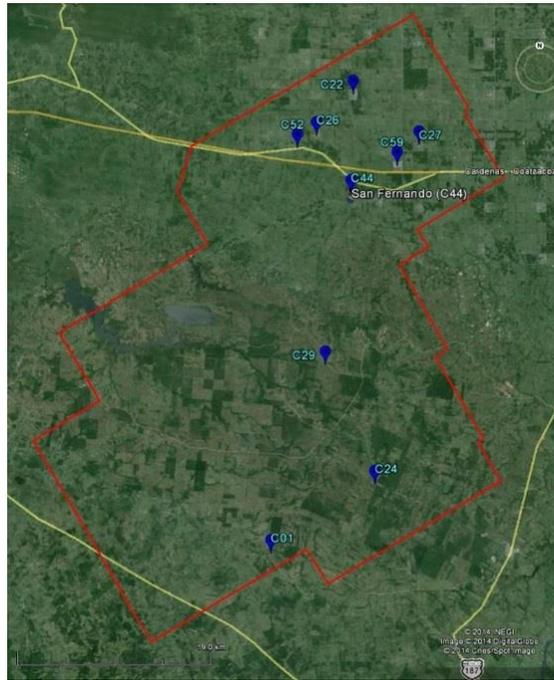


Figura 4.11. Ubicación espacial de las poblaciones que presentaron efectos de sitio (Lermo y Escobar 2013).

Es de importancia mencionar que el propósito de obtener los registros de velocidad es poder generar información que permita construir registros de historias de aceleración con los que sea posible realizar simulaciones en las que se pueda evaluar el comportamiento dinámico de las viviendas de los habitantes que se encuentran en las poblaciones afectadas.

Para efectuar el análisis de los registros de velocidad en las poblaciones con efectos de sitio, la Unidad de Operación Geofísica del Sur (Unidad de Pemex), proporcionó los registros de los puntos de tiro más próximos a las zonas de suelo susceptibles detectados en cada población (*zona 3*).

En la Fig. 4.12 se presenta, como ejemplo, la distribución de los puntos de tiro que se efectuaron en la población C52 Pico de Oro 1ra Sección. En la parte superior se muestra un mapa con la distribución espacial de los puntos de tiro, los que se encuentran clasificados con base en la fecha de explosión. Se muestra también el radio de ubicación medido en metros desde el centro geométrico de cada población, donde;  $a=250$ ,  $b=500$ ,  $c=1000$  y  $d=1500$ .

Respecto a la parte inferior de la Fig. 4.12, se presenta el mapa de microzonificación de la población C52 Pico de Oro, 1ra Sección; en él se puede observar el punto de tiro (en color azul) y los receptores (en color amarillo). Estos últimos ubicados a más de 400 m del punto de tiro. Se puede apreciar que el punto de tiro se encuentra ubicado en la *zona 3* de la región, la cual está indicada en fondo amarillo.



Figura 4.12. Puntos de tiro en la población C52 Pico de Oro, 1ra Sección (Lermo y Escobar 2013).

Con la medición efectuada y con los registros de velocidad captados en el análisis, fue posible generar espectros de amplitud de Fourier y, de esa manera, se generaron los registros de aceleración que se requieren en el presente estudio para poder analizar los efectos hacia las viviendas.

#### 4.3.1. Aplicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007

En la Fig. 4.13, se presenta un ejemplo de la información generada de manera gráfica al considerar las solicitudes de la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007, descrita en la sección 2.3 de esta tesis. La información que se presenta, corresponde al análisis efectuado por Lermo y Escobar en 2013, para la exploración geofísica de la población C52 Pico de Oro, 1ra sección.

En la primera gráfica de la Fig. 4.13, se presenta el registro de la velocidad de partícula (VPP) versus frecuencia, en la que se muestran con puntos rojos las VPP máximas obtenidas con el primer pulso provocado por la explosión, asimismo, con puntos azules, se presentan los pulsos máximos subsecuentes

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS AFECTACIONES

registrados por los sismogramas durante 10 s (de 4 a 15 Hz). De igual manera, en la gráfica inferior de la Fig. 4.13, se presenta la gráfica VPP versus distancia. Se puede observar que los valores de los impactos de la explosión, se mantienen aproximadamente con la misma amplitud entre 5 y 7 mm/s hasta los 435 m. Lo que demuestra que la energía en este tipo de suelos no decrece como lo hace el ejemplo presentado por la norma NOM-026-SESH-2007, en la que la energía decrece a los 120 m (Fig. 4.14).

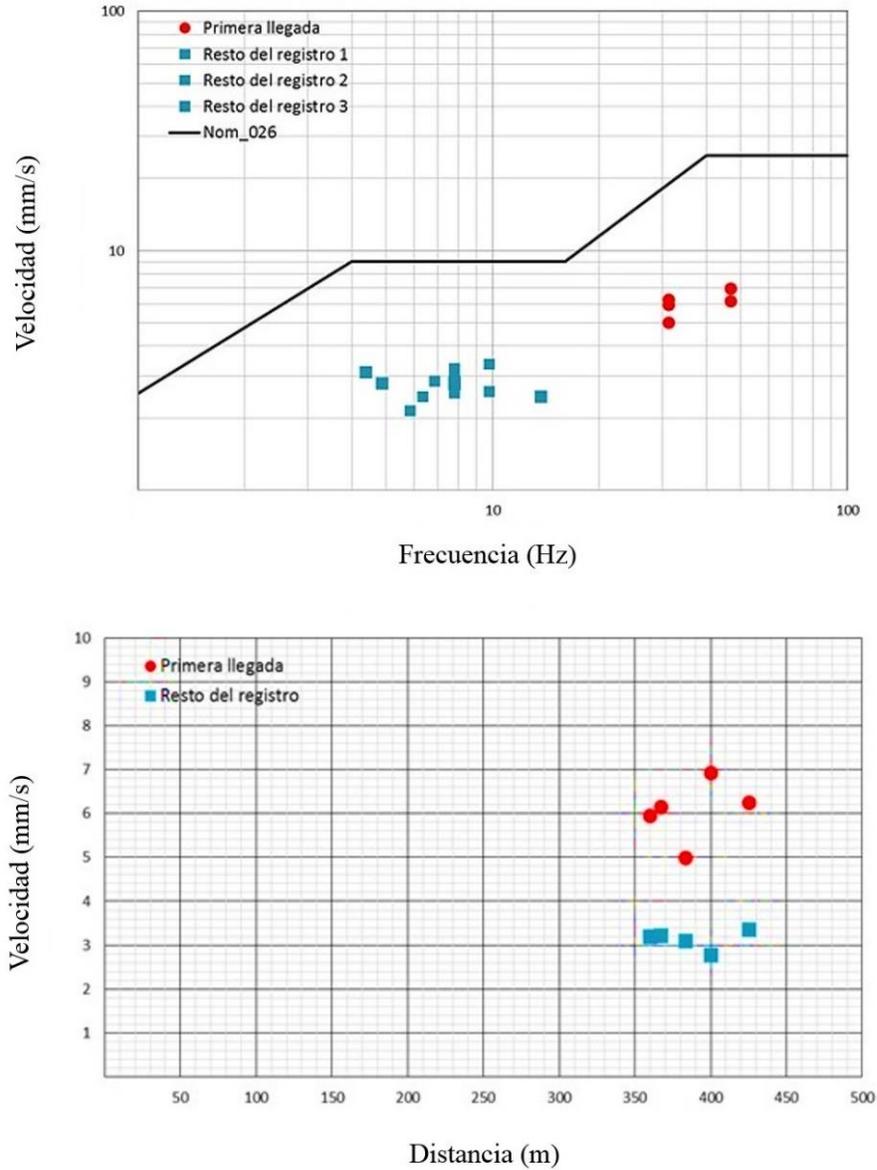


Figura 4.13. Aplicación a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007 (Lermo y Escobar, 2013).

Por otra parte, en la Fig. 4.15, se presenta el resumen de las dos gráficas solicitadas por la Norma Oficial Mexicana (NOM-026-SESH-2007), para ocho poblaciones analizadas, en donde se seleccionó un punto de tiro cercano a la zona con efecto de sitio vulnerable para viviendas de un nivel (Lermo y Escobar, 2013).

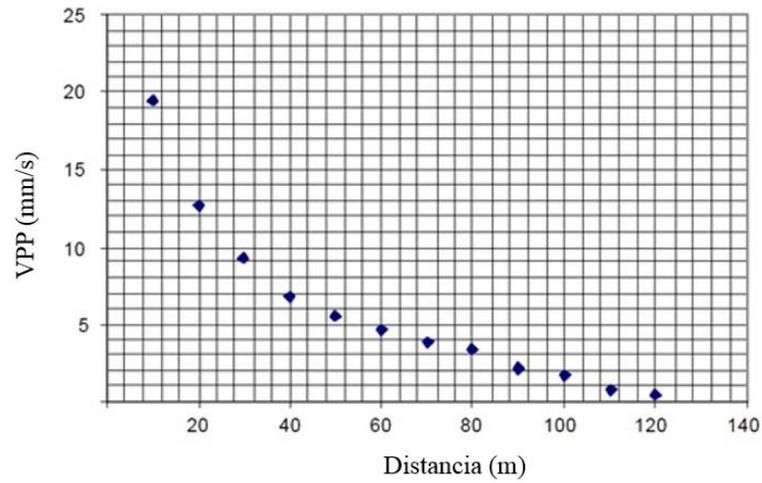


Figura 4.14. Ejemplo de la norma NOM-026-SESH-2007 de la velocidad máxima de partícula vs. distancia.

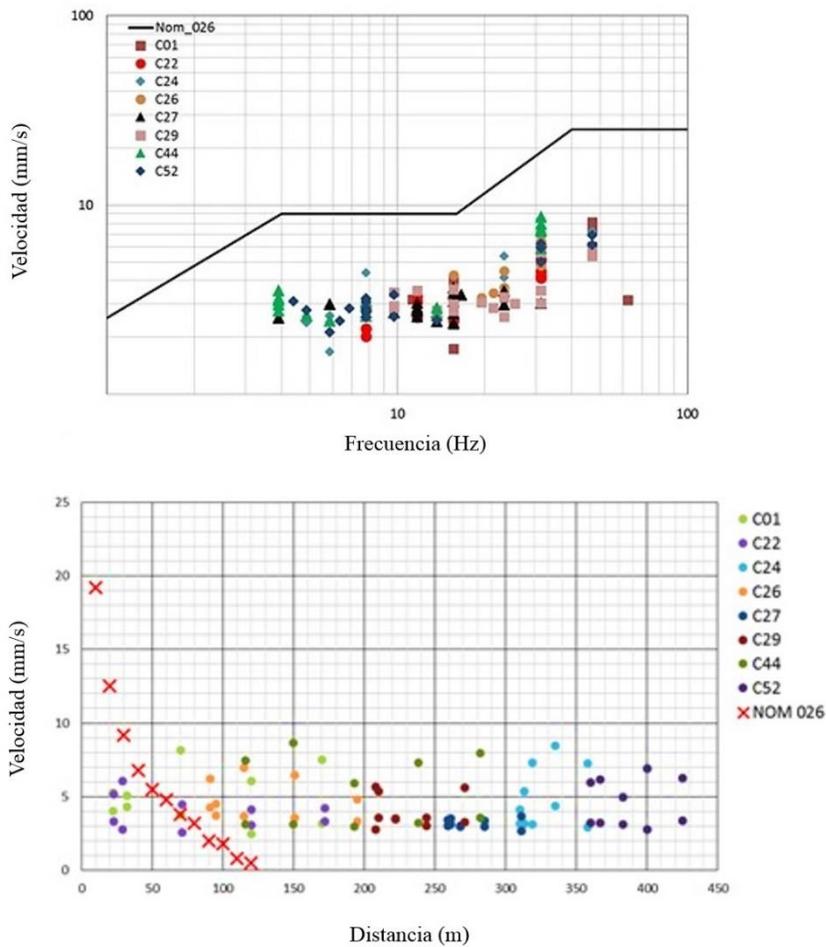


Figura 4.15. Ejemplo de la aplicación a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007, para ocho poblaciones analizadas (Lermo y Escobar, 2013).

De la Fig. 4.15 se puede observar en la primera gráfica que los períodos dominantes registrados para el sector más vulnerable (*zona 3*) contienen valores entre 5 ó 10 Hz que corresponden a periodos de 0.2 a 0.1 s. Lo que representa que la velocidad de partícula para ese intervalo coincide con el modo de vibrar de las viviendas de un piso. Esto es, que la energía provocada por las explosiones cercanas a la *zona 3*, podría perturbar a los inmuebles de la zona. En la segunda gráfica de la Fig. 4.15, se puede observar que la energía generada por las explosiones se mantiene entre los 3 y 9 mm/s, a una distancia de 435 m.

Al efectuar la medición de los registros y el análisis de la información generada, fue posible identificar dos restricciones generales, la primera corresponde a la señalada por la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007, en su *Anexo 10.3* (Subcapítulo 2.3.), que indica que se deben identificar los efectos de sitio en los inmuebles para poder valorar las vibraciones superficiales que provocan las explosiones. En ese sentido, después de analizar las 24 poblaciones (dentro de la zona urbana), fue posible identificar 9 con presencia de dicho efecto. Asimismo, se descartaron a aquellas poblaciones en las que los habitantes no presentaron reclamaciones. De esa manera, la clasificación final se acotó al estudio de sólo seis poblaciones.

En la Tabla 4.3, se muestra la lista de las poblaciones a considerar en el estudio, mismas que permitieron seleccionar a las viviendas presuntamente afectadas por las vibraciones debido a las explosiones realizadas por Pemex.

Tabla 4.3. Poblaciones seleccionadas para el estudio con base en las consideraciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007 y del número de reclamaciones.

No.	Población	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
1	C22 Lic. José María Pino Suárez	18.06677	-93.62472
2	C26 General Pedro C. Colorado	18.03087	-93.65835
3	C27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez	18.02134	-93.56109
4	C44 San Fernando	17.98488	-93.62528
5	C52 Pico de Oro, 1ra sección	18.01966	-93.67291
6	C59 Ingenio Presidente Benito Juárez	18.00431	-93.58093

La segunda restricción que se consideró corresponde a los *Anexos 10.2* de la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007, en la que se estipula la distancia mínima permisible respecto a las zonas de explosiones. De ello, para el presente estudio se considera la distancia de 450 m identificados por Lermo y Escobar en 2013; siempre que las viviendas ubicadas en las poblaciones, se encuentren en la *zona 3*. Esta última restricción difiere del trabajo realizado en 2003 por Murià *et al.*, en el que la distancia mínima permisible correspondía a 240 m.

#### 4.4. CLASIFICACIÓN DE LAS VIVIENDAS DEL ESTUDIO

En el presente capítulo se identifican a las viviendas que presentan mayor riesgo al encontrarse situadas bajo las restricciones descritas en el capítulo anterior. El análisis se presenta con respecto a las poblaciones presentadas en la Tabla 4.3.

##### 4.4.1. Población C22 Lic. José María Pino Suárez

La Fig. 4.16, muestra la distribución espacial de las viviendas que presentaron reclamaciones por parte de sus propietarios (puntos verdes). Se señala la microzonificación efectuada de acuerdo a lo descrito en la sección 4.2.2 de esta tesis, y se indica la distribución de los puntos de tiro más próximos (puntos negros).

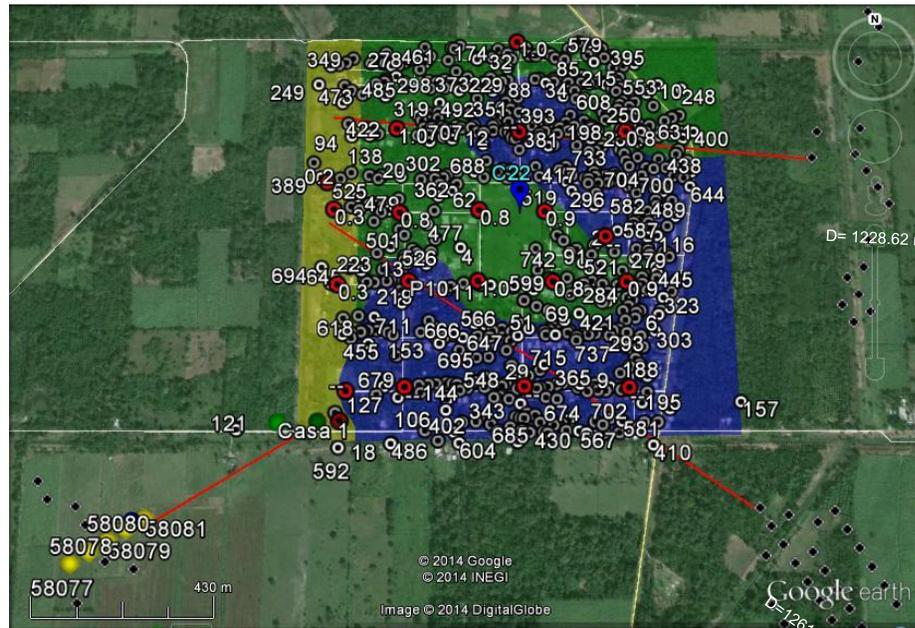


Figura 4.16. Distribución espacial de las viviendas de la población C22 Lic. José María Pino Suárez (Lermo y Escobar, 2013).

Luego de identificar a las viviendas de los habitantes que efectuaron reclamaciones, se aplicaron las consideraciones rescatadas de la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007, es decir, se clasificaron a aquellas viviendas que se encontraban en la zona con efectos de sitio (zona de vulnerabilidad para viviendas de un piso). La distribución se presenta en la Fig. 4.17, en ella se puede observar que la *zona 3* está identificada en color amarillo.

Continuando con las restricciones a considerar, en la Fig. 4.18 se muestra la distribución espacial de cinco viviendas que fueron seleccionadas por posible daño causado por las explosiones y que se encuentran dentro de la segunda restricción.

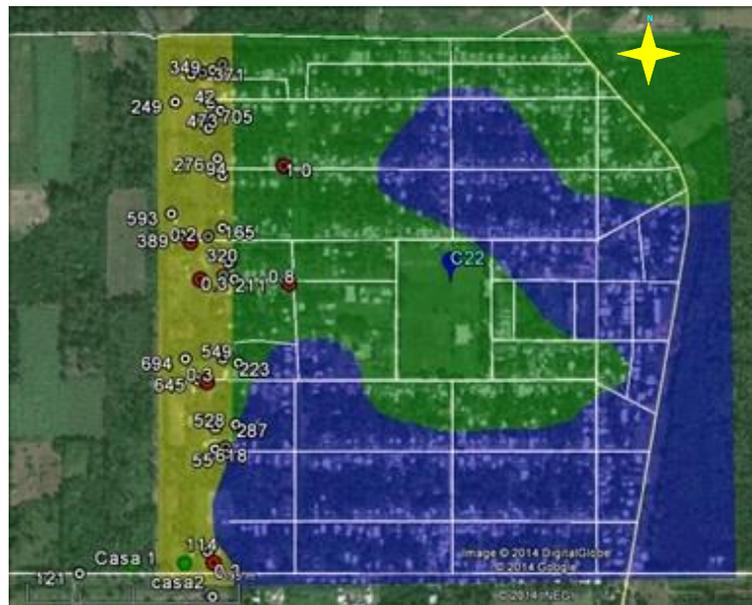


Figura 4.17. Distribución espacial de las viviendas desplantadas en zonas con efectos de sitio (primera restricción).



Figura 4.18. Distribución espacial de las viviendas con posible daño causado por las explosiones (segunda restricción) (Lermo y Escobar, 2013).

En la Fig. 4.19, se presentan algunas de las viviendas visitadas en la población C22 Lic. José María Pino Suárez en noviembre de 2014. Se puede observar el estado en el que se encuentran, así como su forma constructiva.



Figura 4.19. Viviendas de la población C22 Lic. José María Pino Suárez.

#### 4.4.2. Población C26 General Pedro C. Colorado

En la Fig. 4.20, se muestra con puntos verdes la distribución espacial de las viviendas de los habitantes que presentaron reclamos. En ella se puede observar la microzonificación y la distribución de los puntos de tiro más próximos a la población (puntos negros); las flechas rojas muestran las distancias de los puntos de tiro hacia la zona con efectos de sitio.

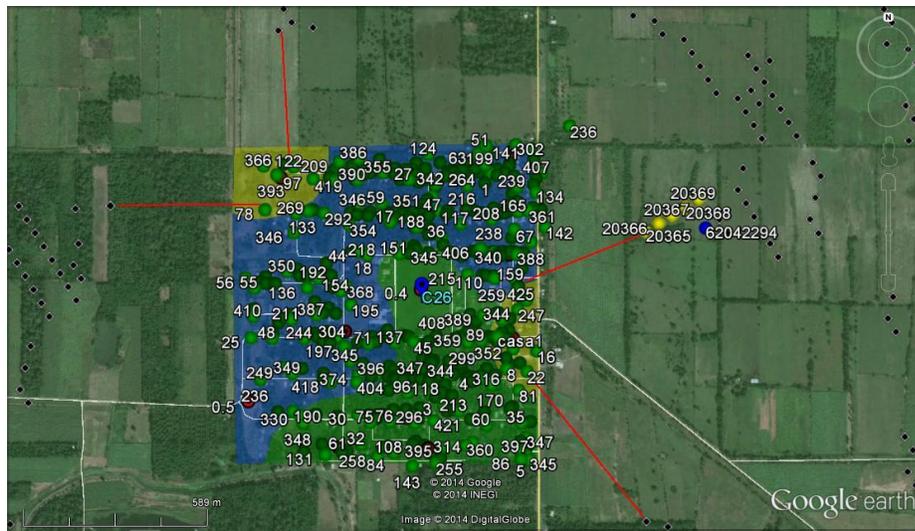


Figura 4.20. Distribución espacial de las viviendas de la población C26 General Pedro C. Colorado (Lermo y Escobar, 2013).

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS AFECTACIONES

Atendiendo a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007, en la Fig. 4.21, se muestra la distribución espacial de las viviendas ubicadas en las zonas con efectos de sitio y con posible daño producto de las explosiones efectuadas por Pemex. La aplicación a las restricciones originó la clasificación de 32 viviendas.

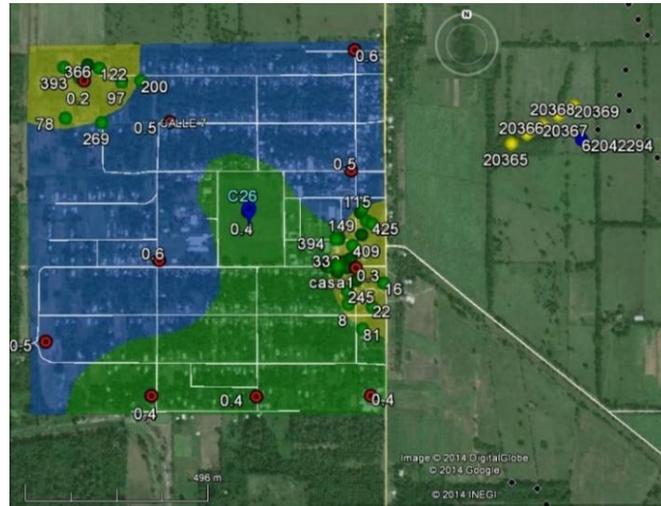


Figura 4.21. Distribución espacial de las viviendas seleccionadas en la población C26 General Pedro C. Colorado, que atienden las restricciones de la NOM-026-SESH-2007 (Lermo y Escobar, 2013).

En la Fig. 4.22, se presenta el estado y la forma constructiva de algunas de las viviendas visitadas en la población C26 General Pedro C. Colorado en noviembre de 2014.



Figura 4.22. Estado de las viviendas de la población C26 General Pedro C. Colorado.

**4.4.3. Población C27 Eduardo Chávez Ramírez**

En la Fig. 4.23, se muestra con puntos verdes la distribución espacial de las viviendas de los reclamantes de la población C27 Eduardo Chávez Ramírez. Se pueden observar dos de las tres zonas identificadas en las que se distribuyen los puntos de tiro más próximos a la población (puntos negros).

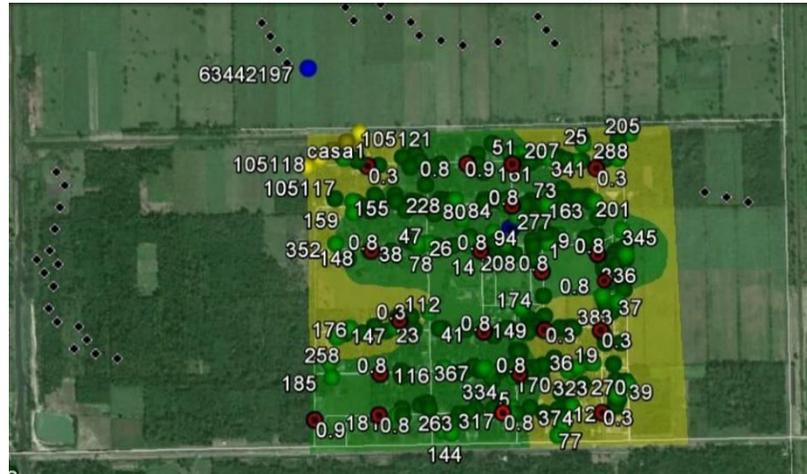


Figura 4.23. Distribución espacial de las viviendas de la población C27 Eduardo Chávez Ramírez (Lermo y Escobar, 2013).

Por otro lado, la Fig. 4.24 atiende a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007, respecto a las dos restricciones a considerar en el presente estudio. Es decir, presenta la distribución espacial de las viviendas ubicadas en la zona con efectos de sitio vulnerables para viviendas de un piso y con posible daño producto de las explosiones. La aplicación a las restricciones originó la clasificación de 32 viviendas que pudieron haber sufrido daño por las explosiones realizadas durante 2008 y 2009 por Pemex.



Figura 4.24 Distribución espacial de las viviendas seleccionadas en la población C27 Eduardo Chávez Ramírez, que atienden las restricciones de la NOM-026-SESH-2007 (Lermo y Escobar, 2013).

Finalmente, en la Fig. 4.25, se presentan las imágenes de algunas de las viviendas visitadas en la población C27 Eduardo Chávez Ramírez durante noviembre de 2014.



Figura 4.25. Estado de las viviendas de la población C27 Eduardo Chávez Ramírez.

#### 4.4.4. Población C44 San Fernando

En la Fig. 4.26, se muestra con puntos verdes la distribución espacial de las viviendas de los reclamantes de la población C44 San Fernando. Asimismo, se muestran las dos zonas donde se distribuyen los puntos de tiro más próximos (puntos negros).

En la Fig. 4.27, se presenta la aplicación de la primera y segunda restricción, pudiendo seleccionar 10 viviendas que cumplen con ellas, por lo tanto se consideran que posiblemente tengan daño por las explosiones realizadas en los años 2008 y 2009.

Por otra parte, en la Fig. 4.28, se presentan algunas de las viviendas visitadas en la población C44 San Fernando en noviembre de 2014. Se puede observar el estado en el que se encuentran, así como su forma constructiva.

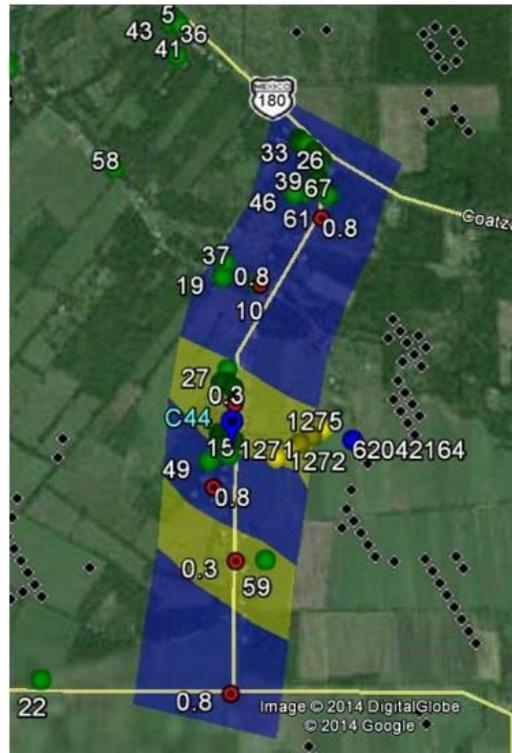


Figura 4.26. Distribución espacial de las viviendas de los reclamantes de la población C44 San Fernando (Lermo y Escobar, 2013).



Figura 4.27. Distribución espacial de las viviendas que fueron seleccionadas de la población C44 San Fernando, con posible daño causado por las explosiones y que pasaron la primera y segunda restricción (Lermo y Escobar, 2013).



Figura 4.28. Viviendas de la población C44 San Fernando.

#### 4.4.5. Población C52 Pico de Oro, 1ra sección

En la Fig. 4.29, se muestra con puntos verdes la distribución espacial de las viviendas de los reclamantes de la población C52 Pico de Oro, 1ra sección; así como dos zonas donde se distribuyen los puntos de tiro más próximos a ella (puntos negros). En la Fig. 4.30, se presenta la aplicación de la primera y segunda restricción, pudiendo seleccionar 9 viviendas que cumplen con estas restricciones, por lo tanto se considera que posiblemente tengan daño por las explosiones realizadas en los años 2008 y 2009.

En la Fig. 4.31, se presentan las imágenes de algunas de las viviendas visitadas en la población C52 Pico de Oro, 1ra sección. Se puede observar el estado en el que se encuentran, así como su forma constructiva.

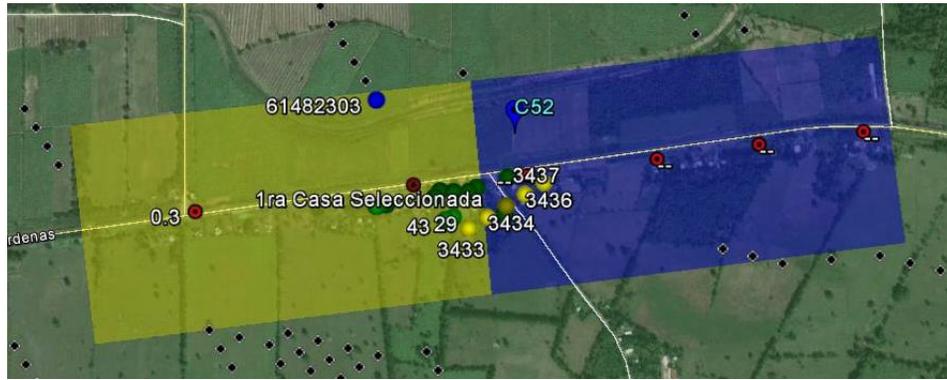


Figura 4.29. Distribución espacial de las viviendas de los reclamantes de la población C52 Pico de Oro, 1ra sección (Lermo y Escobar, 2013).

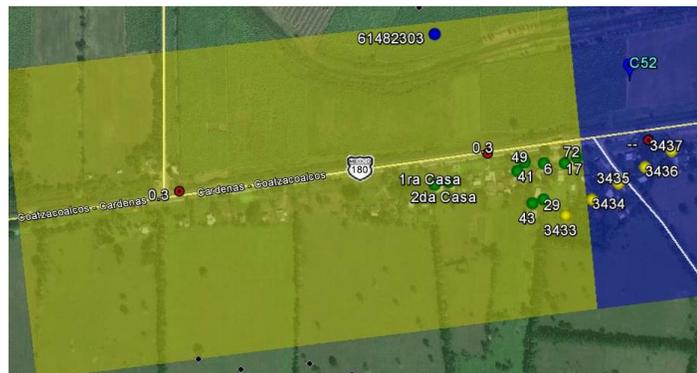


Figura 4.30. Distribución espacial de las viviendas que fueron seleccionadas de la población C52 Pico de Oro, 1ra sección, con posible daño causado por las explosiones y que pasaron la primera y segunda restricción (Lermo y Escobar, 2013).



Figura 4.31. Viviendas visitadas en la población C52 Pico de Oro, 1ra sección.

**4.4.6. Población C59 Ingenio Presidente Benito Juárez**

En la Fig. 4.32, se muestra con puntos verdes la distribución espacial de las viviendas en las que sus habitantes externaron la afectación hacia su inmueble en la población C59 Ingenio Presidente Benito Juárez. Se muestran las zonas donde se distribuyen los puntos de tiro más próximos (puntos negros). Por otro lado, en la Fig. 4.33, se presenta la aplicación de la primera y segunda restricción, en la que se puede observar que ninguna vivienda se ubica en la zona con efectos de sitio. Por lo tanto, para dicha población, no se seleccionó ninguna vivienda.

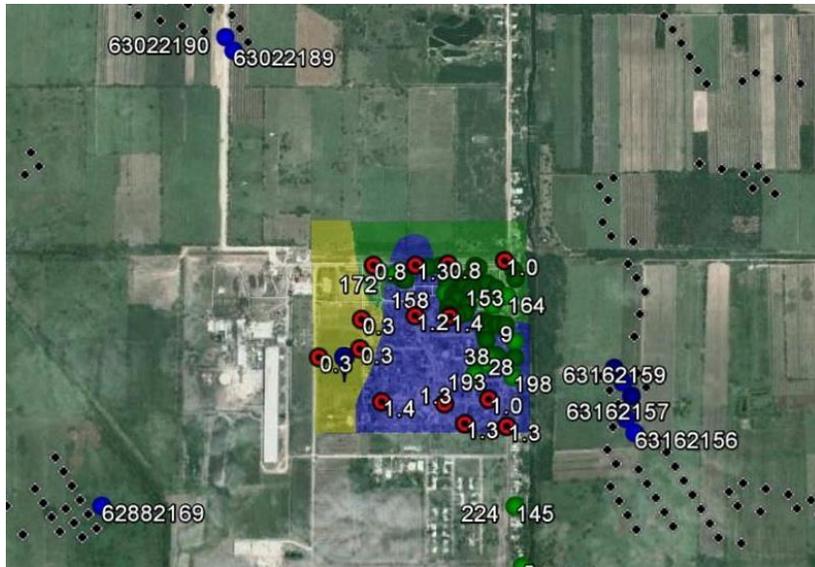


Figura 4.32. Distribución espacial de las viviendas de los reclamantes de la población C59 Ingenio Presidente Benito Juárez (Lermo y Escobar, 2013).

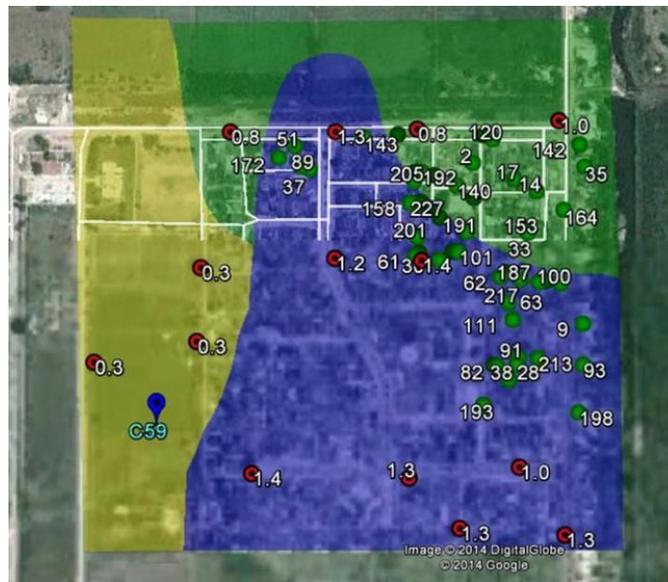


Figura 4.33. Distribución espacial de las viviendas de la población C59 Ingenio Presidente Benito Juárez (Lermo y Escobar, 2013).

Con la aplicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SESH-2007, fue posible realizar una clasificación y limitación del objeto de estudio del presente trabajo. Se puede observar que la norma permite estimar los efectos más importantes que pueden repercutir en la afectación de las viviendas ubicadas en la región de Huimanguillo y Cárdenas. Es decir, la norma contempla los aspectos fundamentales del análisis geofísico de la región en la que se sitúan las edificaciones y sólo requiere de una revisión profunda por parte de las compañías que se dedican a la exploración petrolera y/o de los propietarios, de manera que, si se vigila su cumplimiento, se pueden limitar los daños significativamente.

#### **4.5. CRITERIO DE SELECCIÓN DE MODELO**

El criterio de selección de modelos a analizar fue determinado por la experiencia adquirida de estudios previos realizados por la UNAM en el año 2000. Partiendo de ello, se dio prioridad a aquellas viviendas que fueran típicas de la región respecto a tipo de materiales, técnicas de construcción empleadas y dimensiones. Adicionalmente, dadas las características del presente estudio, se dio mayor importancia a las viviendas construidas dentro de la zona que fue evaluada con posibles efectos de sitio con periodos dominantes entre 0.1 a 0.3 s, cuyos suelos pueden amplificar las ondas en esas frecuencias, comunes al modo fundamental de vibrar de las viviendas (Escobar *et al.*, 2000).

##### **4.5.1. Calibración de modelo representativo**

La calibración del modelo para el estudio fue efectuado en una vivienda que se encuentra localizada en el municipio de Cárdenas, en la población C27 Eduardo Chávez Ramírez (N18.025497, W-93.568684). Su estructuración consiste en muros de carga de mampostería de bloque de concreto hueco. Está techada con losa de concreto reforzado con malla electrosoldada, apoyada sobre dalas de concreto reforzado con armado tipo “armex” (Fig. 4.34). Tiene una antigüedad de 25 años y se pudo observar que el acero de refuerzo de la losa y de las dalas estaba dañado. Adicionalmente, los firmes de los pisos se encontraron agrietados (Galiote *et al.*, 2015).

La calibración del modelo inelástico del muro de mampostería se efectuó utilizando los resultados de un muro de mampostería previamente estudiado en laboratorio por Aguilar y Alcocer (2001) en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Las características del muro son análogas al modelo matemático M1 y fue sometido a la acción de una carga lateral cíclica reversible, teniendo como propósito registrar y definir un comportamiento histerético.

En la Fig. 4.35 se presenta la gráfica de fuerza cortante-distorsión del muro estudiado de manera experimental.

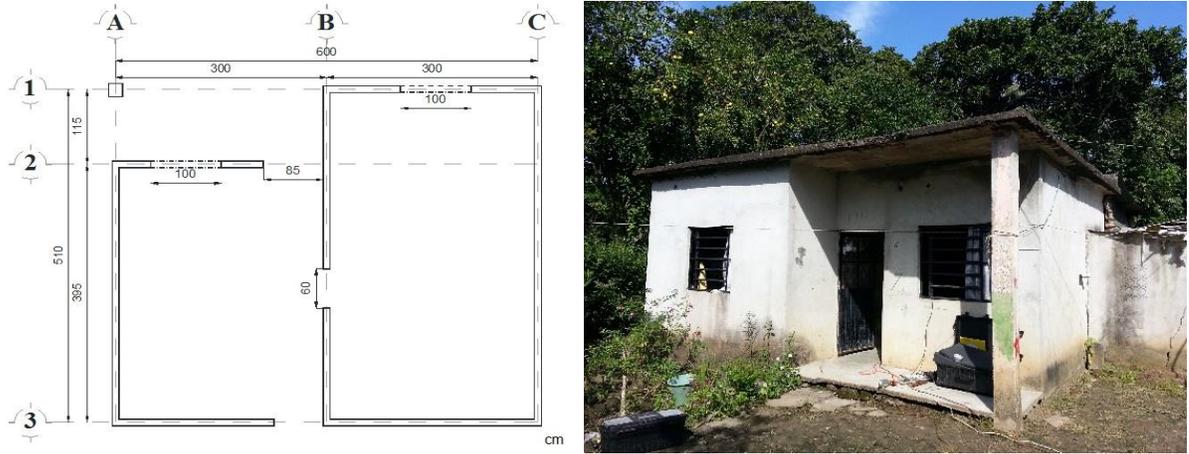


Figura 4.34. Modelo de vivienda analizada (M1).

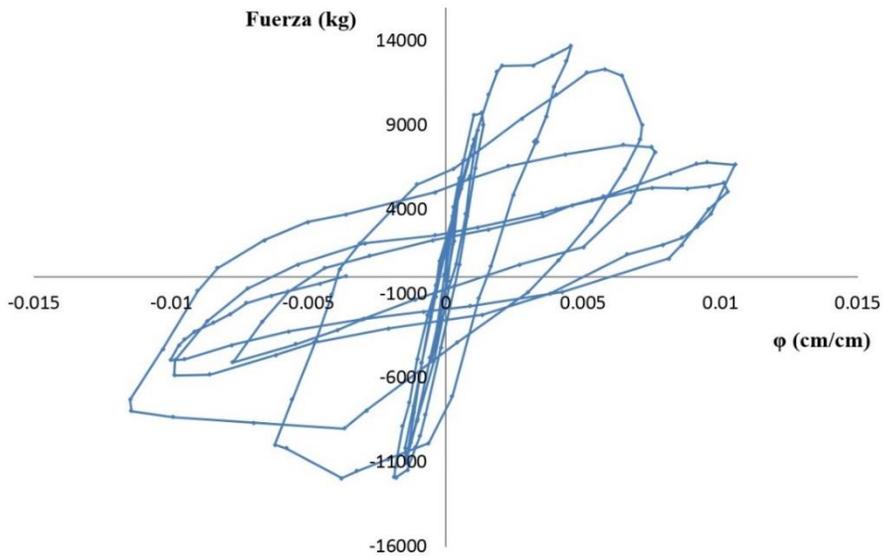


Figura 4.35. Curvas de histéresis fuerza cortante-distorsión derivada del estudio experimental (Aguilar y Alcocer, 2001).

Por otra parte, dado que el objetivo de la calibración del modelo inelástico del muro es la correcta modelación de estructuras compuestas por muros de mampostería, en el modelo matemático del muro estudiado se utilizó el elemento panel de cortante del programa CANNY-2010 (sección 2.4.2 de la presente tesis). Asimismo, para elaborar el modelo se eligió un comportamiento trilineal de la mampostería, por lo que se empleó el modelo de histéresis *Sofisticado bilineal/trilineal* de CANNY-E (Cecilio, 2013), en el que se requiere definir las propiedades geométricas y mecánicas del muro de mampostería, así como especificar algunos parámetros de comportamiento inelástico tales como la energía histerética, la degradación de rigidez, la resistencia, etc. Las propiedades geométricas y mecánicas de la mampostería (Tabla 4.4), se

obtuvieron de acuerdo con las características del muro y los parámetros que definen el comportamiento inelástico se obtuvieron de un proceso iterativo.

Tabla 4.4. Propiedades mecánicas de la mampostería estudiada.

Propiedad	$f_m^*$	$E_m$	$G_m$	$v_m^*$
kg/cm <sup>2</sup>	50.1	30045.6	12018.2	3.8

donde:  $f_m^*$  es la resistencia de diseño a compresión de la mampostería, referida al área bruta, MPa (kg/cm<sup>2</sup>);  $E_m$  es el módulo de elasticidad de la mampostería para esfuerzos de compresión normales a las juntas, MPa (kg/cm<sup>2</sup>);  $G_m$  es el módulo de cortante de la mampostería, MPa (kg/cm<sup>2</sup>) y  $v_m^*$  es la resistencia de diseño a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga, MPa (kg/cm<sup>2</sup>).

Para el cálculo de los momentos de fluencia ( $F_y$ ), y agrietamiento ( $F_c$ ), se considera que el muro de mampostería alcanza la fluencia cuando experimenta una fuerza igual a su cortante resistente  $V_{mR}$ . Por lo que el momento de fluencia está definido por el par de fuerzas que se forma cuando una fuerza  $P$  aplicada lateralmente al muro es igual al cortante resistente  $V_{mR}$  del muro. De acuerdo con lo anterior, el momento de fluencia  $F_y$  del muro, se define como (ecuación 4.1):

$$F_y = V_{mR}H_m \quad (4.1)$$

Por otra parte, de acuerdo con los modelos de comportamiento trilineal propuestos por Meli (1975) y Tomažević (1999), el momento de agrietamiento  $F_c$ , está definido como un porcentaje  $\theta$  del momento de fluencia  $F_y$ . Así, con el propósito de acercarse al modelo de comportamiento propuestos por Tomažević (1999), se consideró  $\theta=0.8$  (Cecilio, 2013). Por lo que el momento de agrietamiento es (ecuación 4.2):

$$F_c = \theta F_y = 0.8(V_{mR}H_m) \quad (4.2)$$

Los valores de los momentos negativos de fluencia,  $F'_y$ , y agrietamiento,  $F'_c$ , se consideran iguales al valor negativo de  $F_y$  y  $F_c$  respectivamente. Finalmente, el cortante resistente del muro de mampostería, se obtuvo como (ecuación 4.3):

$$V_{mR} = F_R(0.5v_m^* A_T) \quad (4.3)$$

donde:  $A_T$ , es el área bruta de la sección transversal del muro o segmento de muro; y  $F_R$ , es un factor de resistencia, el cual se consideró igual a 0.7. Los resultados obtenidos del cálculo de los momentos de fluencia, agrietamiento y del cortante resistente se presentan en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Valores de  $F_y$ ,  $F_c$  y  $V_{mR}$  del muro representativo.

Propiedad	$V_{mR}$ (kg)	$F_y$ (kg-m)	$F_c$ (kg-m)
Valor	2556.8	4244.3	3395.5

Para definir el comportamiento del muro se obtuvieron los momentos de inercia en plano horizontal,  $I_H$ , y vertical,  $I_V$ , así como el área de cortante del muro,  $A_c$ . En la Tabla 4.6 se muestran los resultados del cálculo de las propiedades geométricas del muro estudiado.

Tabla 4.6. Propiedades geométricas del muro representativo.

Propiedad	$I_H$ (m <sup>4</sup> )	$I_V$ (m <sup>4</sup> )	$A_c$ (m <sup>2</sup> )
Valor	0.042	0.046	0.193

En la gráfica de la Fig. 4.36, se presenta la curva de histéresis fuerza cortante-distorsión del muro estudiado, obtenida a partir del modelo analítico del muro.

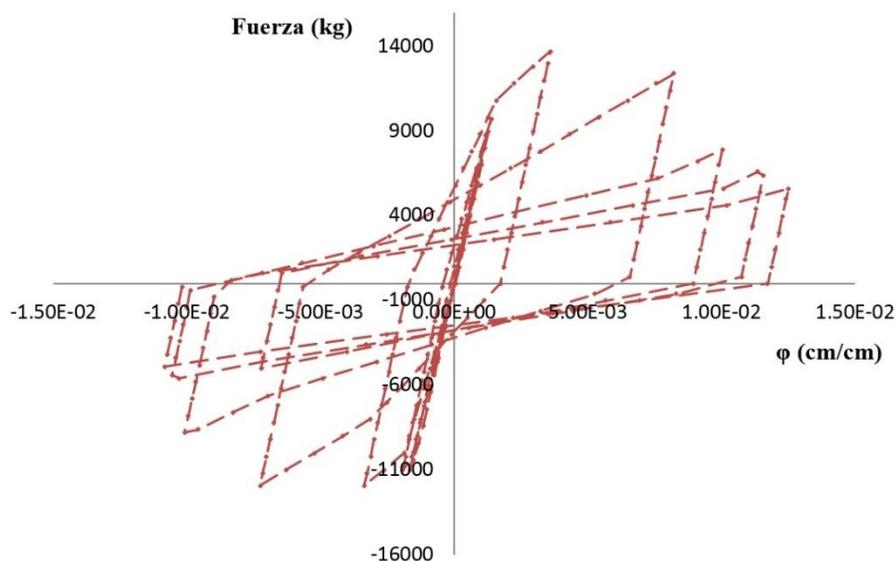


Figura 4.36. Curva de histéresis fuerza cortante-distorsión del modelo analítico (Galiote *et al.*, 2015).

Adicionalmente, en la gráfica de la Fig. 4.37 se presentan las curvas de histéresis esfuerzo cortante-distorsión del muro estudiado, obtenidas de la prueba de laboratorio y del modelo analítico del muro. La

construcción de las curvas de histéresis experimental se realizó con los datos más representativos de la prueba, debido a que no se contó con el registro completo de carga-desplazamientos.

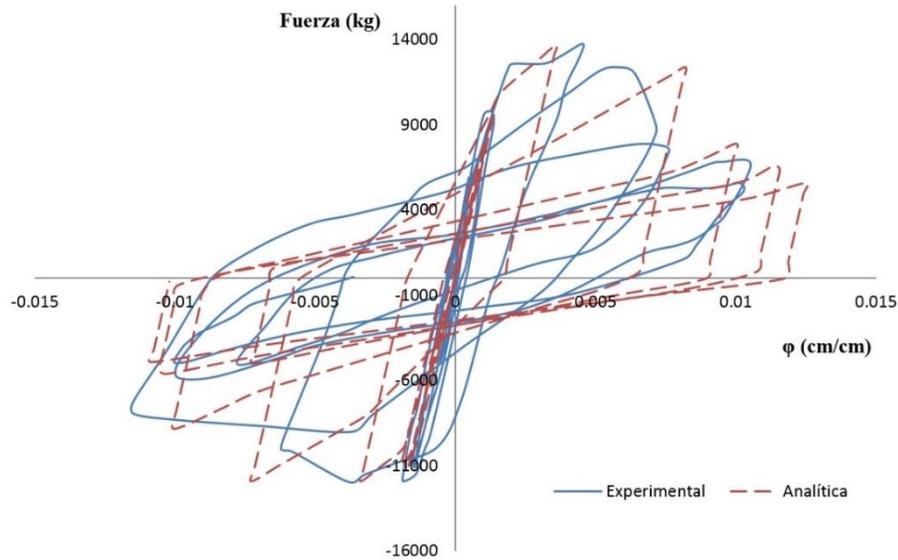


Figura 4.37. Curvas de histéresis fuerza cortante-distorsión de los modelos experimental y analítico (Galiote *et al.*, 2015).

Se puede observar que las curvas de histéresis de los modelos experimental y analítico son muy similares entre sí, tanto en magnitud como en comportamiento. Además, para ambas curvas se observa la degradación de la rigidez. Por tanto, se puede afirmar que el modelo de histéresis *Sofisticado bilineal/trilineal* del programa CANNY-E es capaz de representar con una buena aproximación el comportamiento inelástico de las estructuras de mampostería sometidas a cargas laterales.

#### 4.5.2. Instrumentación del modelo analizado

El estudio de vibración ambiental consistió en registrar, mediante acelerómetros triaxiales de alta resolución, la forma en la que vibran las viviendas en sus distintas direcciones o componentes estructurales (longitudinal, L, transversal, T y vertical, V). De este análisis se obtuvieron las frecuencias de vibración longitudinal y transversal del modelo analizado. En la Tabla 4.7, se presenta el resultado de las pruebas de vibración ambiental (Galiote *et al.*, 2015).

Tabla 4.7. Frecuencias de vibración fundamental, medidas a partir de las pruebas de vibración ambiental, de las viviendas instrumentadas.

Modelo	Frecuencia (Hz)	
	Transversal	Longitudinal
M1	6.006 a 6.152	4.2724.395

#### 4.5.3. Análisis de la respuesta estructural del modelo M1

Para calcular la respuesta estructural de la vivienda analizada ante los efectos de las aceleraciones del suelo, producto de explosiones subterráneas, se realizaron dos modelos matemáticos, uno con comportamiento elástico realizado en el programa SAP2000 (CSI, 2005) y el otro inelástico realizado en el programa CANNY-2010 (Kan-Ning, 2010). En los modelos matemáticos de la vivienda, se tomaron en cuenta todos los elementos estructurales que participan tanto en rigidez como en masa, incluyendo los muros de mampostería de altura total y parcial. En la Fig. 4.38, se presenta una vista tridimensional de los modelos estructurales de la casa estudiada. En dichos modelos no se muestra el techo de las viviendas para que se puede apreciar la geometría de los muros.

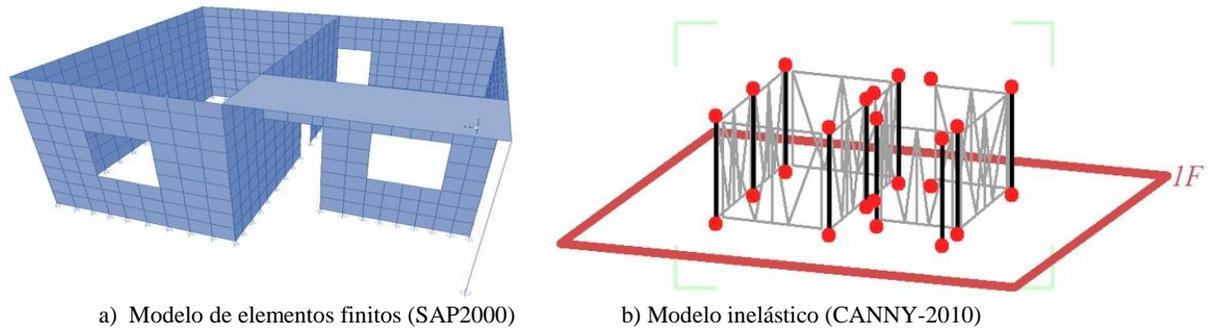


Figura 4.38. Modelo matemático de la vivienda analizada (Galiote *et al.*, 2015).

#### 4.5.4. Frecuencias de vibración del modelo M1

Las frecuencias de vibración obtenidas del modelo M1, fueron calibradas con el registro efectuado mediante las pruebas de vibración ambiental. Por lo que al responder a solicitaciones dinámicas de carga muy bajas, corresponde al modelo elástico (al no provocar efectos no lineales en la estructura). En la Tabla 4.8, se presenta la frecuencia fundamental de vibración, calculada, de la vivienda analizada (modelo, M1).

Tabla 4.8. Frecuencias de vibración fundamental calculadas del modelo M1 (Galiote *et al.*, 2015).

Modelo	Frecuencia (Hz)	
	Transversal	Longitudinal
M1	5.618	4.824

#### 4.5.5. Resultados de la respuesta estructural del modelo M1 ante registros de explosiones

Para estudiar la respuesta estructural de la vivienda analizada debido a las explosiones subterráneas repetidas, sus modelos matemáticos calibrados se sometieron a los registros de las explosiones en el suelo sobre el que se encuentra construida. En la Fig. 4.39, se muestra el registro de aceleraciones al que fue sometido el modelo M1. Con el objetivo de estudiar el efecto de explosiones repetidas sobre la vivienda, estos registros corresponden a varias detonaciones.

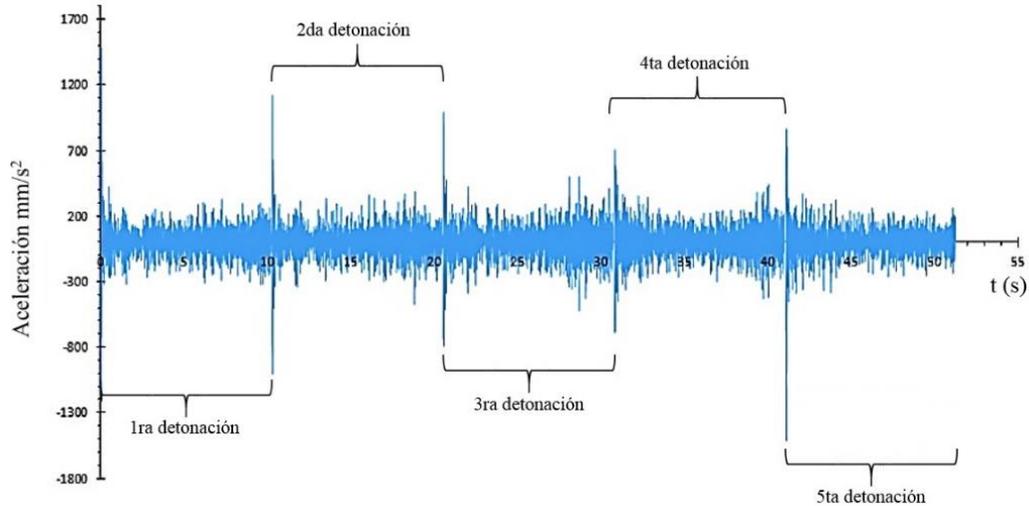


Figura 4.39. Historia de aceleraciones del suelo a las que se sometió el modelo M1.

Para caracterizar la respuesta estructural de la vivienda analizada, se utilizó el desplazamiento relativo de entrepiso. Esta es una de las medidas más representativas de la respuesta de una estructura sujeta a movimientos del suelo. En la Tabla 2.1 del Capítulo 2 de esta tesis, se presentó un resumen de los valores de la distorsión de entrepiso, en muros de mampostería, que se pueden considerar para el inicio del daño y también en los que se considera daño total de los mismos (Reyes, 1999).

En la Tabla 4.9 se presentan las distorsiones máximas de entrepiso, calculadas con el modelo de elementos finitos (modelo elástico) calibrado con las mediciones de vibración ambiental de la vivienda instrumentada, sometidas a los registros de las explosiones repetidas en el suelo sobre el que se encuentran construidas.

Tabla 4.9. Distorsión de entrepiso máxima y mínima calculada para el modelo M1 (Galiote *et al.*, 2015).

Modelo	Distorsión de entrepiso calculada (m/m)			
	Longitudinal		Transversal	
	máximo	mínimo	máximo	mínimo
M1	-2.20E-05	2.10E-05	-5.60E-06	5.20E-06

De la Tabla 4.9, se puede observar que los valores calculados de las distorsiones de entrepiso de los muros, de la casa estudiada, son inferiores a los valores máximos permitidos en la Tabla 2.1. Esto es, las distorsiones de entrepiso calculadas para los modelos estructurales calibrados a partir de las pruebas de vibración de la vivienda instrumentada, no exceden los valores permisibles que pudieran indicar que se dañó debido a los efectos de las explosiones subterráneas.

#### **4.6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS DE HUIMANGUILLO Y CÁRDENAS**

Se presenta el análisis estructural de las viviendas ubicadas en la región de Huimanguillo y Cárdenas, Tab. Con base en la información recabada en campo en el año 2014, se seleccionaron viviendas representativas, tanto en técnicas constructivas como en tipo de suelo. Dichas viviendas fueron instrumentadas para analizar su comportamiento estructural.

Se presentan los resultados de las mediciones de campo, así como de los cálculos realizados para estudiar el comportamiento estructural de las viviendas debido a las vibraciones producidas por los estudios de prospección sísmica que efectúa la empresa Pemex.

##### **4.6.1. Características generales de las viviendas estudiadas**

Derivado del estudio efectuado en campo, se pudo observar que el sistema estructural de las viviendas es a base de muros de carga y éstos están elaborados con mampostería con bloques huecos de mortero cemento-arena de 10 cm de espesor. Asimismo, los muros de carga de mampostería tienen castillos y dalas de concreto reforzado de 10 cm de espesor, con acero tipo *armex* o con varillas de acero de 3/8". La cimentación está constituida por dalas y zapatas de concreto reforzado. En general, el sistema más común de cimentación está formado por zapatas corridas de concreto reforzado, ligadas entre sí mediante dalas ubicadas a lo largo y debajo de los muros.

En la inspección en campo, fue posible analizar viviendas en su etapa de construcción y se observó que las zapatas de cimentación pueden estar desplantadas a alrededor de 50 ó 60 cm de profundidad. Por otro lado, al analizar las viviendas más modestas se observó que los muros pueden estar desplantados superficialmente. También se identificaron viviendas en donde no se empleó concreto para construir los cimientos, únicamente se utilizaron bloques de tabique recocido o bloques de mortero cemento-arena. Además, en algunas viviendas sólo se coló sobre el terreno un firme de concreto simple, sin refuerzo de acero, sobre el que directamente se desplantaron los muros. Esta práctica puede ocasionar daños en algunas viviendas debido a hundimientos o expansiones diferenciales del suelo.

Los pisos de las viviendas son firmes de concreto o mortero, generalmente sin refuerzo. Estos se desplantan sobre un relleno formado con suelo de la región, compactado manualmente. Los rellenos así formados sufren contracciones y expansiones estacionales que, a su vez, provocan agrietamiento en los firmes. Los techos son de lámina metálica o de asbesto, apoyadas sobre vigas de madera, de concreto reforzado o perfiles metálicos. Únicamente tres de las viviendas visitadas tenían techo de losa de concreto reforzado con malla electrosoldada. Debido a la falta de impermeabilización y mantenimiento, el nivel de deterioro de las losas es significativo.

En lo que respecta a las condiciones geotécnicas, en general, la zona de estudio es pantanosa. Los suelos superficiales están constituidos por una arcilla muy plástica de color café claro, que pudiera ser expansiva. En un estudio previo elaborado por Jiménez en 2003, se detectó que una práctica común es desplantar las cimentaciones sobre un relleno formado por arcillas plásticas, remoldeadas y compactadas con pisones de mano. El objetivo de este relleno es sobre elevar el nivel de desplante de la losa de piso y con ello evitar la inundación del inmueble durante la época de lluvias. Estos rellenos, además, están sometidos a ciclos estacionales de secado y humedecimiento y sus propiedades de resistencia y deformabilidad sufren fuertes variaciones durante estos ciclos. Por lo que, desde el punto de vista del funcionamiento estructural de las viviendas estudiadas, estos rellenos determinan el comportamiento de las estructuras en la zona lacustre donde los cimientos se desplantan sobre ellos.

#### **4.6.2. Viviendas representativas analizadas**

Después de efectuar el análisis de las visitas efectuadas en campo, fue posible determinar a las viviendas representativas de la región de estudio. La elección de las viviendas a instrumentar y analizar fue efectuada por medio de un levantamiento detallado, respecto a las dimensiones y estado estructural de las edificaciones. De igual manera, se eligieron aquellas viviendas que se encontraban desplantadas en zonas susceptibles a las vibraciones producidas por las explosiones subterráneas repetidas que efectúa la empresa Pemex.

Las viviendas seleccionadas son tipo casa-habitación construidas a base de muros de mampostería, de un piso y con una antigüedad de no menos de diez años (la fecha de construcción de las viviendas varía entre 1980 y 2003). Se identificaron como elementos importantes los materiales usados en la construcción, el suelo en la zona donde se desplantan, la técnica constructiva y la caracterización de daños en los pisos, muros, cimentación y techos. Así, siguiendo los criterios mencionados en la sección 4.3 y con base en los requerimientos que demandaron los habitantes de la región, se visitaron viviendas ubicadas en las poblaciones: C01 Benito Juárez, C22 Lic. José María Pino Suárez, C24 Estación Zanapa, C26 General Pedro C. Colorado, C27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez, C44 San Fernando y C52 Pico de Oro 1ra. Sección, distribuidas en la región del presente estudio.

En la Tabla 4.10, se presenta el resumen de las viviendas visitadas y estudiadas durante septiembre y noviembre del año 2014 (Cecilio *et al.*, 2015). Se muestra el municipio al que pertenecen, la población, la antigüedad y las coordenadas geográficas; asimismo, se indica el nombre del propietario.

En la Fig. 4.40, se muestra la ubicación espacial de las viviendas visitadas y estudiadas durante 2014. La numeración de la ubicación corresponde a la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Viviendas visitadas y estudiadas en 2014.

Vivienda	Nombre del propietario	Población	Municipio	Antigüedad vivienda (años)	Coordenadas	
1	Agustín Jiménez	C44 San Fernando	Huimanguillo	10	N-17.981997	W-93.626744
2	Saraí Solís Prudencio	C44 San Fernando	Huimanguillo	10	N-17.981997	W-93.626744
3	Lauro Cortés	C44 San Fernando	Huimanguillo	10	N-17.981997	W-93.626744
4	Alfonso Torres Ramos	C52 Pico de Oro 1ra. Sección	Huimanguillo	25	N-18.018702	W-93.679275
5	María del Carmen Torres Ramos	C52 Pico de Oro 1ra. Sección	Huimanguillo	21	N-18.018740	W-93.679054
6	Antonio Medina González	C26 Gral. Pedro C. Colorado	Huimanguillo	30	N-18.032429	W-93.660588
7	Luciano Aguilar García	C27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez	Cárdenas	20	N-18.025503	W-93.569040
8	Juan Rodríguez Álvarez	C27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez	Cárdenas	25	N-18.025497	W-93.568684
9	Rodrigo Escalante	C27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez	Cárdenas	20	N-18.025539	W-93.561353
10	Manuela Lara Méndez	C22 Lic. José M. Pino Suárez	Cárdenas	15	N-18.062646	W-93.630446
11	Francisco Córdoba Sánchez	C22 Lic. José M. Pino Suárez	Cárdenas	12	N-18.062666	W-93.629534
12	Cecilia Olán Góngora	C24 Estación Zanapa	Huimanguillo	26	N-17.728198	W-93.609407
13	Rosa Cruz	C24 Estación Zanapa	Huimanguillo	26	N-17.728742	W-93.61060
14	Fernando Aguilar	C01 Benito Juárez	Huimanguillo	24	N-17.665365	W-93.701443
15	Álvaro Arellano Ramírez	C01 Benito Juárez	Huimanguillo	18	N-17.665153	W-93.701393
16	Demetrio Aguilar Domínguez	Ejido Nuevo Progreso	Huimanguillo	30	N-17.565518	W-93.701442
17	Zelma Díaz Sánchez	Ejido Nuevo Progreso	Huimanguillo	15	N-17.828106	W-93.648463



Figura 4.40. Ubicación de las viviendas visitadas y estudiadas durante 2014 (Google Maps, 2015).

### 4.6.3. Geotecnia general de las viviendas estudiadas

La región del estudio en general es pantanosa. Se pudo observar que los suelos superficiales están constituidos por una arcilla muy plástica de color café claro, que pudiera ser expansiva.

En un estudio previo realizado por Jiménez en 2003, se evaluó el comportamiento estático de las viviendas construidas en una región de Tabasco. Esto es, el análisis comprendió la revisión por capacidad de carga del suelo de cimentación y la estimación de la magnitud de los asentamientos producidos por el peso propio de las estructuras y de las expansiones causadas por la saturación del suelo.

En la evaluación, se seleccionaron seis viviendas representativas del área de estudio desde el punto de vista constructivo y geológico. Y, para conocer las características geotécnicas de la región se realizaron sondeos de exploración en cada uno de los sitios seleccionados con recuperación de muestras alteradas e inalteradas. El programa de exploración incluyó sondeos de cono eléctrico, de penetración estándar y de muestreo selectivo.

Con la información obtenida de los sondeos de exploración y con los resultados de los ensayos de laboratorio, se elaboró un modelo estratigráfico simplificado. En el modelo se encontraron diferencias notables en las resistencias a la penetración del cono eléctrico y del penetrómetro estándar de los estratos encontrados, lo que señaló, desde el punto de vista geotécnico, la existencia de diversidad de condiciones en la región estudiada.

En general, las áreas de estudio detectadas con base en sus consideraciones hidrológicas y topográficas, fueron la *zona baja* y la *zona alta* o de lomeríos. La primera, es pantanosa y se inunda estacionalmente y sus suelos superficiales son depósitos de arcilla. En la segunda, el terreno es arcilloso pero contiene limos intercalados con lentes de arena. Morfológicamente, está constituida por lomeríos de poca altura, no es inundable y, típicamente el nivel freático se localiza entre 5 y 15 m de profundidad.

Con relación al comportamiento estático de las viviendas, los estratos más relevantes fueron los más someros, conformados por rellenos mal compactados, una costra superficial natural y las capas superiores de la secuencia arcillosa. Se identificó que de acuerdo con las propiedades índice, los suelos superficiales están constituidos por arcillas de alta compresibilidad y al analizarlos se pudo detectar que los suelos pueden ser expansivos.

Posteriormente, se eligió una vivienda representativa de la región, con base en su distribución arquitectónica y su estructuración, en la que se obtuvo la capacidad de carga del suelo de cimentación. La resistencia al

esfuerzo cortante para calcular esta capacidad se determinó con los ensayos de compresión no consolidada no drenada. El valor promedio de la resistencia no drenada para los sitios de estudio fue de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ .

Finalmente se obtuvo que el factor de seguridad de las cimentaciones analizadas varía entre 5 y 6. Se puede concluir que no existen problemas de capacidad de carga; sin embargo, sí puede presentarse una reducción en la resistencia del suelo debido al humedecimiento del suelo y a la aparición de fisuras y grietas que induzcan planos de falla, sobre todo en las zonas inundables.

Los asentamientos producidos por el peso propio de las viviendas se determinaron con parámetros de deformación obtenidos de ensayos de consolidación. La magnitud de los asentamientos estimados varió de 0.9 a 2.4 cm para los sitios estudiados; por lo que se podría esperar que los asentamientos de las viviendas de la región se encuentren dentro de ese intervalo.

Respecto a los asentamientos producidos por el peso propio de las viviendas, se observó que no se presentan inmediatamente, estos se manifiestan de manera paulatina y la mayor parte de estos asentamientos ocurren dentro de los primeros cuatro meses posteriores a la construcción de las viviendas.

En general, independientemente de que se trate de arcillas naturales o de arcillas remoldeadas y compactadas, la máxima expansión ocurre cuando se presenta la primera temporada de lluvias o la primera inundación, después de construida la vivienda. Y, lo que respecta a las viviendas construidas directamente sobre el terreno natural, sufrirán menos expansiones que aquellas que se construyan sobre rellenos formados por arcillas de la región compactados manualmente.

#### **4.6.4. Condición general de las viviendas estudiadas**

Durante las visitas efectuadas en campo, fue posible analizar la condición de las viviendas. Se pudo observar que la calidad de construcción era deficiente. Se observaron daños en elementos estructurales y no estructurales. En muchos de los casos el confinamiento de los muros de mampostería es deficiente o inexistente (Fig. 4.41).

Por medio de entrevistas directas hacia los habitantes de las viviendas y por observación física, se pudo detectar que muchas viviendas sufrieron adiciones posteriores a su fecha de construcción, que no se ligaron estructuralmente con la construcción original. Y, por lo general, las juntas frías entre ambas construcciones presentaban agrietamientos.



Figura 4.41. Condición de las viviendas visitadas en 2014.

Los daños en los muros y recubrimientos de las construcciones, se muestran como agrietamiento diagonal, grietas verticales en la parte superior de los muros donde se apoyan vigas o armaduras de los techos que carecen de una dala perimetral al nivel de éstas, grietas verticales en la unión castillo-mampostería, y agrietamiento en los pretils. Alrededor de ventanas y puertas se presentan grietas diagonales, horizontales y verticales. Varios de estos patrones de agrietamiento pueden ser atribuibles, muy probablemente, a hundimientos diferenciales de los muros.

En una gran cantidad de los muros de las viviendas se identificó deterioro en elementos estructurales y/o no estructurales por falta de mantenimiento. Adicionalmente, se observaron problemas de humedad en estos elementos.

En general, la mayoría de las viviendas visitadas presentaron niveles de daño ligero e intermedio, que según Escobar *et al.*, (2000) se clasifican como sigue:

- Ligero, cuando el ancho de las grietas en los muros de mampostería es menor o igual a 3 mm, y en los elementos de concreto reforzado menor o igual a 1 mm.
- Intermedio, cuando el ancho de las grietas en los muros de mampostería es mayor a 3 mm y menor a 6 mm, y en los elementos de concreto reforzado mayor a 1 mm.
- Elevado, cuando el ancho de las grietas en los muros de mampostería es mayor que 6 mm, y en los elementos de concreto reforzado mayor a 1 mm.

Por lo anterior, se puede indicar que el daño presentado en los muros de mampostería va de 3 a 6 mm, mientras que para los elementos de concreto reforzado no mayor a 1 mm.

#### 4.7. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS TÍPICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

Con la información recabada en campo y mediante modelación matemática, fue posible seleccionar 6 viviendas típicas representativas de la región. Se eligieron con base en las técnicas constructivas empleadas y en que se encontraban desplantadas en zonas susceptibles a vibraciones producto de explosiones subterráneas repetidas. En la Tabla 4.11 se presenta el estado estructural de las viviendas seleccionadas para el estudio y se indica la población y el municipio al que pertenecen.

Tabla 4.11. Características de las viviendas seleccionadas para el estudio.

Vivienda	Población	Municipio	Estado estructural
V1	C44 San Fernando	Huimanguillo	Daño intermedio. Firmes agrietados.
V2	C52 Pico de oro, Ira sección	Huimanguillo	Daño intermedio a elevado.
V3	C27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez	Cárdenas	Daño elevado.
V4	C27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez	Cárdenas	Daño elevado. Firmes cóncavos.
V5	C20 José M. Pino Suarez, Ira sección	Huimanguillo	Daño intermedio. Se observan problemas de humedad.
V6	C26 General Pedro C. Colorado	Huimanguillo	Daño ligero.

De la Tabla 4.11 se puede observar que las viviendas seleccionadas presentaron daño ligero, intermedio o elevado durante la inspección. Esto es, se eligieron a aquellas viviendas que mostraban daño representativo.

##### 4.7.1. Modelación estructural de las viviendas tipo

Para realizar la modelación estructural de las viviendas del estudio, se elaboraron modelos de elementos finitos de las viviendas descritas en la Tabla 4.11. Los datos de las propiedades mecánicas de los materiales y de los suelos donde se encuentran desplantadas las estructuras se obtuvieron de un estudio previo elaborado por Escobar *et al.*, en el año 2000.

#### 4.7.1.1. Vivienda V1

La primera vivienda tipo, está identificada como V1. Su estructuración es a base de muros de carga elaborados con bloques de mortero cemento-arena. No se identificó la presencia de cimentación y los firmes del piso se encontraban agrietados. El techo está constituido por una lámina metálica apoyada sobre los muros y sobre traveses de concreto armado de 20 x 20 cm (Fig. 4.42). Cecilio *et al.*, 2015.

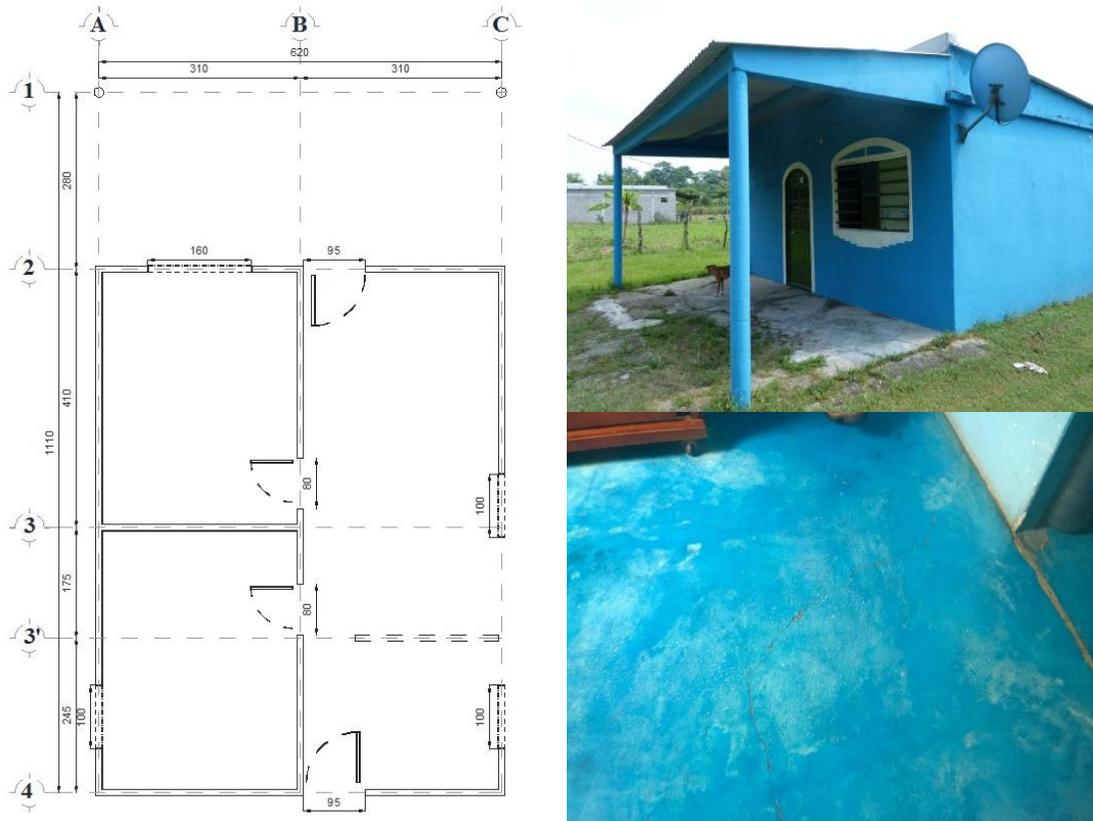


Figura 4.42. Estructuración de la vivienda V1.

#### 4.7.1.2 Vivienda V2

La segunda vivienda tipo, está identificada como V2. Su estructuración es a base de muros de carga de bloque de mortero cemento-arena con refuerzos de dalas y castillos. Está techada con lámina metálica apoyada sobre los muros y travesaños de tipo perfil tubular rectangular (Fig. 4.43). Se pudo observar que la vivienda sufrió adiciones constructivas, e inclusive continuaban construyendo durante la visita en campo.

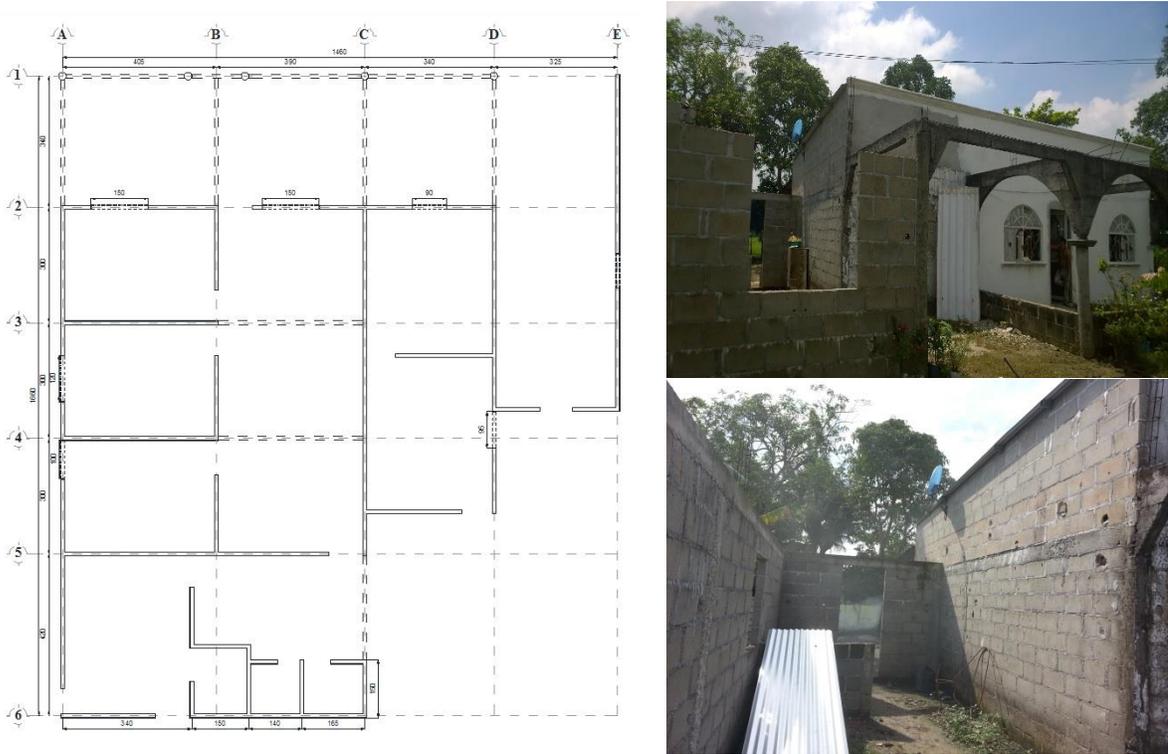


Figura 4.43. Estructuración de la vivienda V2.

#### 4.7.1.3. Vivienda V3

El techo de la vivienda V3 está hecho a base de lámina de asbesto y se encuentra apoyado sobre los muros y sobre un travesaño tubular de acero (Fig. 4.44). En la visita se pudo observar que la vivienda presentaba modificaciones adicionales a la construcción inicial. Se clasificó para el análisis porque un muro presentó un nivel de daño elevado, requiriendo una pronta rehabilitación del mismo.

#### 4.7.1.4. Vivienda V4

La vivienda V4 fue construida por algún organismo gubernamental y vendida a sus habitantes actuales. Su estructuración consiste en muros de carga de mampostería de bloque de concreto hueco. Está techada con losa de concreto reforzado con malla electrosoldada, apoyada sobre dalas de concreto reforzado con armado tipo “armex” (Fig. 4.45). El acero de refuerzo tanto de la losa como de las dalas, está completamente dañado y requiere ser reparado a la brevedad. Adicionalmente, los firmes de los pisos están agrietados.

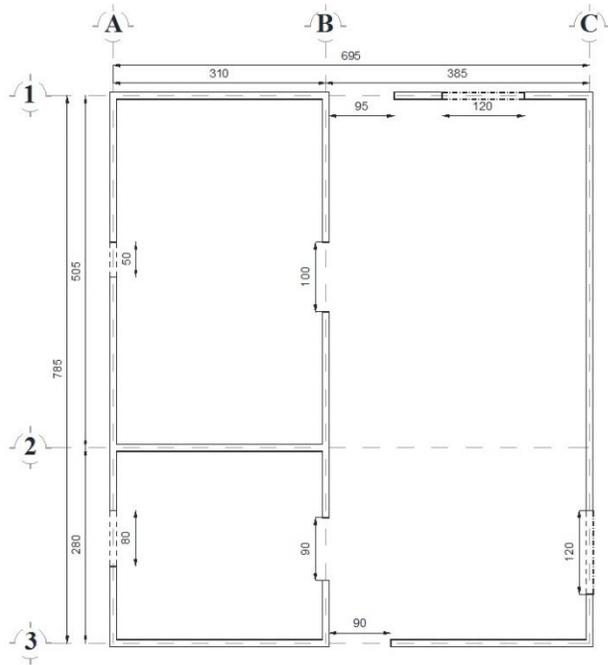


Figura 4.44. Estructuración de la vivienda V3.

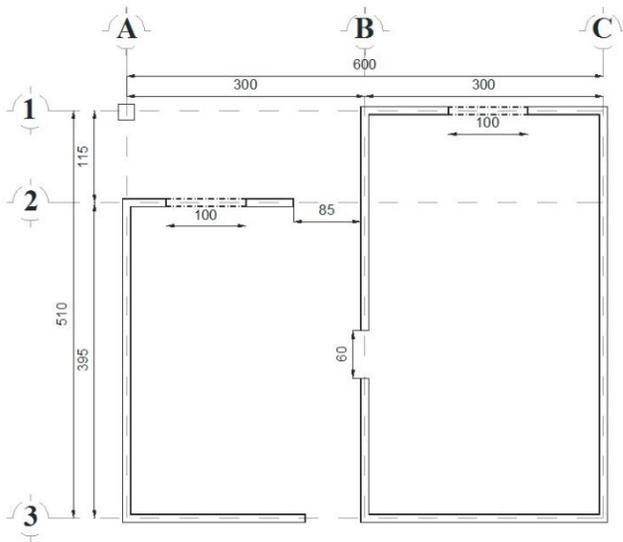


Figura 4.45. Estructuración de la vivienda V4.

#### 4.7.1.5. Vivienda V5

La vivienda V5 está estructurada a base de muros de carga de bloques huecos de mortero cemento-arena. Los muros están reforzados con dalas y castillos de concreto; sin embargo, no se aprecia que la casa tenga cimentación de algún tipo. Está techada con láminas metálicas apoyadas sobre travesaños tubulares tipo PTR. En los muros posteriores se observan problemas de humedad (Fig. 4.46).

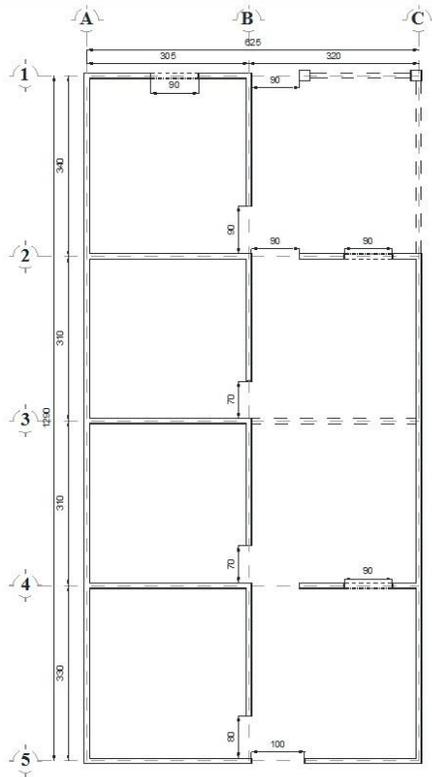


Figura 4.46. Estructuración de la vivienda V5.

#### 4.7.1.6. Vivienda V6

Finalmente, la vivienda V6 se encuentra ubicada en el municipio de Huimanguillo en la población C26 General Pedro C. Colorado. A la entrada, esta casa tiene una terraza rodeada de un pretil de 50 cm de altura, techada por una losa de concreto reforzado de 10 cm de espesor, soportada por castillos de concreto reforzado. La estructuración de la vivienda es a base de muros de carga de mampostería de bloque de mortero cemento-arena. Está techada con lámina metálica apoyada sobre los muros y largueros metálicos. Aparentemente, todos los muros están confinados con dalas y castillos de concreto reforzado (Fig. 4.47).

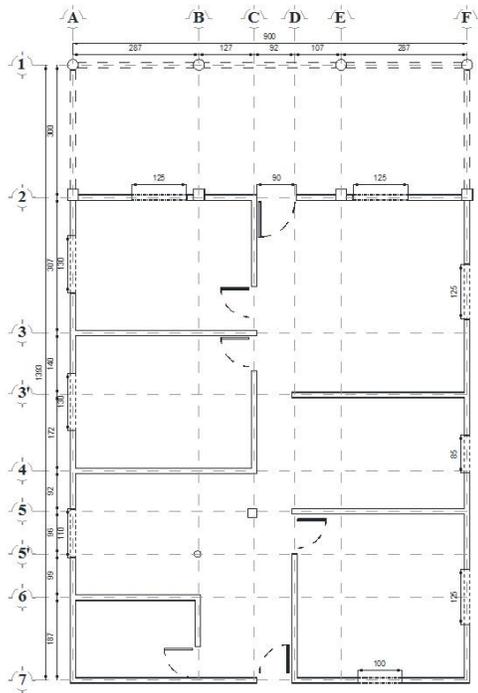


Figura 4.47. Estructuración de la vivienda V6.

#### 4.7.2. Instrumentación y pruebas de vibración ambiental de las viviendas

Conocer la respuesta y el comportamiento de las estructuras ante la ocurrencia de sismos u otro tipo de vibraciones que la afecten, permite que el grado de vulnerabilidad al que se ve expuesta se reduzca significativamente.

Existen técnicas experimentales que buscan una comprensión adecuada de lo que ocurre con las estructuras en la etapa posterior a su construcción y que permiten identificar sus propiedades dinámicas reales durante su vida útil. Analizar las señales provenientes de las vibraciones de las estructuras posibilita la identificación de sus propiedades dinámicas sometidas a algún tipo de excitación.

Existen tres tipos de pruebas que se pueden llevar a cabo para comprender el comportamiento estructural:

1. Sísmicas: En esta prueba, se registran las vibraciones de la estructura producto de movimientos telúricos. Es decir, se realizan a partir de eventos sísmicos reales ocurridos, que afectan directamente a la edificación.
2. Forzadas: En esta prueba se induce una excitación de manera artificial a la estructura con el fin de registrar su comportamiento.
3. Vibración ambiental: Esta prueba consiste en medir las vibraciones de las estructuras producidas por excitaciones de carácter ambiental, como los son las producidas por el uso normal de la

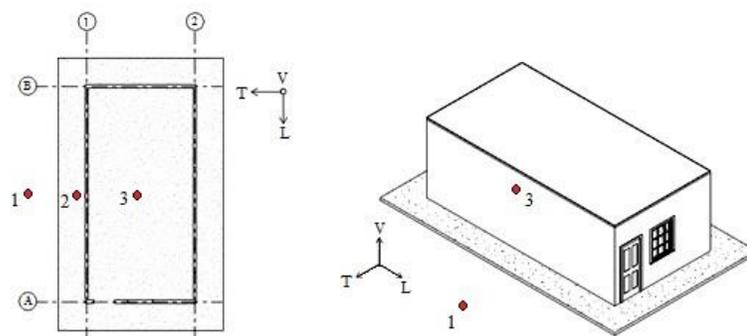
edificación, por el tránsito de vehículos, por maquinaria, por viento, etc. Se registra por medio de aparatos de alta resolución.

En el presente proyecto el análisis se efectuó a través de pruebas de vibración ambiental. El estudio consistió en registrar, mediante acelerómetros triaxiales de alta resolución, la forma en la que vibran las viviendas en sus distintas direcciones o componentes estructurales (longitudinal, L, transversal, T y vertical, V). Para identificar las propiedades dinámicas de las viviendas (frecuencias y modos de vibración), las señales registradas se procesaron mediante la Transformada Rápida de Fourier. Dichas propiedades suelen cambiar, principalmente, cuando existe alguna pérdida en la rigidez de los materiales que constituyen el sistema estructural en estudio. En este caso, cuando los muros de las viviendas sufren algún agrietamiento.

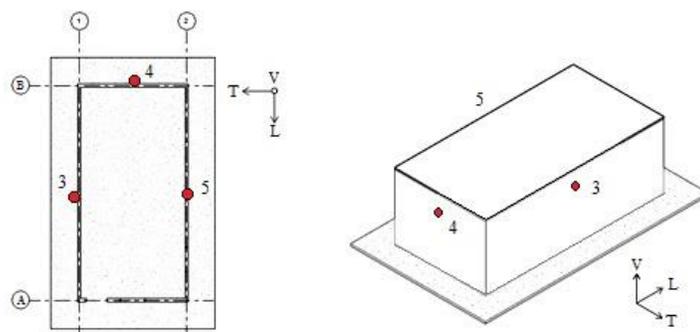
Para llevar a cabo las mediciones se utilizó un sistema portátil constituido por tres acelerómetros triaxiales de la marca *Guralp Systems* y sus respectivos digitalizadores. Los equipos fueron ubicados en los muros de las viviendas como se muestra en la Fig. 4.48. Con dicho equipo se realizaron tres pruebas de vibración ambiental para cada vivienda descrita anteriormente, en la Tabla 4.11. La ubicación de los acelerómetros para cada una de estas pruebas se presenta en la Fig. 4.49. Por otro lado, en la Tabla 4.12 se presentan las frecuencias fundamentales de vibración obtenidas a partir de las pruebas de vibración ambiental efectuadas en las viviendas instrumentadas. De ella se puede apreciar que no están definidas por un valor único, esto es, las frecuencias se encuentran dentro de un intervalo de valores.



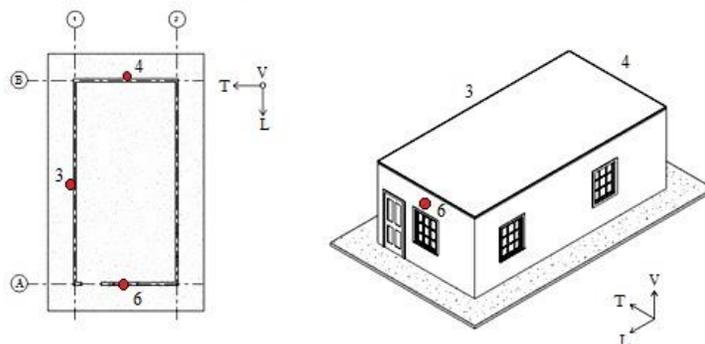
Figura 4.48. Instalación y equipo utilizado para realizar las pruebas de vibración ambiental en las viviendas del estudio (Cecilio *et al.*, 2015).



1ra prueba de vibración ambiental



2da prueba de vibración ambiental



3ra prueba de vibración ambiental

Figura 4.49. Ubicación de acelerómetros en las pruebas de vibración ambiental (Cecilio *et al.*, 2015).

Tabla 4.12. Frecuencias de vibración fundamental de las viviendas instrumentadas.

Vivienda	Frecuencia (Hz)	
	Transversal	Longitudinal
V1	4.272 a 4.443	5.273 a 5.396
V2	5.298 a 5.322	4.346 a 4.517
V3	5.469 a 5.492	4.150 a 4.370
V4	6.006 a 6.152	4.272 a 4.395
V5	3.638 a 3.857	1.831 a 2.260
V6	3.290 a 3.394	4.102 a 4.297

#### 4.8. RESPUESTA ESTRUCTURAL CALCULADA PARA LAS VIVIENDAS DEL ESTUDIO

La respuesta estructural de los modelos de las viviendas se calculó considerando a todos los elementos estructurales que participan tanto en rigidez como en masa. En la Fig. 4.50, se presentan los modelos estructurales de las viviendas estudiadas; para poder apreciar la geometría de los muros no se ilustra el techo de las viviendas.

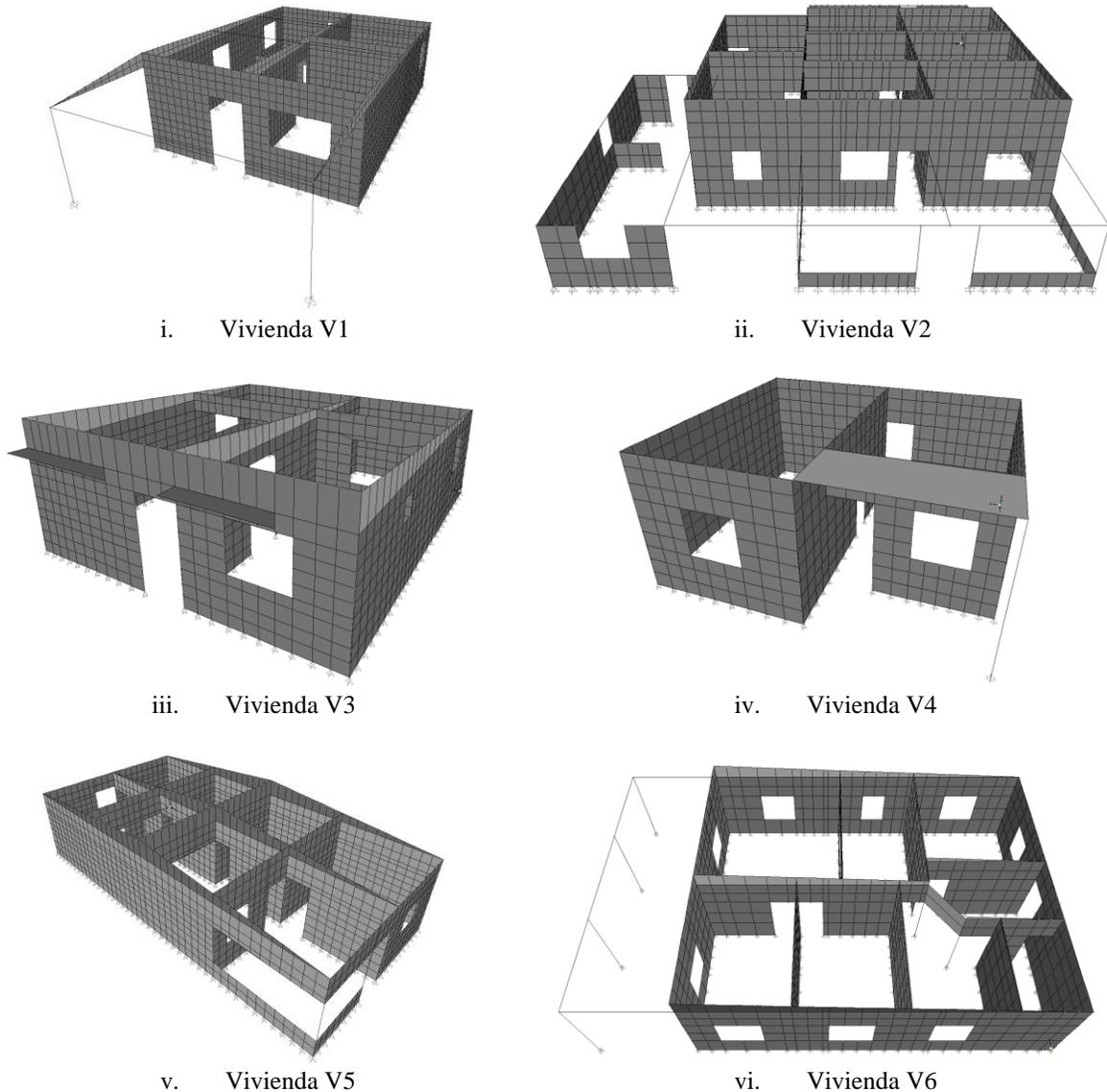


Figura 4.50. Modelos estructurales de las viviendas estudiadas.

En relación con los efectos de interacción suelo-estructura (ISE), en un estudio previo realizado por Escobar *et al.* (2000) se pudo observar que los valores de las frecuencias de vibración calculadas con los modelos de viviendas rurales típicas, sin incluir los efectos ISE, fueron muy similares a los obtenidos de las pruebas de las viviendas sometidas a los efectos de explosiones subterráneas y de vibración ambiental en el estado de

Tabasco. Esto es, el efecto ISE no es representativo para el tipo de suelo de la zona, por lo que no se incluyó en el presente estudio.

#### 4.8.1. Frecuencias de vibración de las viviendas

Las frecuencias de vibración obtenidas de los modelos de elementos finitos de cada una de las viviendas medidas se calibraron con las registradas mediante las pruebas de vibración ambiental. Esto es, los resultados analíticos se compararon con los obtenidos a partir de pruebas experimentales de vibración ambiental.

En la Tabla 4.13, se presenta la frecuencia fundamental de vibración calculada, de las viviendas presentadas en la Tabla 4.11. Se puede observar que estos valores son muy similares a los obtenidos en las mediciones de las pruebas de campo (ver Tabla 4.12). Por lo tanto, desde un punto de vista práctico, los modelos matemáticos de las viviendas sí son representativos del comportamiento estructural de las viviendas reales.

Tabla 4.13. Frecuencias de vibración fundamental calculadas, de las viviendas instrumentadas.

Vivienda	Frecuencia (Hz)	
	Transversal	Longitudinal
V1	4.638	5.837
V2	5.308	4.781
V3	5.127	4.62
V4	5.618	4.824
V5	3.669	2.953
V6	3.721	4.378

Los resultados de la pruebas de vibración ambiental de las viviendas visitadas, fueron utilizados para establecer los parámetros de calibración en los modelos numéricos de las viviendas estudiadas y una vez que los modelos lograron reproducir las frecuencias de vibrar medidas, para determinar el origen de las grietas y los daños que presentan, se les aplicaron los registros de aceleración de las explosiones realizadas por Pemex.

#### 4.8.2. Respuesta estructural de las viviendas ante registros de explosiones

La respuesta estructural de las viviendas susceptibles a las explosiones subterráneas repetidas, fue calculada al someter a los modelos matemáticos calibrados a los registros de las explosiones en el subsuelo sobre el que se encuentran construidas. Como ejemplo, en la Fig. 4.51 se presenta el registro de aceleraciones que fue utilizado para someter al modelo de la vivienda V1. Con el objetivo de estudiar el efecto de explosiones repetidas sobre las viviendas, estos registros corresponden a varias detonaciones.

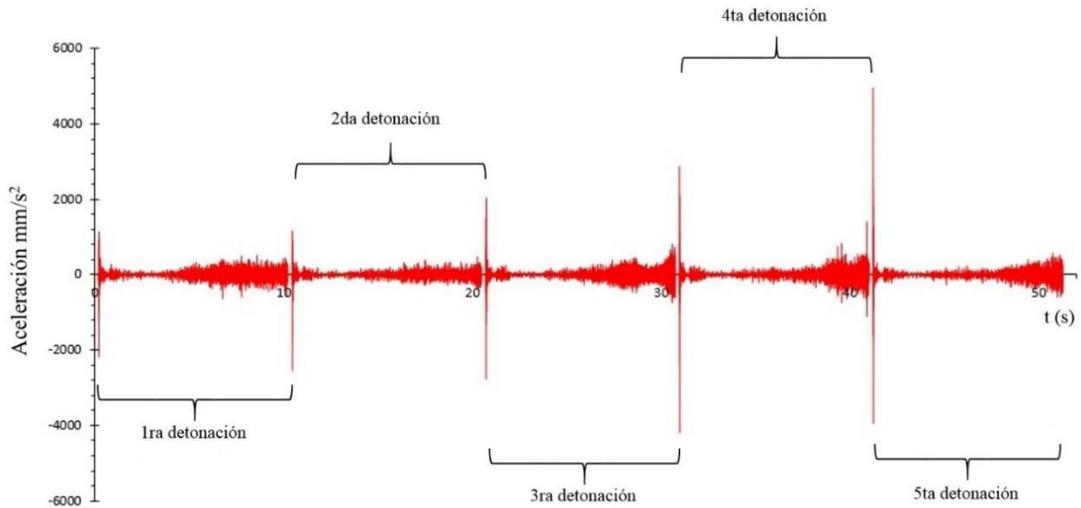


Figura 4.51. Historia de aceleraciones del suelo a las que se sometió el modelo de la vivienda V1.

Para analizar los efectos más desfavorables que pueden producir las detonaciones repetidas sobre las viviendas estudiadas, se aplicaron los registros de aceleraciones en las direcciones longitudinal y transversal de las mismas. En la Fig. 4.52 se presentan las respuestas máximas de las viviendas V1 y V4, al ser sometidas al registro de aceleraciones en dirección transversal.

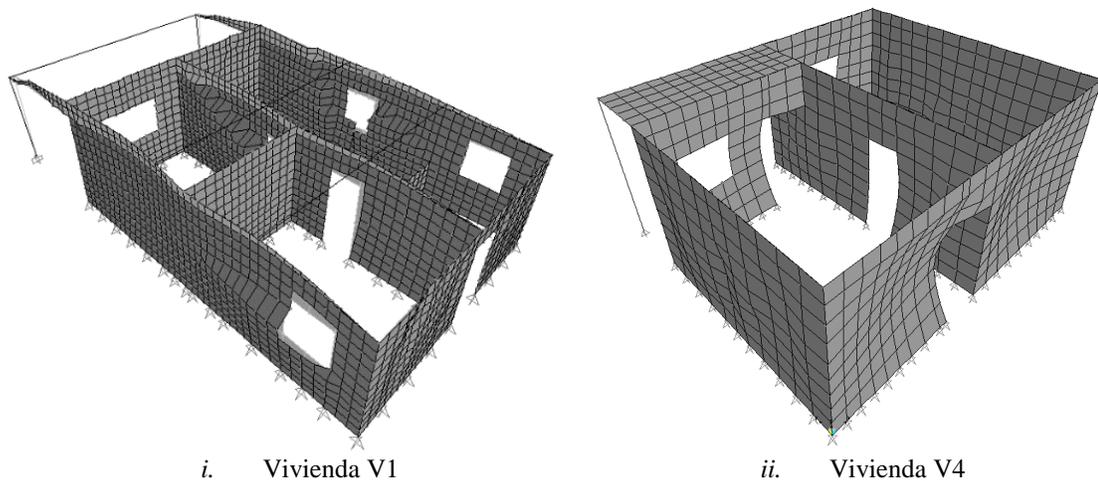


Figura 4.52. Respuesta máxima de las viviendas V1 y V4 al someterse a detonaciones repetidas en dirección transversal (Cecilio *et al.*, 2015).

En la Fig. 4.53, se presenta la historia de desplazamientos de la vivienda V1, al ser sometida al registro de detonaciones repetidas en las direcciones transversal y longitudinal.

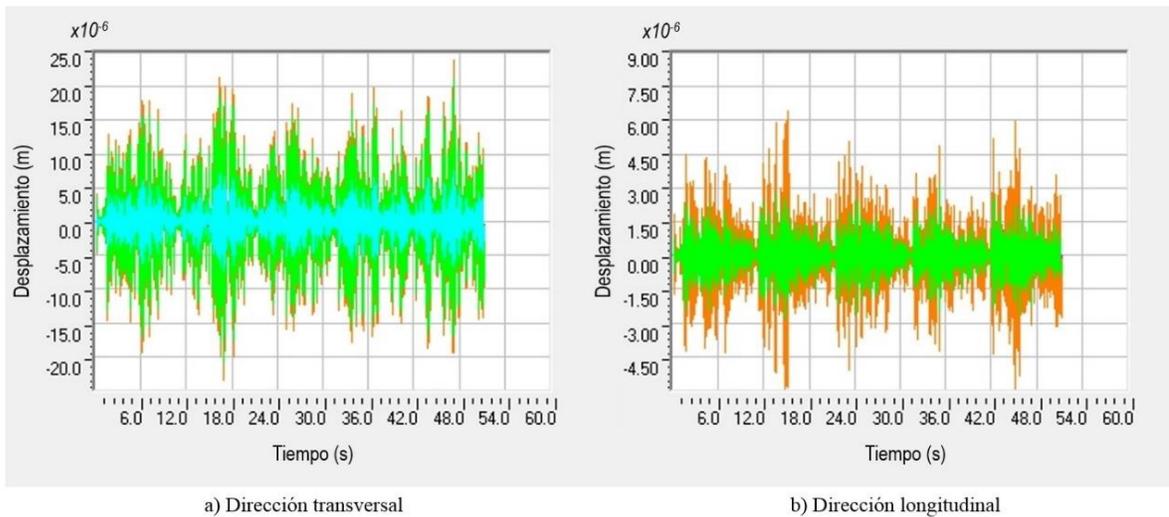


Figura 4.53. Historia de desplazamientos de la vivienda V1 debido a los registros de las detonaciones repetidas en las direcciones transversal y longitudinal.

Para caracterizar la respuesta estructural de las viviendas analizadas, se utilizó el desplazamiento relativo de entrepiso ( $\varphi$ ), descrito en la sección 2.6 de esta tesis. Este índice ( $\varphi$ ) es el más empleado para cuantificar la respuesta de estructuras de edificios, para estudiar el comportamiento de diferentes sistemas estructurales y para estimar el grado de daño que puede presentarse, tanto en la estructura misma como en los elementos no estructurales (Bazán y Meli, 2002).

En sistemas estructurales sometidos a cargas laterales como las producidas por movimientos del suelo (sismos o explosiones subterráneas), es importante controlar su distorsión de entrepiso porque, al conocer su valor, es posible limitar el daño tanto en elementos estructurales como no estructurales. Adicionalmente, a través del tiempo se han realizado estudios que relacionan el daño de una estructura con su distorsión de entrepiso. Tal es el caso de las estructuras de mampostería, en donde se considera que el valor de la distorsión que inicia el daño en muros es aquél que causa la primera grieta diagonal (Hernández y Meli, 1976).

En la Tabla 4.14, se presentan las distorsiones máximas y mínimas de entrepiso calculadas con los modelos calibrados con las pruebas de vibración ambiental de las viviendas instrumentadas, al ser sometidas a los registros de las explosiones repetidas en el suelo sobre el que se encuentran construidas.

De la Tabla 4.14, se puede observar que los valores calculados de las distorsiones de entrepiso de los muros, de todas las casas estudiadas, son inferiores a los valores máximos de la Tabla 2.1, referida en la sección 2.6 de este trabajo.

Tabla 4.14. Distorsión de entrepiso calculada para las viviendas del estudio, sometidas a los registros de las explosiones en el suelo sobre el que se encuentran construidas.

Vivienda	Distorsión de entrepiso calculada (m/m)			
	Longitudinal		Transversal	
	máximo	mínimo	máximo	mínimo
V1	-9.30E-06	9.60E-06	-2.40E-06	2.60E-06
V2	-9.90E-07	9.70E-07	-1.20E-06	1.30E-06
V3	-2.20E-06	2.10E-06	-1.20E-06	1.20E-06
V4	-2.20E-05	2.10E-05	-5.60E-06	5.20E-06
V5	-2.20E-06	2.00E-06	-1.20E-06	1.20E-06
V6	-8.10E-06	8.30E-06	-4.10E-06	4.70E-06

#### 4.9. ANÁLISIS INELÁSTICO DE LAS VIVIENDAS DEL ESTUDIO

En el trabajo se elaboraron modelos de elementos finitos con ayuda del programa SAP2000. Asimismo, se obtuvieron modelos matemáticos para evaluar el comportamiento inelástico de las viviendas presentadas en la Tabla 4.11. Para ello, se utilizó el programa de computadora CANNY-2010 (Kan-Ning, 2009), descrito en la sección 3.2.2 de esta tesis. Para generar los modelos de las estructuras con el programa CANNY-2010, se utilizaron los criterios utilizados en los modelos de elementos finitos.

En la Fig. 4.54 se presenta la calibración del modelo de histéresis y la vista tridimensional del modelo inelástico realizado con el programa CANNY-2010 de la vivienda V4.

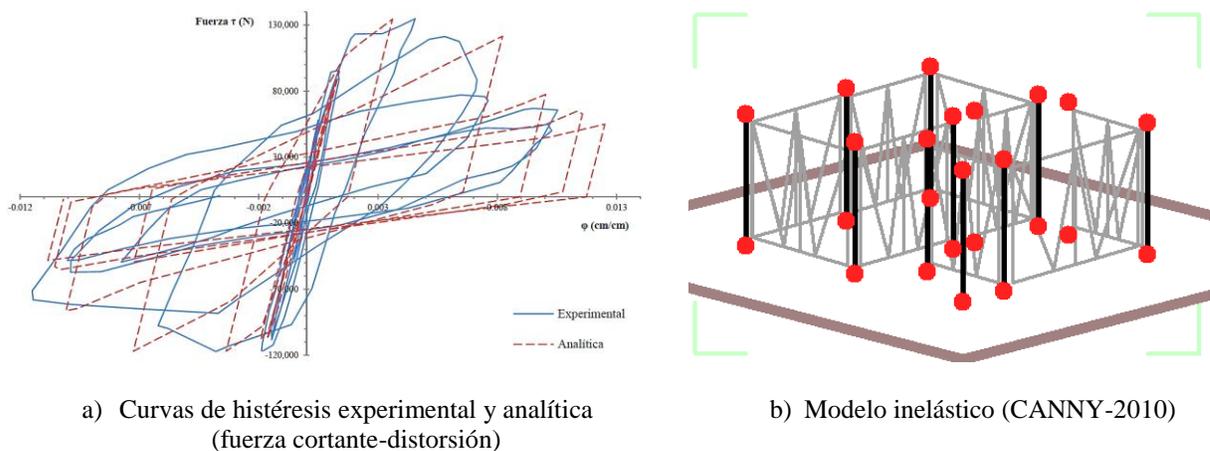


Figura 4.54. Modelo de histéresis de la mampostería y modelo estructural inelástico de la vivienda V4 (Cecilio *et al.*, 2015).

Derivado del modelo inelástico, se obtuvo la historia de distorsiones de entrepiso de las viviendas estudiadas (Tabla 4.11). Como ejemplo, en la Fig. 4.55 se muestran las historias de distorsiones de entrepiso obtenidas del modelo inelástico de la vivienda V4, para las direcciones X y Y.

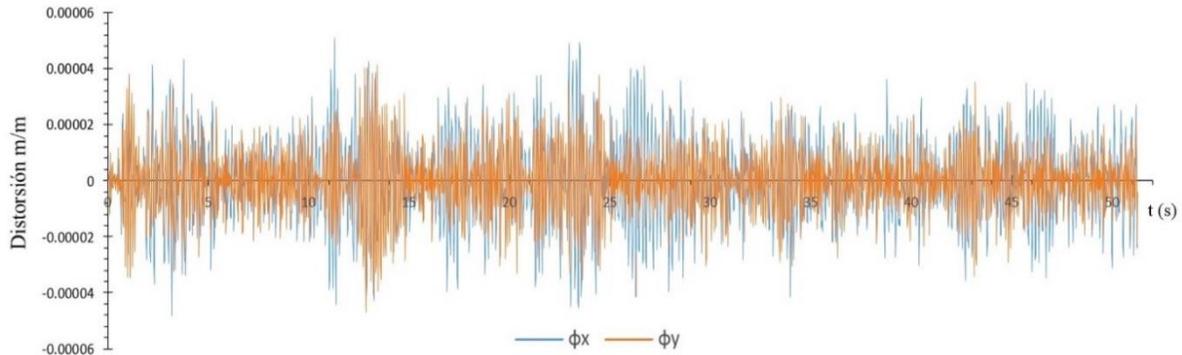


Figura 4.55. Historia de distorsiones de entrepiso de la vivienda V4 (Cecilio *et al.*, 2015).

De la Fig. 4.55 se puede apreciar que las distorsiones de entrepiso son inferiores a los valores máximos estipulados en la Tabla 2.1 y que el comportamiento local de todos los muros de las viviendas se mantuvo dentro su intervalo elástico.

#### 4.10. ANÁLISIS EN DOS ESCENARIOS DESFAVORABLES

Después de efectuar el análisis inelástico de las viviendas en estudio, se pudo observar que las distorsiones de entrepiso calculadas no exceden los valores permisibles que pudieran indicar que presentan daño estructural debido a los efectos de las explosiones repetidas. Asimismo, se encontró que el comportamiento de los muros de las viviendas analizadas se mantiene en su intervalo elástico para las condiciones que provocan las aceleraciones del suelo.

En el presente análisis, el estudio parte del estado en el que la vivienda ya ha sido sometida a los efectos de las explosiones subterráneas. Esto es, se efectúa un análisis para un modelo en el que el efecto de explosiones repetidas podría representar daño hacia la vivienda. Para ello, se estudian dos escenarios:

1. Acumulación de explosiones: se considera que la estructura es sometida a nuevas cargas antes de que recupere su estado; para este caso, se realiza un análisis no lineal acumulando hasta 4 veces la misma historia de explosiones.
2. Degradación de propiedades: se considera una reducción de rigideces de hasta el 50% debido al daño. Se efectúa un análisis lineal modificando las rigideces de los elementos estructurales, simulando daño en aquellos afectados por las explosiones.

El modelo consideró las características de una vivienda típica de la región de estudio y se representa como M2. La vivienda, está conformada por una terraza con un pretil de 50 cm de altura. El sistema de techo consiste en losa de concreto reforzado de 10 cm de espesor aproximadamente y está soportado por castillos

de concreto reforzado. Su estructuración consiste en muros de carga de mampostería de bloques huecos de mortero cemento-arena, aparentemente, confinados con dalas y castillos de concreto reforzados. La vivienda y la planta, se presentan en la Fig. 4.56.



Figura 4.56. Vivienda estudiada para generación de modelo M2.

#### 4.10.1. Modelación de la vivienda (M2)

El módulo de elasticidad de la mampostería de bloques huecos de mortero cemento-arena con 12 cm de espesor ( $f^*m = 40 \text{ kg/cm}^2$ ) se estimó de acuerdo a las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de edificaciones de mampostería y corresponde a:

$$E_m = 350 f^*m = 350 (40 \text{ kg/cm}^2) = 14,000 \text{ kg/cm}^2$$

El módulo de elasticidad del concreto asumiendo concreto mezclado en sitio y suponiendo un  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  corresponde a:

$$E_c = 8000 \sqrt{f'c} = 8000 \sqrt{200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 114,000 \text{ kg/cm}^2$$

El cálculo de la respuesta estructural de la vivienda estudiada (Fig. 4.56) se efectuó con un modelo matemático denominado M2 y se realizó un análisis elástico con el programa de computadora SAP2000 (CSI, 2005). Para ello, se consideraron a todos los elementos estructurales que participan tanto en rigidez

## ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS AFECTACIONES

como en masa y se incluyeron los muros de mampostería. Para la modelación de los muros, se consideraron elementos tipo área y, para los castillos y dalas elementos tipo barra (sección 2.5 de esta tesis). En la Fig. 4.57, se muestra la perspectiva tridimensional del modelo estructural M2 de la vivienda estudiada.

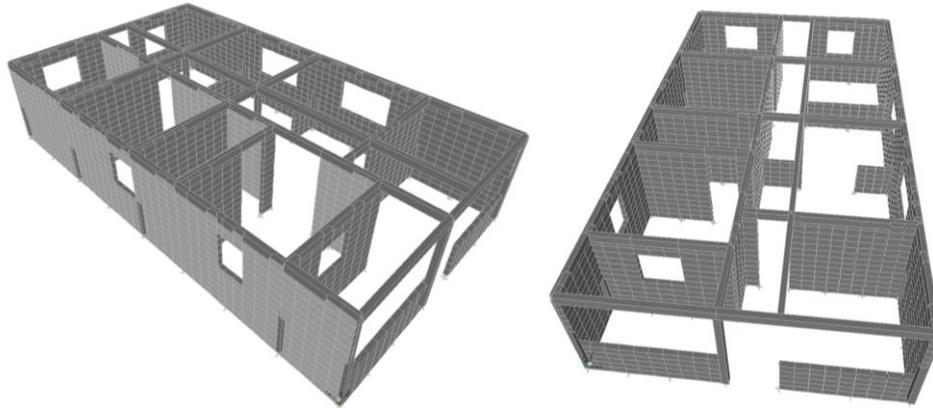


Figura 4.57. Perspectivas del modelo estructural M2.

De acuerdo con la información registrada en campo, en la Fig. 4.58 se presentan las historias de aceleración utilizadas. Y, en la Fig. 4.59 se presenta la respuesta estructural del modelo M2 correspondiente, se muestra la deformación máxima debida a los efectos de explosiones subterráneas.

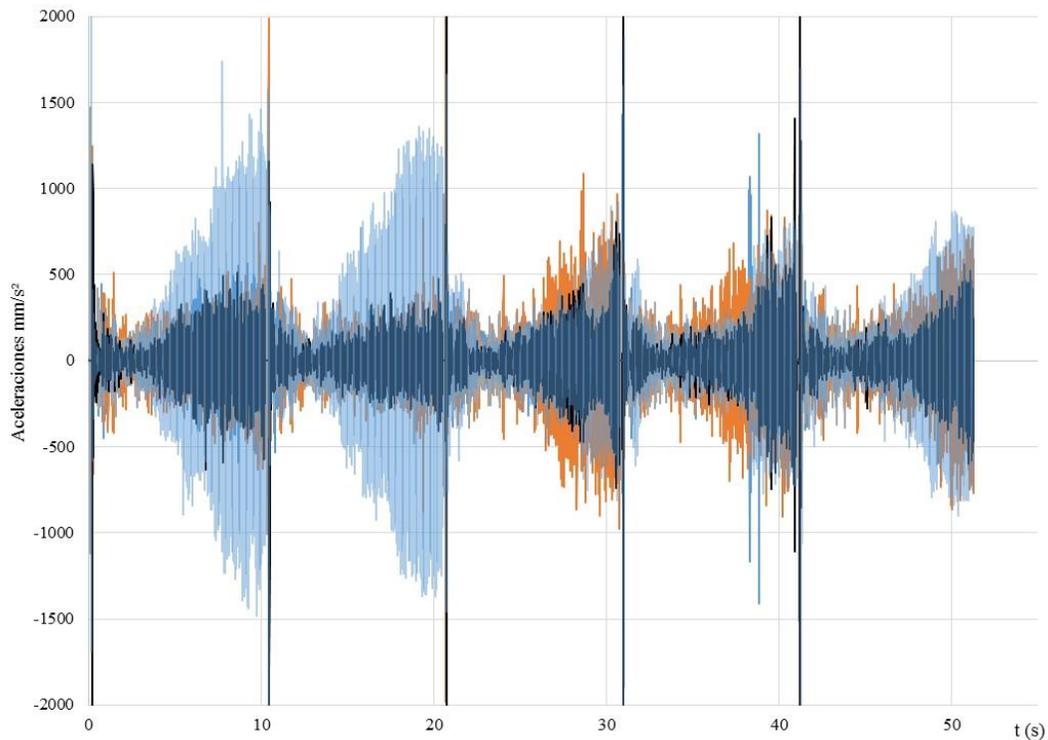


Figura 4.58. Historias registradas de explosiones.

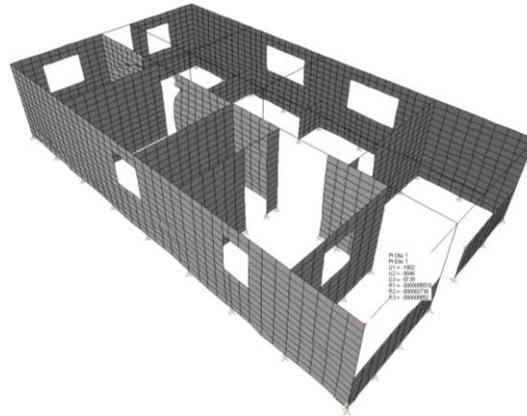


Figura 4.59. Respuesta del modelo M2 (representación de la deformación máxima debida a explosiones subterráneas).

Por otro lado, en la Fig. 4.60 se presentan los desplazamientos laterales y las distorsiones resultantes del análisis. La línea roja, representa el valor de las distorsiones máximas permisibles.

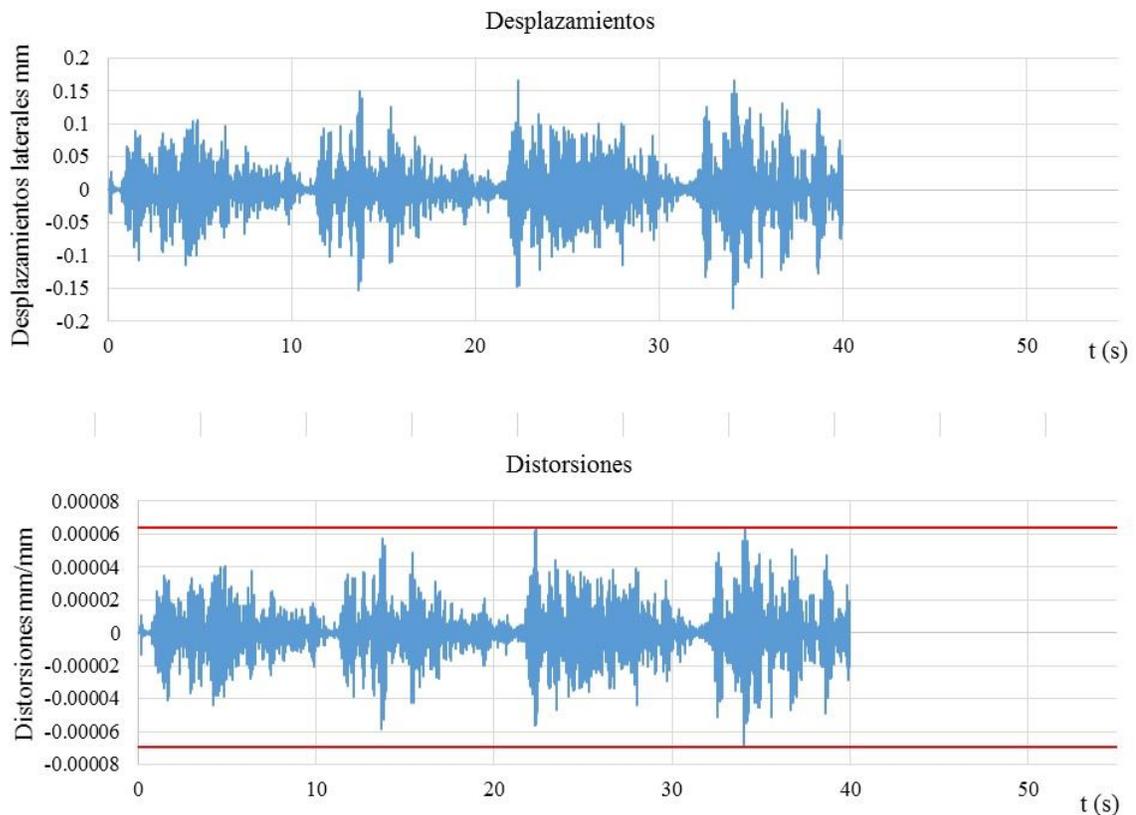


Figura 4.60. Respuestas de la estructura ante las explosiones en desplazamiento y distorsión.

Se puede observar que las distorsiones máximas, se encuentran cercanas a  $6 \times 10^{-5}$  mm/mm, es decir, se aproximan al 1% de las permisibles, por lo que las explosiones no causan efectos de daño.

#### 4.10.2. Análisis por daño acumulado

En el modelo M2, se efectúa un análisis no lineal de cuatro pasos iniciando cada paso con los desplazamientos que le deja el anterior, es decir con acumulación de desplazamientos. En la Fig. 4.61 se muestra la respuesta de éste análisis.

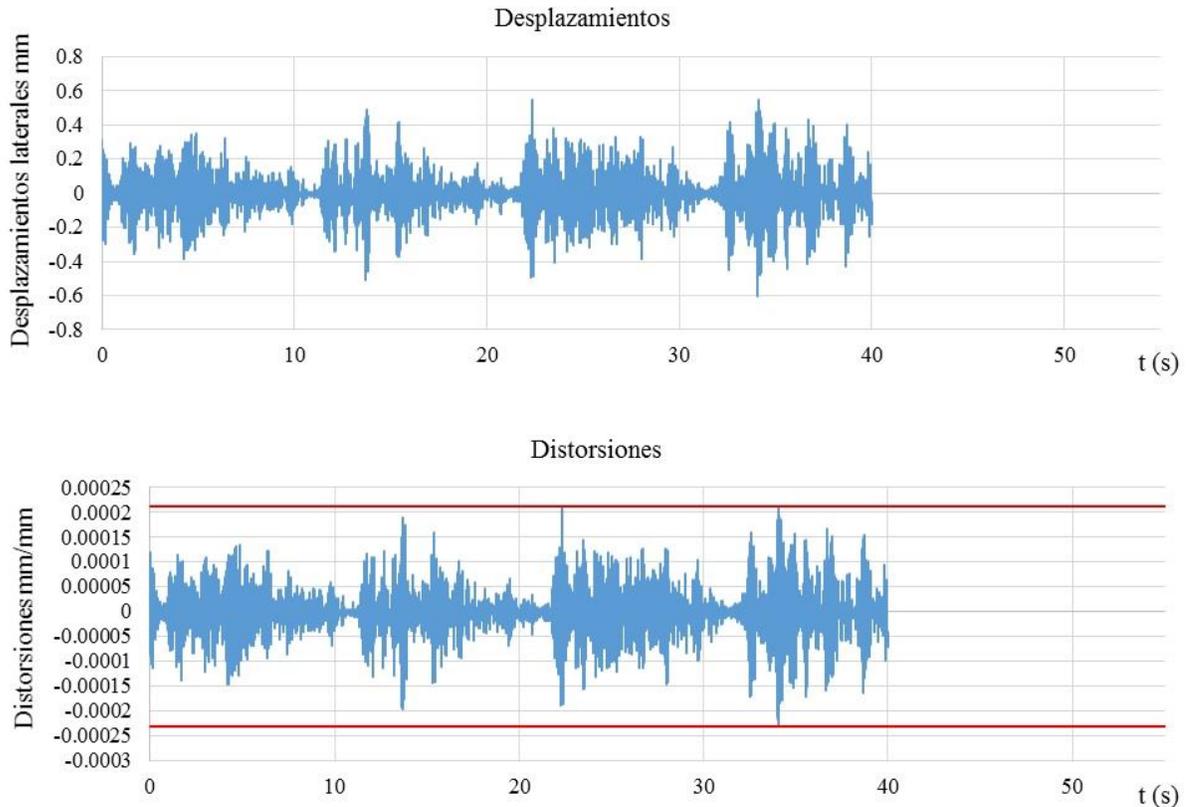


Figura 4.61. Respuesta de la estructura ante la acumulación de daño debida a 4 explosiones.

De la Fig. 4.61 se puede apreciar que con este análisis las distorsiones aumentan a  $2 \times 10^{-4}$  mm/mm, lo que representa el 3% de las distorsiones permisibles.

#### 4.10.3. Análisis por degradación de propiedades

Para efectuar el análisis por degradación de propiedades, se elaboró un modelo lineal y se modificaron las rigideces de sus elementos, simulando daño en aquellos afectados por las explosiones. Esto es, se supuso que ya existía daño en un 50% de la estructura, que para fines prácticos, ya presenta daño considerable. Cabe aclarar que no se consideraron efectos tales como hundimientos diferenciales o modificaciones estructurales (que podrían dar más flexibilidad a la estructura), ya que no se tiene certeza de la ocurrencia de éstos en las viviendas analizadas. Es decir, no se tiene conocimiento de asentamientos diferenciales o

modificaciones en las estructuras y para realizar ese tipo de análisis se requerirían suposiciones que ingresarían dentro de las incertidumbres. La respuesta a dicho escenario, se muestra en la Fig. 4.62.

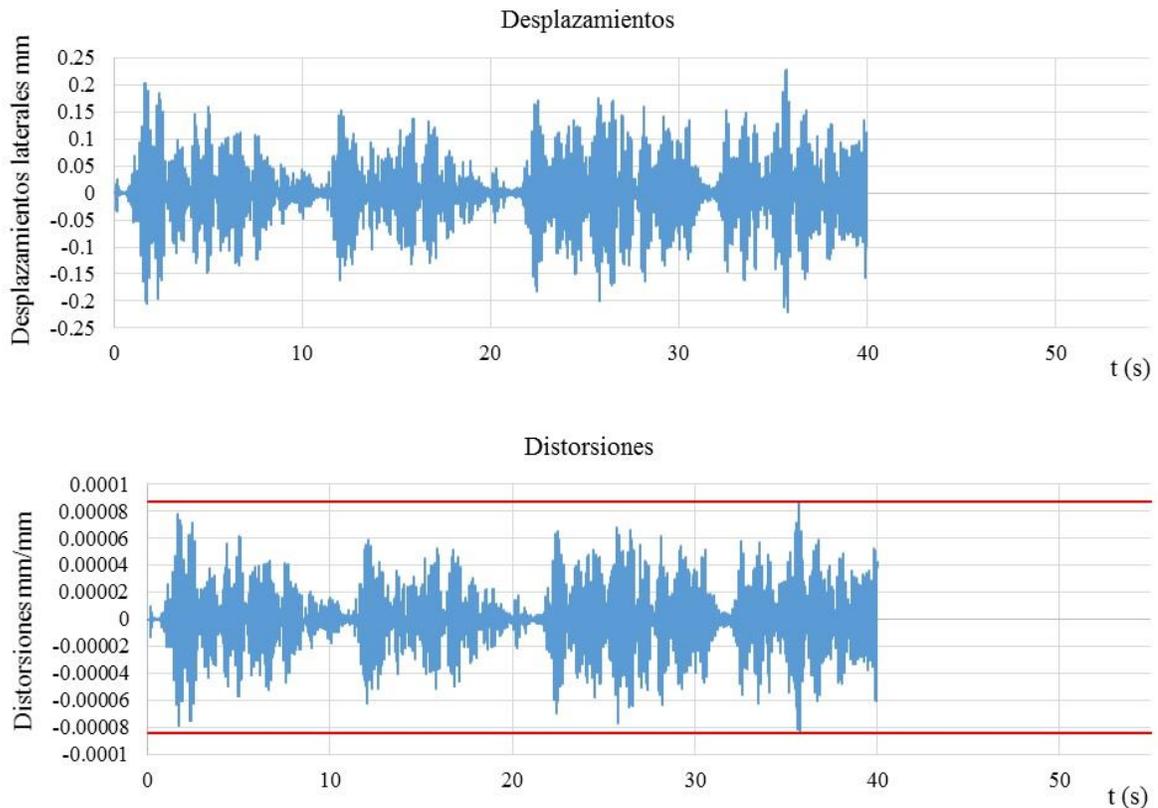


Figura 4.62. Respuesta de la estructura por reducción de rigideces.

Se puede observar que las respuestas respecto a las distorsiones máximas llegan a  $8 \times 10^{-5}$  mm/mm, es decir, representa el 1.3% con respecto al valor inicial. Por lo que la estructura se mantiene sin daño adicional.

Lo que se deduce de los análisis efectuados, tanto por acumulación de explosiones como por degradación de propiedades, es que las viviendas desplantadas en la región de estudio no se ven afectadas de manera relevante por los estudios geofísicos, específicamente por los estudios a base de detonaciones con explosiones subterráneas, ya que en ningún caso se superó el límite máximo permisible. A esta conclusión se llega aun cuando se estudiaron casos atípicos, considerando los “peores escenarios”, es decir, cuando las estructuras se someten a las situaciones más desfavorables.

Por lo tanto, no existe un sustento técnico que indique que las reclamaciones efectuadas por parte de los habitantes presuntamente afectados corresponden a daño producto de las explosiones repetidas. En ese caso sus afectaciones tendrían que más bien ser evaluadas con respecto a las técnicas de construcción utilizadas.

#### 4.11. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE LAS VIVIENDAS DEL ESTUDIO

Las conclusiones referentes al estudio de la estimación del impacto hacia las viviendas rurales por detonaciones en procesos de exploración petrolera, ubicadas en la zona denominada *Herradura Norte 3D Ampliación*, en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco, son las siguientes:

1. Fue posible elaborar mapas de microzonificación sísmica de 24 poblaciones localizadas dentro del polígono *Herradura Norte 3D Ampliación*, en las que nueve resultaron con un sector o zona dentro de su área urbana con *efectos de sitio* asociado a las viviendas de uno y dos pisos, lo que representa una posible mayor afectación hacia los habitantes de las poblaciones, pues la mayoría de los individuos asentados en dicha región, edifican sus viviendas de esa manera.
2. De acuerdo con la carta geológica de la región, la zona de estudio se encuentra ubicada sobre unos depósitos fluvio-lacustres recientes, confirmados por pozos geotécnicos localizados en esta región (Muria *et al.*, 2003).
3. Se analizaron las características de los registros de las explosiones que se realizaron previamente frente a las zonas con mayor vulnerabilidad para las viviendas de uno y dos pisos. El objetivo fue determinar los valores de la *velocidad de partícula* máxima de estos registros y graficarlos contra la frecuencia asociada y su atenuación con la distancia (gráficas solicitadas por la norma NOM-026-SESH-2007). Las dos gráficas derivadas para las 8 poblaciones analizadas presentaron las siguientes características:
  - a. Se pudo apreciar que una gran parte de la *velocidad de partícula* de las poblaciones coinciden con el intervalo del modo de vibrar de las viviendas de un nivel, lo que indica que la energía provocada por las explosiones cercanas a la *zona 3* puede perturbar a dichas viviendas.
  - b. Se encontró que la velocidad de partícula provocada por las explosiones efectuadas frente a las viviendas ubicadas en la *zona 3*, se mantiene en la mayoría de los registros o sismogramas entre los 3 y 9 mm/s, hasta una distancia de 435 m. Lo que difiere a lo que señala la norma, al indicar que la energía se pierde a una distancia de 120 m., lo cual pudiera referirse a suelos firmes o duros.
  - c. Se detectó que no deben considerarse distancias mínimas de seguridad como parámetro fijo, pues dependen de la estratigrafía de los depósitos superficiales particulares de cada región del país.
4. Fue posible analizar el comportamiento estructural de las viviendas de la región cuando son sometidas a explosiones subterráneas repetidas, con base en los resultados de mediciones efectuadas en campo (viviendas inspeccionadas) y con los modelos matemáticos efectuados. En general, la calidad de la construcción de prácticamente todas las viviendas visitadas es deficiente.

5. Se pudo observar que algunas de las viviendas han sufrido modificaciones (eliminación o adición de elementos), que no se ligaron adecuadamente a la construcción original. Lo que ocasiona agrietamientos debido a los desplazamientos diferenciales entre la estructura original y la nueva.
6. Se detectaron diversos patrones de agrietamiento observados en muros y pisos que sugieren haberse producido debido a hundimientos diferenciales de las viviendas construidas sobre rellenos o sobre cimentaciones muy superficiales. Estos problemas podrían estar relacionados con la expansión por humedecimiento de las arcillas del subsuelo o con hundimientos de las mismas.
7. Las distorsiones de entrepiso, calculadas para los modelos estructurales calibrados a partir de las pruebas de vibración de las viviendas instrumentadas, no exceden los valores permisibles que pudieran indicar que estas se dañan debido a los efectos de las explosiones subterráneas.
8. De acuerdo con los resultados de los modelos inelásticos, el comportamiento de los muros de las viviendas analizadas se mantiene en su intervalo elástico para las condiciones que provocan las aceleraciones del suelo debido a las explosiones subterráneas.
9. A excepción de las casas V3 y V4 que requieren ser rehabilitadas y/o en su caso, impermeabilizar sus losas, en general, a pesar del daño observado, desde el punto de vista de los estados límite de falla, el estado físico de las viviendas no parece poner en riesgo su seguridad estructural, ni la seguridad de las personas que las habitan. Sin embargo, dicho nivel de daño no está cumpliendo las condiciones de servicio y, en consecuencia, crea inquietud e incomodidad a sus habitantes.
10. Aunque las estructuras sean sometidas a situaciones desfavorables tales como acumulación de explosiones o por degradación de rigideces, estas no se ven afectadas por los estudios de prospección sísmica de reflexión profunda efectuados en la región, ya que en ningún caso se superó el límite máximo permisible. Lo que indica que no existe un sustento técnico que ampare a las reclamaciones efectuadas por parte de los habitantes presuntamente afectados.



# CAPÍTULO 5

## LA AFECTACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA SOCIAL

Los diversos efectos negativos que traen consigo los desastres perturban sustancialmente lo que se entiende por estructura social, ya que se presenta una disminución de recursos y una afectación hacia la infraestructura local existente, comprometiendo las posibilidades de crecimiento de los territorios afectados y, por consecuencia, la continuidad que necesita la conformación del *hábitat*.

Los fenómenos naturales y las afectaciones producidas por la mano del hombre hacia las personas han despertado gran interés recientemente, lo que ha fomentado la investigación en esta materia, teniendo como propósito ayudar a las poblaciones afectadas, en especial, a los habitantes de las mismas que por circunstancias sociales y económicas resultan ser los más vulnerables. En ese sentido, en un territorio vulnerable, se pueden distinguir dos tipos de vulnerabilidades:

1. La perteneciente a lo material, a lo construido (vulnerabilidad de lo edificado).
2. La vulnerabilidad que es inherente a los habitantes (vulnerabilidad social).

La primera representa una dimensión que requiere ser atendida con respecto al uso, las condiciones constructivas, la localización de las edificaciones y los problemas que presentan las estructuras al someterse a circunstancias para las que no fueron diseñadas. Este caso ya fue analizado en este trabajo de investigación (Capítulo 4). Con respecto a la segunda vulnerabilidad descrita, se consideran niveles de pobreza y exclusión, prácticas sociales, niveles de educación, forma de organización, utilización de recursos, participación ciudadana, entre otros aspectos. Cabe destacar que entre la vulnerabilidad social y de lo edificado se encuentra el espacio público, en el cual se podrá manifestar la interacción de estas vulnerabilidades, donde además se puede tomar conciencia colectiva de los diferentes efectos catastróficos que pueden ocasionar los fenómenos naturales (Acuña, 2011).

Sintetizando los aspectos mencionados, en el presente capítulo se ponen de manifiesto los resultados de dos acercamientos que se tuvieron con los habitantes de la región de estudio.

### 5.1. RECOPIACIÓN DE DATOS DE LOS HABITANTES

Una vez que se obtuvieron los indicadores de los modelos teóricos y experimentales de la investigación respecto a la vulnerabilidad de lo edificado (viviendas unifamiliares autoconstruidas), fue necesario implementar técnicas de recolección de datos con el propósito de extraer información acerca de los habitantes de la región de estudio con el fin de obtener indicadores de la vulnerabilidad social.

Los instrumentos de recolección de datos utilizados fueron la encuesta y la observación, mismos que permitieron generar resultados de aproximación reales. Así, para este proyecto de investigación fueron aplicadas dos encuestas en diferente periodo de tiempo. La primera, se denota con la clave E1 (Apéndice II). La segunda encuesta, se denota como E2 (Apéndice II) y está conformada como sigue:

1. De datos primarios: se refiere a las respuestas que pudieron ser identificadas directamente en el sitio, para después ser procesadas y analizadas.
2. De datos secundarios: se refiere a lo obtenido mediante registros numéricos que también fueron identificados en el sitio, pero que ya habían sido analizados previamente por otros investigadores.

Del primer punto, se pudo rescatar información de utilidad para diferenciar conductas y actitudes que representaron el estado de vulnerabilidad en el que se encontraban los habitantes asentados en la región de estudio al momento de realizar la encuesta. Respecto al segundo punto, con información obtenida a partir de distintos censos (INEGI, 2010 y Pueblos América, 2016), fue posible recopilar información de interés para las poblaciones que fueron clasificadas por tener mayor número de demandas respecto a los supuestos daños ocasionados a sus viviendas por Pemex, al realizar los multicitados estudios de prospección sísmica. De esa manera, en la Tabla 5.1 se presenta el listado de las poblaciones con su ubicación geográfica respectiva, el municipio al que pertenecen, el número de habitantes, el número de viviendas y el porcentaje de personas que hablan alguna lengua indígena.

De la Tabla 5.1 se puede apreciar que el mayor número de habitantes corresponde a la población C22 Lic. José María Pino Suárez, con 3034 pobladores, de los que el 49% son hombres y el 51% corresponde al sexo femenino. De igual manera, de las poblaciones analizadas, la población C22 Lic. José María Pino Suárez, perteneciente al municipio de Cárdenas, presenta el mayor número de viviendas, 664, lo cual resulta lógico. En contraste, la población que presenta el menor número de habitantes es la C32 La Trinidad, con tan solo 20 pobladores. Esta localidad, perteneciente también al municipio de Cárdenas, es, de igual forma, en la que se cuenta con un menor número de viviendas (5 casas). La disparidad entre ambos casos es notable. Sin embargo, el segundo representa un caso aislado en el municipio de Cárdenas, donde la concentración de la población se da prácticamente en tres poblados de más de dos mil habitantes. En el municipio de Huimanguillo, la mayor concentración de viviendas se observa en la población C34 Lic. Benito Juárez García, contando con 610 casas, en las que viven 2973 habitantes (1440 hombres y 1533 mujeres). En ese mismo municipio, el poblado con menos viviendas es la población C36 Ej. Cuauhtémoc y Palmira, con tan solo 14 casas, en las que habitan 64 personas. A diferencia del municipio de Cárdenas, en Huimanguillo la población se encuentra más dispersa.

Tabla 5.1. Poblaciones estudiadas.

No.	Población	Coordenadas		Municipio	Habitantes	Hombres	Mujeres	Viviendas	Lengua indígena (%)
		Latitud	Longitud						
1	C1 Benito Juárez	17.66246	-93.69985	Huimanguillo	490	230	260	118	0
2	C2 Miguel Hidalgo y Costilla	17.67130	-93.73316	Huimanguillo	290	134	156	61	0
3	C6 Manuel Sánchez Mármol	17.75577	-93.72417	Huimanguillo	512	244	268	116	0.39
4	C10 Francisco Martínez Gaytán	17.76916	-93.81305	Huimanguillo	632	296	336	131	0.32
5	C20 José M. Pino Suárez, 1ra sección	17.74746	-93.64887	Huimanguillo	507	238	269	110	0.79
6	C22 Lic. José María Pino Suárez	18.06677	-93.62472	Cárdenas	3034	1499	1535	664	0.43
7	C24 Estación Zanapa	17.72459	-93.60373	Huimanguillo	354	161	193	87	0.28
8	C25 Isidro Cortés Rueda	18.02939	-93.70523	Huimanguillo	2150	1071	1079	437	0
9	C26 General Pedro C. Colorado	18.03087	-93.65835	Huimanguillo	2277	1128	1149	479	0.18
10	C27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez	18.02134	-93.56109	Cárdenas	2182	1070	1112	487	0.05
11	C29 El Carmen	17.82983	-93.64670	Huimanguillo	126	59	67	27	0
12	C31 Ignacio Allende Chapingo	17.85097	-93.65656	Huimanguillo	119	57	62	26	0
13	C32 La Trinidad	17.85970	-93.66743	Cárdenas	20	12	8	5	0
14	C33 Miguel Alemán Valdez	17.84803	-93.61582	Huimanguillo	292	148	144	61	0
15	C34 Lic. Benito Juárez García	17.97236	-93.60261	Huimanguillo	2973	1440	1533	610	0.5
16	C35 Ej. Lic. Antonio Zamora Arrijoja	17.84333	-93.62385	Huimanguillo	221	105	116	53	0
17	C36 Ej. Cuauhtémoc y Palmira	17.87760	-93.62450	Huimanguillo	64	35	29	14	0
18	C42 Ej. Pico de oro, 3ra sección	17.96221	-93.66162	Huimanguillo	214	104	110	50	0
19	C44 San Fernando	17.98488	-93.62528	Huimanguillo	1005	492	513	211	0.1
20	C45 Pico de Oro, 4ta sección	17.99847	-93.67905	Huimanguillo	768	383	385	147	0.13
21	C48 Ej. Tierra Colorada, 2da sección	17.93090	-93.65191	Huimanguillo	243	126	117	52	0
22	C50 Ej. La Esperanza	17.92031	-93.63510	Huimanguillo	328	167	161	72	0.91
23	C52 Pico de Oro, 1ra sección	18.01966	-93.67291	Huimanguillo	957	484	473	212	0.31
24	C59 Ingenio Presidente Benito Juárez	18.00431	-93.58093	Cárdenas	2418	1178	1240	552	0.29

Con el fin de evaluar la mediana de los datos obtenidos respecto a pobladores y viviendas, se pudo observar que para el primero corresponde a 499 personas y respecto a las viviendas a 113. De igual manera, el promedio de los habitantes en las poblaciones estudiadas es de 924 personas, mientras que de casas corresponde a 199 viviendas.

En la Fig. 5.1 se presenta la distribución de la población respecto al número de mujeres y hombres que conforman a las poblaciones estudiadas. Se puede observar que en la mayoría de las poblaciones predomina ligeramente el género femenino. Lo anterior puede deberse a distintos factores (cifras de la ONU señalan que la relación numérica entre mujeres y hombres es de 101.8 a 100, respectivamente, aunque la población masculina ha registrado un incremento constante desde 1960), fenómenos como guerras, conflictos armados, riesgos laborales o migración, han ocasionado mayor diferencia poblacional entre géneros. En ese sentido, algunas naciones al norte de Asia y África muestran mayor presencia del género masculino sobre el femenino, como en China o India, donde se mantienen regulaciones legales para la procreación. Mientras tanto, en otros países como los Emiratos Árabes Unidos o Catar, se presentan desigualdades abismales con 274 hombres por cada 100 mujeres. Suramérica por su parte, presenta índices casi igualados, como el observado para México y especialmente en Brasil, donde existen 96.7 hombres por cada 100 mujeres. En cualquier caso, para los fines del presente estudio, la diferencia en el número de hombres y mujeres que se aprecia en la Fig. 5.1 no parece ser un factor de consecuencia.

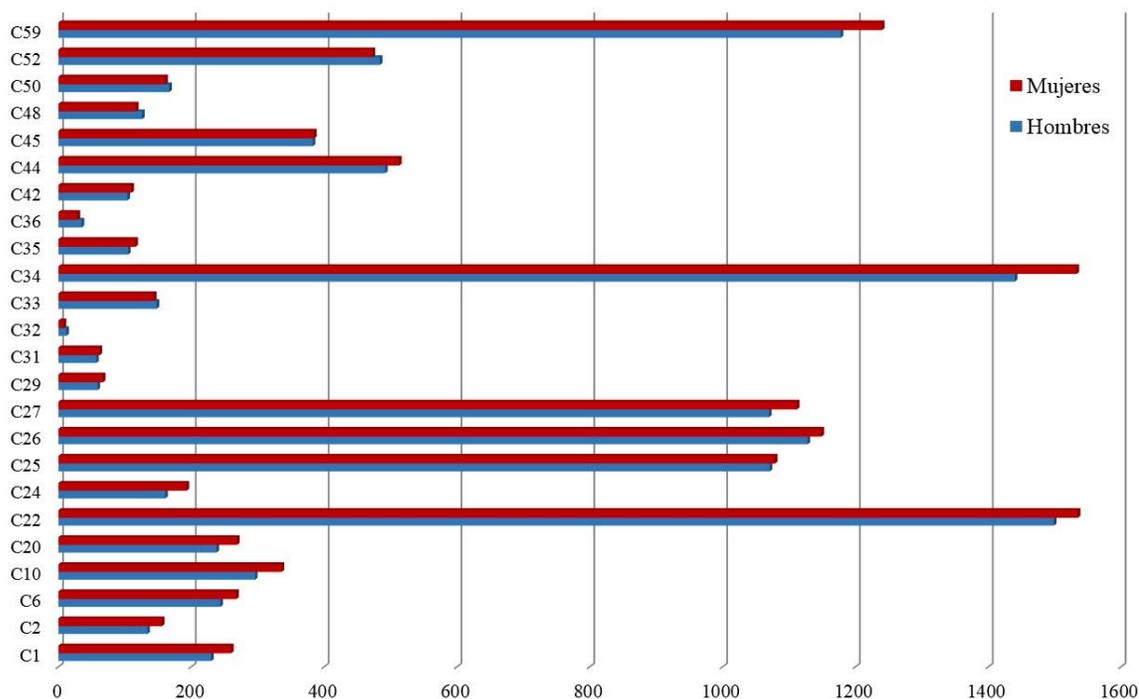


Figura 5.1. Pobladores respecto al género.

Respecto al porcentaje de personas que hablan alguna lengua indígena en las poblaciones estudiadas, la moda se establece en aquellas que no hablan alguna. No obstante, en la población C50 Ej. La Esperanza, el 0.91% de la población habla alguna lengua indígena, lo que representa un distintivo que les da identidad y que les permite comprender el mundo de una forma particular a través de la lengua con la que se comunican. Según registros del INEGI (2010), en México, 7 millones 382 mil 785 personas de 3 años en adelante hablan alguna lengua indígena, las más habladas son el Náhuatl, el Maya y el Tzeltal (esta última hablada en el estado de Tabasco).

Las entidades con mayor porcentaje de hablantes de lengua indígena son Oaxaca, Chiapas y Yucatán. De cualquier modo, es interesante hacer notar que en ninguna de las poblaciones analizadas la población que habla una lengua indígena es cuantiosa, manteniéndose en todos los casos por debajo del 1%. En diez de las poblaciones el porcentaje es cero. El factor lengua, por tanto, no es determinante en el presente estudio. Más aún, en Tabasco 60,526 personas mayores de 5 años hablan alguna lengua indígena, lo que representa 3% de la población de la entidad, que comparada con la población C50 Ej. La Esperanza, la supera más de tres veces.

Las lenguas indígenas más habladas en el estado de Tabasco se presentan en la Tabla 5.2 (INEGI, 2010). Tabasco se encuentra en la mediana respecto a las entidades del país, siendo Oaxaca la de mayor porcentaje con el 34.2% y Aguascalientes la de menor con 0.2%. Se puede observar que el país cuenta con diversidad lingüística, sin embargo, el 89.8% de la población mexicana sólo habla español.

Tabla 5.2. Lenguas indígenas más habladas en el estado de Tabasco (INEGI, 2010).

<b>Lengua indígena</b>	<b>Número de hablantes</b>
Chontal de Tabasco	37,072
Chol	13,840
Tzeltal	2,849
Tzotzil	1,379

En el presente estudio la importancia del lenguaje, en este caso español, es fundamental, ya que facilita establecer comunicación con los habitantes de las comunidades visitadas. Lo anterior permite expresar el sentir, las necesidades y dar respuesta a preguntas; lo que genera proyectos en común con otros individuos y que representa la esencia de la vida en sociedad o en conjunto.

## 5.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA CON LOS HABITANTES

En un primer acercamiento con la población, además de realizar la inspección de viviendas, fue posible aplicar un cuestionario de preguntas abiertas (Apéndice II-Encuesta E1) que permitió dar inicio a la aproximación del problema.

Los entrevistados con la encuesta E1, pertenecían a las poblaciones C26 General Pedro C. Colorado (479 viviendas), C27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez (487 viviendas), C44 San Fernando (211 viviendas) y C52 Pico de Oro, 1ra sección (212 viviendas); ubicadas en los municipios de Huimanguillo y Cárdenas. Las entrevistas fueron realizadas en noviembre de 2014. Las preguntas efectuadas (Apéndice II-Encuesta E1), fueron complementadas a través de la observación de las propias viviendas y de los poblados en general.

Fue de relevancia conocer el tiempo que los habitantes de las viviendas estudiadas tenían viviendo en la localidad. Los encuestados indicaron el tiempo de residencia en sus viviendas. En la Fig. 5.2 se presenta el gráfico en el que se indica la cantidad (en porcentaje) de personas que viven en la región con base al número de años para dos clases. Se puede observar que el tiempo mínimo de haber vivido en esa localidad, indicado por las personas encuestadas, fue de 25 años y que inclusive, un porcentaje importante de las personas encuestadas señalaron haber vivido allí desde hace más de 50 años. Partiendo de ese cuestionamiento, se pudo realizar la segunda pregunta de la encuesta E1, en la que en promedio, con base en las respuestas obtenidas, se pudo obtener que el tiempo que los habitantes consideran que la empresa Pemex tiene asentada en las inmediaciones de su población es de 30 años.

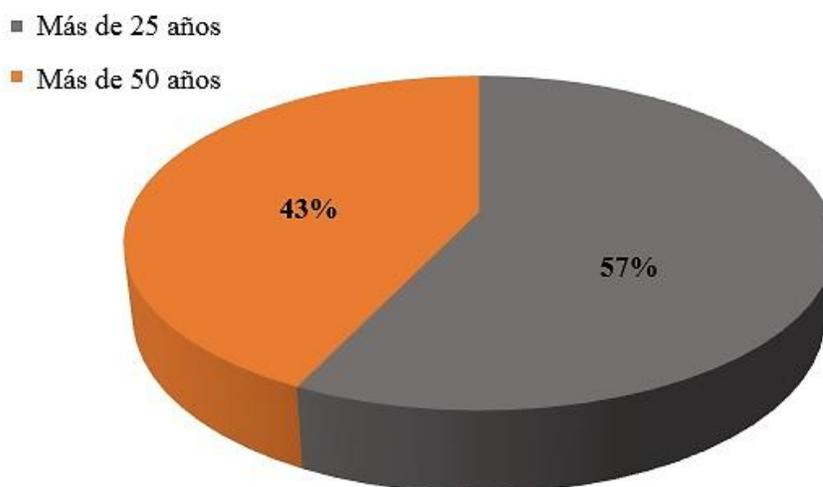


Figura 5.2. Tiempo de asentamiento de los encuestados.

Por otro lado, con el primer acercamiento hacia la población, y con base en la pregunta número tres de la encuesta E1, se pudo apreciar que ninguno de los encuestados tenía conocimiento de la existencia de algún mapa o documento que indicara la ubicación de pozos petroleros o señalamiento de los mismos. Esto que permitió reconocer la ausencia de indicaciones que pudieran reducir el riesgo a establecer asentamientos cercanos a ellos. En contraparte, el 29% de los habitantes encuestados indicaron que sí sabían de la existencia de un documento en el que se indica un tabulador por la afectación a sus edificaciones. Ellos mismos señalaron que era un documento con una antigüedad de más de 25 años que no ha sido actualizado y al cual nunca se recurre porque, según su apreciación, las promesas de reparación nunca se ejecutan. Una de las respuestas textuales fue: – *Existe promesa de reparación de daños pero no se cumple. Existe tabulador pero no está actualizado, es muy antiguo* –.

Las personas encuestadas consideran que, como es natural, sus poblaciones han ido creciendo con el paso del tiempo, pero no consideran que esto sea causado por la presencia de Pemex en la región. Es decir, la estadía de empresas como Pemex, según los pobladores, no han contribuido al crecimiento de la población, pues no ofrece beneficios hacia su economía.

Al preguntarles a los pobladores el tiempo promedio que consideran que dura una actividad petrolera efectuada por Pemex, las respuestas fueron variadas, había quienes indicaban que de uno a dos días, de uno a tres meses y de hasta dos años. Ante ese panorama, se puede apreciar que la diferencia de tiempo sugiere elaborar tabuladores acorde a la magnitud del daño, pero también con respecto a la duración de la afectación, pues un solo pago podría no cubrir afectaciones posteriores. Además, para el caso en que la actividad petrolera se prolongue por varios años, las posibles afectaciones provocadas por estudios de prospección sísmica podrían ser consecuencia de varios estudios, efectuados a lo largo del periodo mencionado. Es decir, la hipotética afectación podría resultar del efecto en serie de varias detonaciones realizadas a lo largo del tiempo. Esta hipótesis ha dado lugar al estudio presentado en el capítulo 4, en el cual, ayudado por el análisis de simulación descrito en la sección 4.12, se estudia la afectación de someter varias veces una vivienda típica a la acción de una señal vibratoria, permitiendo conocer el daño que la actividad prolongada de estudios de prospección sísmica podrían tener en la viviendas de los poblados estudiados.

La pregunta número siete de la encuesta E1, que cuestiona si se conoce la ubicación del lugar en donde se efectúan las pruebas de prospección sísmica y si la población es notificada con anticipación de la aplicación de dichas pruebas, está relacionada con la pregunta tres (conocer la existencia o ubicación de pozos petroleros), y al igual que en ella, las personas encuestadas señalaron desconocer la ubicación del posible lugar en el que próximamente se realizará exploración en busca de hidrocarburos. Es decir, no son notificadas ni existe señalamiento de los trabajos a efectuar.

## LA AFECTACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA SOCIAL

Lo anterior pone de manifiesto la poca comunicación entre Pemex y la población, lo cual es un aspecto social grave. No obstante, el 14% de los encuestados indicaron que sí existen medios que alertan a la población en caso de siniestro, pero que en muchos casos no son atendidos. De acuerdo a los resultados de esta encuesta, es necesario subsanar la falta de comunicación que existe entre la empresa que se “beneficia de la riqueza de la región” y los pobladores de la misma, ya que este silencio no hace sino incrementar el encono de los habitantes hacia Pemex, lo cual puede derivar incluso en la aparición de reclamaciones por parte de los habitantes de consecuencias que no son estrictamente responsabilidad de Pemex.

Finalmente, 86% de la población encuestada advirtió que su nivel socio-económico no ha mejorado con la presencia de Pemex y que además, en algunos casos, ha afectado otros aspectos de su vida. Una de las personas encuestadas dijo lo siguiente: – *La situación desde la llegada de Pemex no ha mejorado, los productos del campo se han dejado, la actividad petrolera acaba a la población, las casas se deterioran con las explosiones* –. Este tipo de expresiones pone de manifiesto la animadversión que algunos pobladores tienen hacia Pemex, empresa que lejos de contribuir al desarrollo de la región, aparentemente pauperiza al grueso de la población. No obstante, también hay que destacar que el 15% de las personas encuestadas, consideran que la presencia de Pemex sí los ha beneficiado, pero, curiosamente, no supieron expresar de qué manera, ni cuantificar el beneficio.

Después de analizar los resultados que generaron las primeras encuestas a la población, fue posible identificar la percepción general que los habitantes tenían del problema y de la propia empresa; sin embargo, fue necesario realizar un segundo acercamiento para identificar aspectos más puntuales que permitieran explorar los niveles de pobreza, las prácticas sociales, los niveles de educación, la forma de organización comunitaria, la participación ciudadana y principalmente, los requerimientos de la población.

Por lo anterior, durante diciembre de 2016, se aplicó un segundo cuestionario en Huimanguillo y Cárdenas (Apéndice II-Encuesta E2), en el que se obtuvieron los resultados presentados a continuación.

De las encuestas aplicadas, en la Fig. 5.3 se presenta el gráfico de la población participativa por género. Se puede observar que el 55% pertenece al género femenino y el 45% restante al masculino. Esto va acorde con lo presentado en la Fig. 5.1, aunque el resultado puede estar sesgado por factores como el punto en que se llevó a cabo la encuesta, o el factor estacional.

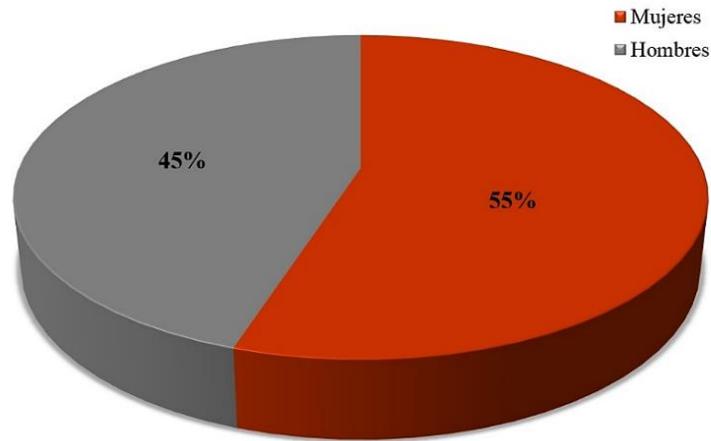


Figura 5.3. Porcentaje de población participativa por género (encuesta E2).

Por otro lado, en la Fig. 5.4, se presenta una gráfica que muestra las edades de la población que participó en la encuesta (en porcentaje), la mayoría de las personas que accedieron a participar en la encuesta eran personas maduras, que se encontraban en un intervalo de edad entre los 30 y 39 años. Asimismo, hubo una participación considerable de personas pertenecientes a las edades adyacentes (de 20 a 29 y de 40 a 49 años). Lo anterior, permitió obtener resultados más certeros respecto a la perspectiva, dado que la mayoría de ellas se encontraban en su edad más productiva. Las personas encuestadas indicaron si eran jefe o jefa de familia y el rol que ocupaban. El 35% de las personas encuestadas indicaron que sí eran jefes de familia y la relación era de padre o madre.

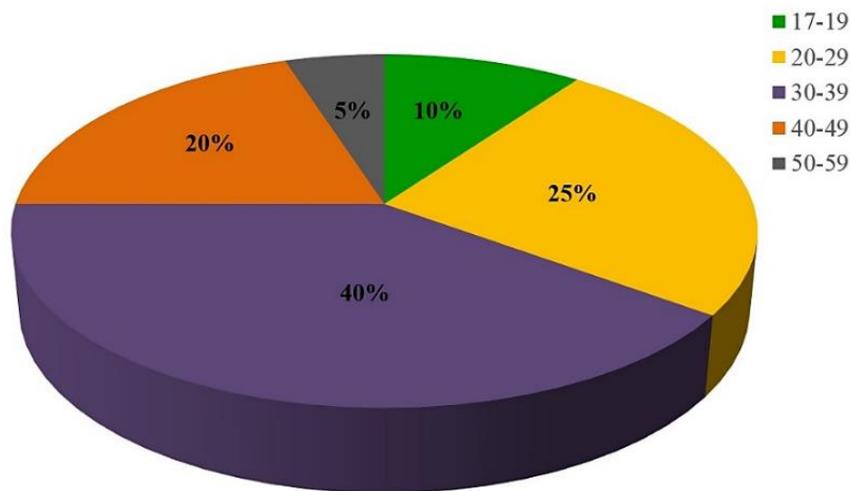


Figura 5.4. Población participativa por edad en porcentaje.

Fue de interés para el estudio conocer el número de miembros que conformaban a las familias de los encuestados, de esa manera fue posible evaluar mediante esa muestra, los grupos por edad (niños, adolescentes y adultos) en que se encontraban los posibles afectados. Las familias se encontraban

conformadas de dos a seis personas. En ellas, la mayoría estaban integradas por adultos (60%), en segundo lugar por niños (21%) y finalmente por adolescentes (19%).

Asimismo, fue de importancia conocer el nivel de escolaridad de las personas que participaron en las encuestas, ya que para este estudio podría ofrecer resultados más certeros y menos subjetivos. De esa manera, fue posible clasificar el nivel máximo de estudios que tenían (Tabla 5.3.).

Tabla 5.3. Máximo nivel de estudios de los encuestados en porcentaje.

Máximo grado de estudios	Personas (%)
N/A	20
Secundaria	10
Vocacional	30
Universidad	40
Especialidad	0
Posgrado	0

De la tabla anterior, se puede observar que la mayoría de los encuestados tenía nivel de escolaridad universitaria, media superior y de nivel vocacional o preparatoria. Según registros del INEGI (2010), en el estado de Tabasco, cinco de cada cien personas de 15 o más años de edad, no saben leer ni escribir. Y, de cada cien personas de 15 años en adelante, 4.8 no tienen ningún grado de escolaridad, 52.7 tienen la educación básica terminada, 23.5 finalizaron la educación media superior, 18.8 concluyeron la educación superior y 0.2 no está especificado.

De igual manera, según el INEGI y el CONEVAL en 2010 los principales indicadores sociodemográficos de los municipios de Huimanguillo y Cárdenas presentaron los niveles mostrados en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Principales indicadores sociodemográficos de Huimanguillo y Cárdenas (INEGI y CONEVAL, 2010).

Descripción	Cárdenas	Huimanguillo	Estado de Tabasco
Población total	248,481	179,285	2,238,603
Total de hogares y viviendas particulares habitadas	59,591	42,459	559,114
Tamaño promedio de los hogares (personas)	4.1	4.2	4
Hogares con jefatura femenina	14,604	9,351	129,184
Grado promedio de escolaridad de la población de 15 o más años	8	7.2	8.6
Total de escuelas en educación básica y media superior	474	576	5,208

Según la Tabla anterior (INEGI y CONEVAL, 2010), la población total del municipio de Cárdenas en 2010 fue de 248,481 personas, lo que representó en porcentaje con respecto al estado de Tabasco del 11.1%. Mientras que para el municipio de Huimanguillo representó el 8%. En el mismo año, para el municipio de Cárdenas habían 59,591 hogares (10.7% del total de hogares en la entidad), de los cuales 14,604 estaban encabezados por jefas de familia (11.3% del total de la entidad). Respecto a Huimanguillo, los hogares representaban en porcentaje el 7.6% del total de hogares en la entidad, de los cuales 7.2% del total de la entidad estaban encabezados por jefas de familia. El tamaño promedio de los hogares en el municipio de Cárdenas fue de 4.1 integrantes y de Huimanguillo de 4.2, mientras que en el estado de Tabasco el tamaño promedio fue de 4 integrantes. Estos promedios coinciden con lo recabado en la encuesta y da certidumbre a la misma.

El grado promedio de escolaridad de la población de 15 años o más en el municipio de Cárdenas en 2010 fue de 8 y de Huimanguillo 7.2, frente al grado promedio de escolaridad de 8.6 en la entidad. En 2010, el municipio de Cárdenas contaba con 178 escuelas preescolares (8.7% del total estatal), 200 primarias (9.4% del total) y 68 secundarias (9.2%). Además, el municipio de Cárdenas contaba con 26 bachilleratos (9.9%), dos escuelas de profesional técnico (14.3%) y 17 escuelas de formación para el trabajo (9.3%). El municipio de Huimanguillo, en 2010, contaba con 214 escuelas preescolares (10.4% del total estatal), 254 primarias (11.9% del total) y 85 secundarias (11.5%). El municipio de Huimanguillo contaba con 22 bachilleratos (8.4%), una escuela de profesional técnico (7.1%) y 11 escuelas de formación para el trabajo (6%). Ni Huimanguillo ni Cárdenas contaban con alguna escuela indígena.

Con el análisis sociodemográfico elaborado por INEGI y CONEVAL en 2010 fue posible observar que el estudio efectuado a través de las encuestas aplicadas en 2016 presenta resultados análogos que permiten evaluar de una manera certera la situación de la región del estudio. En él se pudo determinar que el 5% de las mujeres cuentan con estudios vigentes, mientras que el 50% de la población femenina no se encuentra estudiando. Por otra parte, el 20% de los hombres encuestados se encontraban realizando estudios en el momento de la entrevista, y el 25% no se encontraban realizando estudios.

Otro factor de importancia fue explorar y conocer los niveles de pobreza de la población, para ello fue necesario conocer el tipo de empleo y el salario que percibían los encuestados. De esa manera se pudo identificar que los empleos o actividades que los encuestados indicaron ejercer principalmente, son de amas de casa, estudiantes, comerciantes, vendedores, agricultores, ganaderos, administradores de sectores públicos, empleados, auxiliares, profesores y vigilantes. Asimismo, se pudo identificar que el 65% de los encuestados se encontraban laborando (ellos o algún familiar), mientras que el 25% de los encuestados señalaron que ellos o algún familiar (de 1 a 2 miembros por familia), estaban en busca de empleo.

En la Tabla 5.5, se presenta un resumen de los salarios percibidos por los encuestados por género. Se observa que sólo el 40% de los encuestados perciben un salario, en donde 25% lo reciben hombres y 15% mujeres. Tanto para hombres como mujeres, el 5% de los encuestados reciben menos de tres mil pesos mensuales y sólo el 10% de los hombres reciben de tres mil a cinco mil pesos. Por otra parte el 5% de las mujeres encuestadas perciben de siete a diez mil pesos y el 5% de los hombres reciben entre diez mil y doce mil pesos. De igual manera, en hombres y mujeres, sólo el 5% recibe más de doce mil pesos.

Tabla 5.5. Ingreso promedio mensual de los encuestados en porcentaje.

Salario promedio mensual	Género	
	Hombres (%)	Mujeres (%)
Menos de \$3,000.00	5	5
Entre \$3,000 y \$5,000.00	10	0
Entre \$5,000 y \$7,000.00	0	0
Entre \$7,000 y \$10,000.00	0	5
Entre \$10,000 y \$12,000.00	5	0
Más de \$12,000.00	5	5

Lo anterior, corrobora el estudio denominado “*Diagnóstico de Salarios y Prestaciones Estatales y Municipales*”, que se realizó del 15 de octubre al 31 de diciembre de 2015, con información de las 32 entidades del país y de 500 municipios. En dicho diagnóstico se señala que la región sureste (se incluyen a los estados de Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán), es la que tiene los salarios promedio más bajos, con un salario 24% menor al promedio nacional, que es de 10 mil 434 pesos brutos mensuales. Situación desfavorable para los pobladores, que ante ello, y con las demandas de servicios con base al crecimiento poblacional, repercute claramente en la factibilidad de construir viviendas seguras con base en normas, reglamentos y materiales adecuados.

Poco queda de “*la bonanza tabasqueña*” que durante los años ochenta atrajo a migrantes ante las oportunidades perceptibles derivadas de la llegada de empresas nacionales e internacionales que buscaban invertir gracias a las exportaciones de hidrocarburos que generaban ganancias significativas para el país. Efectivamente, al 2010 (INEGI, 2010), en el estado de Tabasco, de cada 100 migrantes internacionales, 91 se trasladan a Estados Unidos<sup>3</sup>, sin aminorar a la emigración local que se efectúa hacia la frontera con Guatemala. Debates que se han hecho presentes para los gobiernos y las organizaciones no gubernamentales buscan definir si la migración se efectúa por necesidad o por decisión propia.

<sup>3</sup> El dato a nivel nacional (INEGI Estadística/ Población, hogares y vivienda/Migración internacional/ Porcentaje de la población migrante internacional por entidad federativa expulsora según lugar de destino y sexo, 2010) es de 89 de cada 100.

Ante ese panorama, se realizó un análisis con el fin de obtener información migratoria específicamente de los municipios encuestados (Cárdenas o Huimanguillo), así como datos referentes al tiempo de vivir de los pobladores en su residencia y población actual. Para ello, se realizó una clasificación de los lugares de procedencia, de los asentamientos actuales y del tiempo (en años) que llevan viviendo en el domicilio actual más recurrente. De esa manera, en la Fig. 5.5 se presenta la información de dicha clasificación.

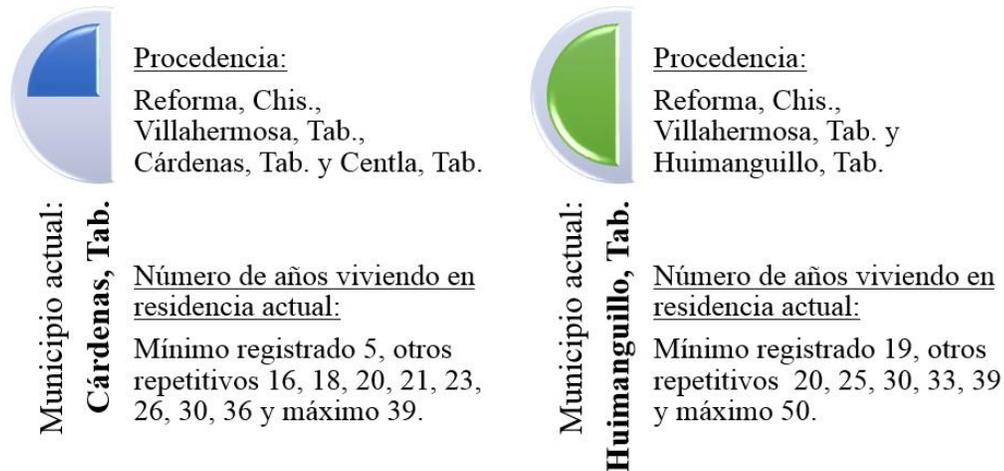


Figura 5.5. Clasificación migratoria.

Después de realizar la clasificación presentada en la Fig. 5.5, fue posible obtener el promedio en años de los habitantes encuestados que han permanecido en su residencia actual, dicho promedio corresponde a 26 años, lo que les permite tener una mayor comprensión de los problemas que pudieran suscitarse o de las necesidades que se tienen. Cabe destacar que de acuerdo al INEGI (2010), en el estado de Tabasco de cada cien personas, 21 provienen de Chiapas, 18 de Veracruz, 10 de Quintana Roo, 9 de Campeche y 8 del Distrito Federal. Lo que corrobora la información recopilada y presentada en la Fig. 5.5 anteriormente presentada.

Posteriormente, el cuestionario aplicado (E2) tuvo como propósito identificar las prácticas sociales, la forma de organización comunitaria, la participación ciudadana y principalmente, los requerimientos de la población. Para ello, primeramente, se buscó determinar los problemas sociales presentes (sección 4 de la Encuesta E2, Apéndice II). Por lo que se les solicitó a los encuestados indicar de 1 a 5, qué problemas sociales se presentaban con mayor frecuencia en su población, siendo 1 el de menor frecuencia. En la Fig. 5.6 se presentan los problemas identificados y su frecuencia.

De la Fig. 5.6., se puede observar que el desempleo fue señalado como un grave problema de afectación social, al que le sigue la falta de servicios públicos y el abuso hacia la mujer.

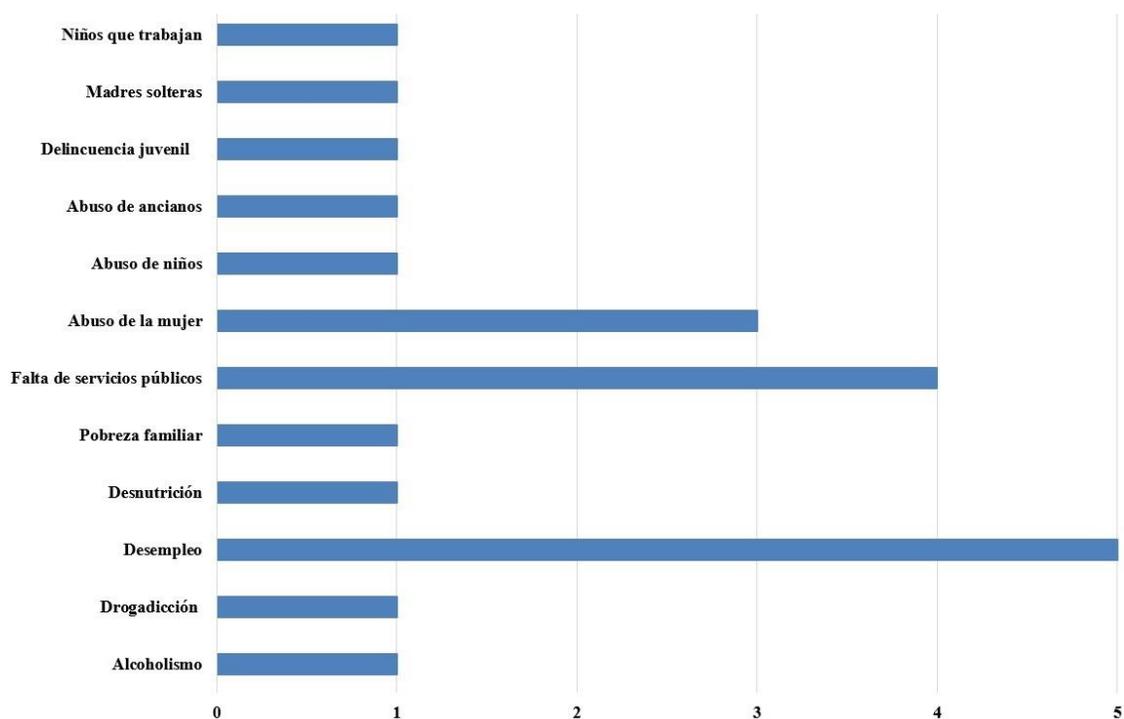


Figura 5.6. Problemas sociales identificados.

Los resultados de la encuesta coinciden con aquellos obtenidos por el INEGI correspondientes a mayo de 2016 en el que se señala que el desempleo en Tabasco llegó a 7.4% de su población económicamente activa (PEA), manteniéndose en primer lugar nacional y superando la media nacional de 4.4%; esto es, Tabasco se ubicó en primer sitio superando a la ciudad de México, que registró una tasa de desocupación (TD) de 5.2%, seguido por el Estado de México con 5.1% y Querétaro con 4.6%. Inclusive, Tabasco se situó muy por encima de Campeche, entidad también afectada por el desempleo derivado de la “crisis petrolera”, que registró una TD de 3.3% (Oro negro, 2016). Aunado a lo anterior, están presentes las adicciones, la explotación hacia menores, la delincuencia y la falta de servicios públicos. Estos últimos se han convertido en un problema de interés social no sólo para los municipios estudiados, sino para el estado de Tabasco, en donde la mayoría de las personas encuestadas indicaron que requieren seguridad, vigilancia, transporte público, agua potable y drenaje. En ambos municipios (Cárdenas y Huimanguillo), la población encuestada expresó la necesidad de contar con sistemas de drenaje, indicando que – *el drenaje hace mucha falta, pues llevamos más de 50 años sin ese servicio* –. Señalaron que deben recurrir a fosas sépticas que a la larga pierden funcionalidad al desbordarse y al originar charcos de agua en sus terrenos y viviendas, lo que a su vez repercute en su salud.

Cabe destacar que la ausencia del sistema de drenaje, no es la única carencia en cuanto a servicios públicos, pues algunos de los encuestados indicaron no contar con electricidad y señalaron la evidente ausencia de pavimentación, que de existir, sólo se presenta en las avenidas principales. La respuesta del gobierno, según los encuestados, son promesas futuras, en las que, al terminar el periodo de gobierno, se desvanecen con la excusa de – *existir muchas necesidades de infraestructura básica con una administración saqueada o endeudada* –.

Actualmente, los gobiernos de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo se conforman por un presidente municipal, un síndico de hacienda, 8 regidores de mayoría relativa y 3 regidores de representación proporcional, en donde las comisiones principales se denotan en las Tablas 5.6 y 5.7, respectivamente.

Tabla 5.6. Principales comisiones del municipio de Cárdenas (H. Ayuntamiento, 2015).

<b>Principales comisiones del Ayuntamiento</b>	<b>Responsable</b>
Comisión de gobierno y seguridad pública	1° regidor
Comisión de hacienda	2° regidor
Comisión de desarrollo	5° regidor
Comisión de obras públicas	4° regidor
Comisión de educación	10° regidor
Comisión de programación	8° regidor
Comisión de administración	7° regidor

Tabla 5.7. Principales comisiones del municipio de Huimanguillo (H. Ayuntamiento, 2015).

<b>Principales comisiones del Ayuntamiento</b>	<b>Responsable</b>
Comisión de gobierno y seguridad pública	1° regidor
Comisión de hacienda	2° regidor
Comisión de obras, asentamientos y servicios municipales	3° regidor
Comisión de educación, cultura y recreación	4°, 5° y 8° regidor
Comisión de administración	6° y 10° regidor
Comisión de desarrollo	7° y 10° regidor
Comisión de programación y presupuesto	9° regidor
Comisión de ecología y turismo	11° y 12° regidor

Asimismo, en la Tabla 5.8., se presentan las conformaciones de las autoridades auxiliares de Cárdenas y Huimanguillo y, en la Tabla 5.9., se muestran las formas de organización administrativas de acuerdo con el H. Ayuntamiento (2015).

Tabla 5.8. Conformación de las autoridades auxiliares del Ayuntamiento de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo (H. Ayuntamiento, 2015).

Denominación	Nombramiento	Número (Cárdenas)	Número (Huimanguillo)
Delegados	Por votación popular por un período de tres años pudiendo ser reelegidos	167	220
Subdelegados	Por votación popular por un período de tres años pudiendo ser reelegidos	2	214
Jefes de sector	De acuerdo a los reglamentos respectivos	0	9
Jefes de sección	De acuerdo a los reglamentos respectivos	1	0

Tabla 5.9. Organización administrativa de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo (H. Ayuntamiento, 2015).

Organización administrativa	Número (Cárdenas)	Número (Huimanguillo)
Direcciones	8	7
Subdirecciones	2	8
Departamentos	15	1
Secretaría de Ayuntamiento	1	1
Secretaría particular	1	1
Contraloría	1	1
Coordinación	2	2
Asesor	0	5
Secretaría Técnica	0	1

Las funciones de los delegados, subdelegados, jefes de sector y jefes de sección tanto para Cárdenas como para Huimanguillo son (H. Ayuntamiento, 2015):

1. Revisar acciones para el desarrollo del municipio mediante el apoyo a las actividades que realice el ayuntamiento en el ámbito territorial, así como a través de la *motivación de la población* para que participe en dichas actividades.
2. Supervisar la prestación de los servicios públicos así como proponer las medidas necesarias al presidente municipal para mejorar y ampliar dichos servicios.
3. Cuidar el orden, la seguridad y la tranquilidad de los vecinos del lugar, reportando ante los cuerpos de seguridad las acciones que requieren su intervención.
4. Vigilar el cumplimiento de las disposiciones reglamentarias que expide el ayuntamiento y reportar, ante el órgano administrativo correspondiente, las violaciones que haya a los mismos.
5. Elaborar, revisar y tener actualizado el censo de población de la demarcación correspondiente, auxiliar en todo lo que requiera el presidente municipal para el mejor cumplimiento de sus funciones; las demás que le otorguen los reglamentos respectivos.

Al analizar las funciones de las autoridades auxiliares de los municipios y rescatando la función número uno, se les preguntó a los encuestados si contaban con organizaciones destinadas a enfrentar los posibles problemas de la población en busca de soluciones viables, en donde sólo el 5% dijo que sí existían, el 40% dijo que no existían y 55% señaló no saberlo. Posteriormente se les preguntó si sabían de la existencia de algún comité vecinal o asociación de vecinos, a lo que las respuestas arrojaron porcentajes de resultados análogos a la pregunta anterior, y sólo el 10% indicó que sí existían, el 35% dijo que no existían y el 55% exteriorizó no saberlo. Además, fue posible identificar que la población que indicó que sí contaban con organizaciones y/o comités vecinales, infortunadamente, no participaban en dichas actividades.

Respecto a las funciones 2, 3, 4 y 5 antes descritas, el 80% de los encuestados indicaron que consideraban la atención de la autoridad municipal a los problemas de su comunidad inoportunos. Sumado a ello, la población encuestada exteriorizó el temor a ser víctimas de la delincuencia indicando que conocidos e incluso familiares, han tenido que migrar a distintas ciudades de Estados Unidos o Canadá. Uno de los encuestados dijo – *Se requieren castigos públicos para los delincuentes, como el linchamiento* –. Lo anterior, por el miedo a la ola de asesinatos y secuestros que sacuden a las poblaciones tabasqueñas y a la falta de apoyo por parte de las autoridades.

Según el Diario Presente (2017), en el estado de Tabasco, en 2012 se registraron 15,482 robos; en 2013 subió a 15,951 casos, en 2014 se incrementaron a 17,173 delitos y en 2015 se registraron 18,295 casos; mencionando que la población desconfía de las autoridades y se resiste a interponer sus denuncias. Argumentos similares a los obtenidos a través de la encuesta aplicada en 2016. Además, la población encuestada expresó el miedo y la amenaza constante ante el crimen organizado y ante los grupos criminales. Siendo de mayor temor los primeros, al saber que estos grupos cuentan con los vínculos necesarios para evitar ser perseguidos por los delitos que cometen o que inclusive, pueden llegar a evitar la pena o castigo que les corresponde. De esa manera, las personas encuestadas, mayormente en el municipio de Cárdenas, temen por la delincuencia organizada que se dedica a traficar drogas, personas y cometen asesinatos. Cabe señalar que en este clima de inseguridad, la elaboración de las encuestas fue un reto, ya que se percibió desconfianza por parte de los encuestados, especialmente al preguntárseles acerca de sus familias y sus bienes.

Ante ese escenario y ante la serie de eventos desafortunados que han sido mencionados, las personas encuestadas pudieron transmitir su interés hacia la necesidad de acceder a servicios de seguridad, para ellos, sus familias, sus hogares y para sus poblaciones, de tal caso que, al preguntarles si la presencia de empresas como Pemex les generaba desconfianza, el 55% de la población encuestada indicó que no, esto es, más de la mitad de los encuestados no consideran a Pemex como una amenaza. En contraparte, sólo el 25% de la

## LA AFECTACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA SOCIAL

población encuestada señaló que sí les genera desconfianza, mientras que al 20% de los encuestados les es indiferente la estadía de Pemex. No obstante, cabe destacar que ante la estadía de Pemex en la región, a las personas les gustaría que la empresa les proporcionara beneficios tales como empleo, apoyo hacia los servicios que faltan, seguridad y mantenimiento en sus ductos.

En la Fig. 5.7., se presenta una comparación que muestra la distribución del interés hacia la delincuencia y hacia la estadía de Pemex. Como se indicó anteriormente, el 80% de los encuestados indicaron que sí sentían inseguridad por delincuencia, 15% que no sentían inseguridad y 5% señaló indiferencia. Mientras que, la estadía de Pemex al 55% de la población encuestada no le genera inseguridad, al 25% sí y al 20% le es indiferente.

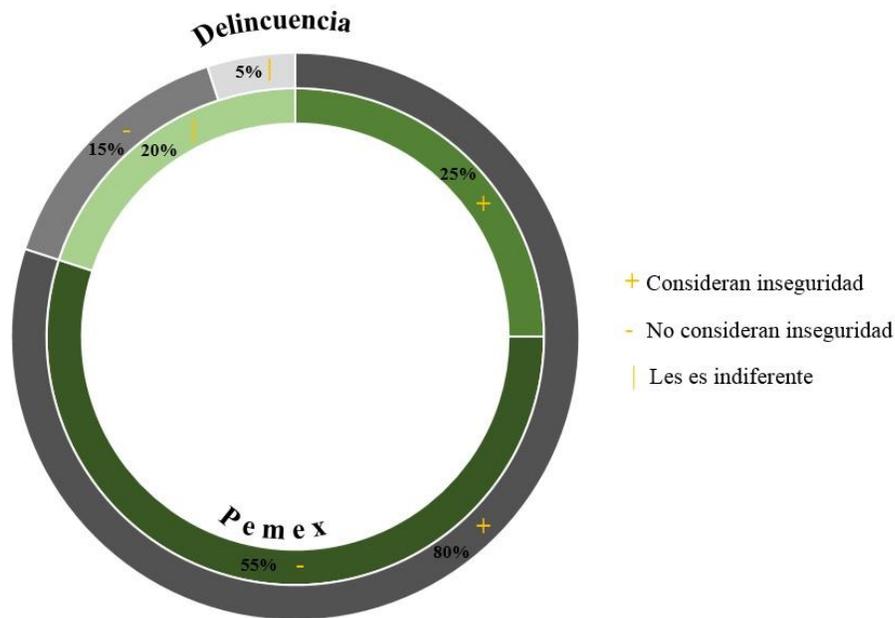


Figura 5.7. Comparativa entre la percepción de los habitantes por la inseguridad ante la estadía de grupos de delincuencia y la empresa Pemex.

Del análisis realizado y de acuerdo a los resultados de la gráfica mostrada en la Fig. 5.7, la inseguridad que resulta de la presencia de Pemex en la región no es comparable con la generada por la delincuencia. Esto no es de sorprender, tanto por la magnitud como por las consecuencias negativas del segundo problema con respecto al primero que actualmente existe en la región.

El análisis, no obstante, es relevante para poner en contexto el grado de afectación que, en principio, ocasiona Pemex en la región y valorarlo con respecto a otros problemas que aquejan a los habitantes de Cárdenas y Huimanguillo que también deben ser atendidos. Es de importancia señalar que al elaborar el

primer acercamiento en el que también se efectuó el levantamiento estructural de las viviendas unifamiliares autoconstruidas (noviembre de 2014), las personas externaron la inseguridad de vivir en casas con probabilidad de afectación debida a los estudios de prospección sísmica efectuados.

### **5.3. CONSIDERACIONES RESULTADO DEL ACERCAMIENTO CON LA POBLACIÓN**

Después de realizar los estudios cualitativos y cuantitativos del contenido manifestado a través de la comunicación con los habitantes, fue posible efectuar apreciaciones sobre las preocupaciones, la ideología y el pensamiento de los habitantes. También se obtuvieron datos cuantitativos que permiten situar la hipótesis de la investigación en un contexto social específico, en el cual llevar a cabo el análisis integral que se presenta en esta tesis. Se encontraron coincidencias y discrepancias en las entrevistas y, en general, se obtuvo información sobre temas de interés que forman una componente esencial para poder validar (o no) la hipótesis del trabajo. El acercamiento con los pobladores de la zona en estudio es también importante porque sitúa el análisis en un plano concreto, no solamente con viviendas específicas y existentes en la zona, sino personas que padecen una realidad social, también particular de la zona en estudio, donde factores como la delincuencia organizada o la falta de atención por parte del gobierno, influyen en el sentir y actuar, a veces no necesariamente racional, de sus pobladores.

Se puede observar que para la primera encuesta aplicada (con preguntas abiertas), al existir la libertad para elegir la respuesta, se obtuvo información muy útil y basta, pero que presentó una mayor dificultad para ser analizada y compilada. Por ello, solamente fue considerada como el inicio del acercamiento con la población y sirvió para tener un entendimiento general de la problemática suscrita. No obstante, fue posible reafirmar que, sin el consenso social, no es posible entender el presente ni el futuro próximo respecto a las necesidades de la población. Asimismo, fue factible evaluar el estado estructural de las viviendas con información que permitió efectuar el análisis y clasificación de viviendas descrito en la sección 4.8 de esta tesis. Esto es, fue posible obtener las características generales de las viviendas, se pudo obtener viviendas representativas, fue posible analizar y evaluar la geotecnia de las viviendas, y en concreto, se efectuó el análisis del comportamiento estructural para seis casos de estudio.

En resumen, el primer acercamiento con la población fue de tipo exploratorio (investigación de dimensiones reducidas previo a la investigación propiamente dicha), efectuado como “*una primera forma de contacto con la población*”, que permitió formular de manera más concreta el objetivo de la investigación y a su vez refinar la hipótesis, definir variables, y en particular, enfocar la problemática. Con este último aspecto fue posible definir prioridades y escenarios para futuras investigaciones.

## LA AFECTACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA SOCIAL

Con respecto a la segunda encuesta (E2), esta permitió analizar la información bajo una óptica integral, considerando la parte social, demográfica y constructiva. Lo anterior, debido a que, a través del tiempo se ha demostrado que ha sido un error no preguntar a las personas y construir sin consultar. La gente tiene que decidir cómo quiere su vivienda, dónde la quiere y qué soluciones requiere ante las afectaciones geofísicas, climáticas, sociales, etc., del lugar específico. De esa manera, el acercamiento a la población permitió obtener indicadores con respecto a lo que la gente desea y con lo que cuenta.

Se pudo rescatar que las personas de edad adulta (con capacidad plena para decidir y actuar en consecuencia), solicita se efectúen prácticas sociales que los involucren, que les proporcionen beneficios y que se puedan efectuar mediante la colaboración conjunta de los habitantes y los diferentes órdenes de gobierno, tal y como se ilustra en la Fig. 5.8.

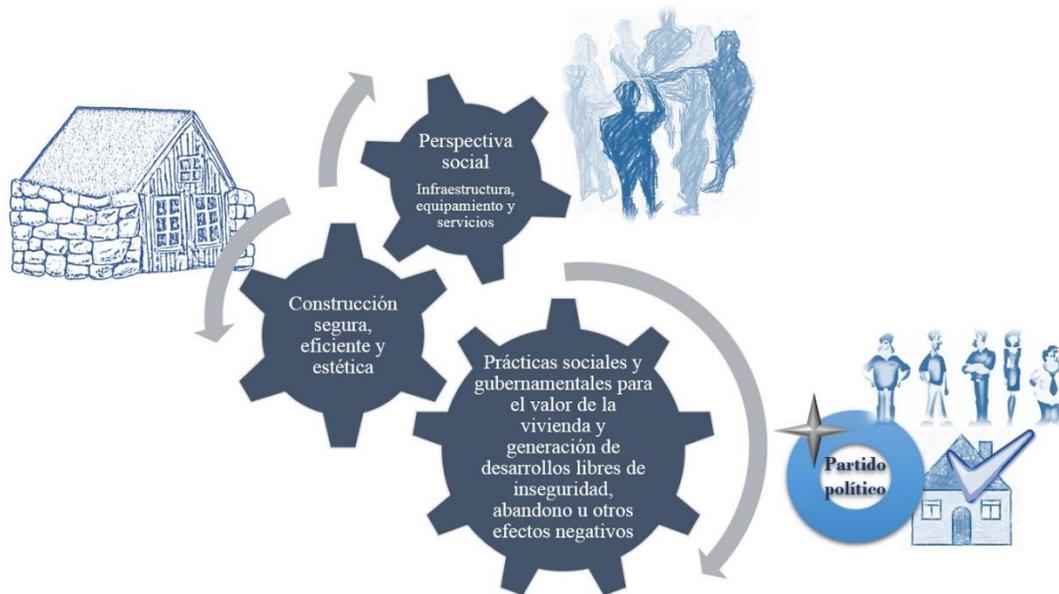


Figura 5.8. Conexión sugerida para viviendas seguras con base en las demandas de los pobladores de Huimanguillo y Cárdenas (según encuesta efectuada).

La figura 5.8 sugiere una conexión entre las personas de las comunidades, primero entre ellas, y posteriormente con las dependencias gubernamentales para lograr la generación de viviendas con base en sus necesidades y con el propósito de que sean seguras, eficientes, estéticas y de costos accesibles.

Con relación al ámbito económico y laboral, fue posible identificar que un número importante de habitantes de la zona carecen de trabajo y se encuentran buscándolo. Es decir, las personas no pueden acceder al mercado laboral y se encuentran desocupados y por ende, sin ingresos económicos suficientes. Lo anterior,

podría ser el resultado de no contar con la educación pertinente o a la falta de vínculos para alcanzar un puesto de trabajo, aunque los indicadores muestran un nivel de escolaridad relativamente alto en la zona. Esto, sin duda, repercute en el tipo de vivienda a la que pueden acceder, pues sin el capital suficiente, no es posible construir viviendas con base en las Normas de Construcción pertinentes. Ante ello, se pudo apreciar que las personas consideran a sus viviendas autoconstruidas, en general, inseguras, imprácticas y en ocasiones insanas.

Debido a la oferta laboral inexistente, también se detectó que las personas han optado por migrar hacia ciudades que ofrecen mayores oportunidades de trabajo, incluso en el extranjero, ello se pudo apreciar al evaluar el número de jóvenes que hay en las familias, que comparados con adultos y niños es inferior.

Otro factor relevante que denota la migración es la inseguridad que las personas manifiestan como problema social que debe ser atendido por el gobierno. Con ello, podrían ser atendidas otras necesidades también señaladas por los pobladores (ver Fig. 5.6). Curiosamente, el lenguaje o el balance entre el número de hombres y mujeres en las comunidades estudiadas, no representan factores a los que haya que prestarles mayor atención.

En ese contexto, se pudo apreciar que la estructura familiar de los municipios analizados, carece de contacto con las instituciones que deberían auxiliarlos, por disposición oficial (funciones de las autoridades del ayuntamiento), lo que podría significar que las personas se constituyen como independientes o aislados. Por lo anterior, las familias podrían convertirse en víctimas vulnerables de algún impacto importante sobre su hogar, como por ejemplo, con daño a su vivienda, lo que repercute en gastos inesperados y desequilibrio en el presupuesto. En definitiva, existe una alta vulnerabilidad en los pobladores, lo cual se ve reflejado en todos los ámbitos estudiados en esta tesis.

Por lo anterior y en síntesis, se requieren soluciones integrales que contemplen la generación de viviendas que estén definidas y elaboradas con base en los requerimientos de aquellos quienes las habiten, así como con base en su seguridad y economía. Teniendo en consideración lo siguiente:

1. Satisfacer las necesidades de los habitantes. Considerando que la vivienda es el patrimonio más valioso del ser humano.
2. Ofrecer opciones constructivas seguras. Considerando que cada familia cuenta con recursos distintos.
3. Colaborar en conjunto, trabajar en equipo. Considerando que cada vivienda debe ser construida de acuerdo a las necesidades de cada familia, pero con base en normas y reglamentos y sin ignorar los lineamientos señalados por las leyes establecidas en cada municipio.



# CAPÍTULO 6

## MARCO LEGAL DE LA AFECTACIÓN

Con el fin de complementar los capítulos referentes a los aspectos sociales y técnicos, y de esa manera presentar un estudio integral del problema que motiva la realización de las investigaciones reportadas en este documento de tesis, este capítulo está dedicado a atender los aspectos normativos aplicables en la región de estudio y que conciernen al problema en cuestión. Su inclusión parte del hecho de que los habitantes de la región de interés, como todos los mexicanos que habitan en territorio nacional, forman parte de una sociedad regida por tres órdenes de gobierno: federal, estatal y municipal, los cuales están regulados por leyes y reglamentos que, al menos en teoría, confieren derechos y obligaciones a dichos habitantes.

En ese contexto, para la elaboración del presente capítulo se llevó a cabo un análisis del marco normativo correspondiente a los mencionados tres órdenes de gobierno en materia de vulnerabilidad, riesgo y amenaza debido a los estudios de prospección sísmica que pudieran experimentar los habitantes del ámbito geográfico en estudio. Más aún, el trabajo se complementa con un estudio profundo aunque no exhaustivo, por la extensión del mismo y las barreras que impone el lenguaje, de la legislación aplicable para otros países, esto con el propósito de allegar a la investigación un marco de referencia en materia legal con el cual sea posible realizar comparaciones e, incluso, tomar ideas y así sugerir modificaciones para afinar el marco legal mexicano en la materia.

Sin soslayar documentos de carácter más general como lo es la misma Carta Magna o la propia Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Tabasco, los principales documentos que fueron considerados en el análisis realizado y presentado en este capítulo, entre otros, son los siguientes:

- D1. Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco.
- D2. Reglamento de Zonificación del Municipio del Centro del Estado de Tabasco.
- D3. Ley de Protección Ambiental del Estado de Tabasco.
- D4. Ley de Responsabilidad Civil por Daño y Deterioro Ambiental del Estado de Tabasco.
- D5. Ley de Ordenamiento Sustentable del Territorio del Estado de Tabasco.
- D6. Ley de Vivienda del Estado de Tabasco.
- D7. Ley de Derechos y Cultura Indígena del Estado de Tabasco.
- D8. Ley de Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Tabasco.
- D9. Ley de Planeación del Estado de Tabasco.

### 6.1. ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN NACIONAL EXISTENTE EN LA MATERIA

Con base en la documentación antes indicada, así como en algunos otros textos a los que hacen referencia, se pudo observar que la legislación en la materia que compete a este trabajo de investigación puede considerarse como incompleta, y por ende requiere, en el estado en que se encuentra, de la participación de diversos actores con conocimiento de varias disciplinas técnicas y sociales para ser enriquecida, ya que, pudiera existir un vacío legal en la materia. En concreto, de los nueve documentos que arriba se enlistan, solamente tres de ellos (D2, D3, y D4), abordan el problema. No obstante, como más adelante se expondrá, lo hacen de manera indirecta. En ese sentido, el trabajo que aquí se presenta, constituye un llamado al poder legislativo del estado de Tabasco (y seguramente también de estados circunvecinos) para que concentren su atención en la problemática tratada en esta tesis y legislen correspondientemente, lo cual redundará en la mejora de la relación habitantes-empresas y por consiguiente, en el enriquecimiento del estado.

Con el fin de dar coherencia a la investigación reportada en este capítulo, en la Fig. 6.1 se presenta un cuadro que permite identificar las relaciones o vínculos que de manera explícita o tácita existen entre los textos legislativos estudiados.

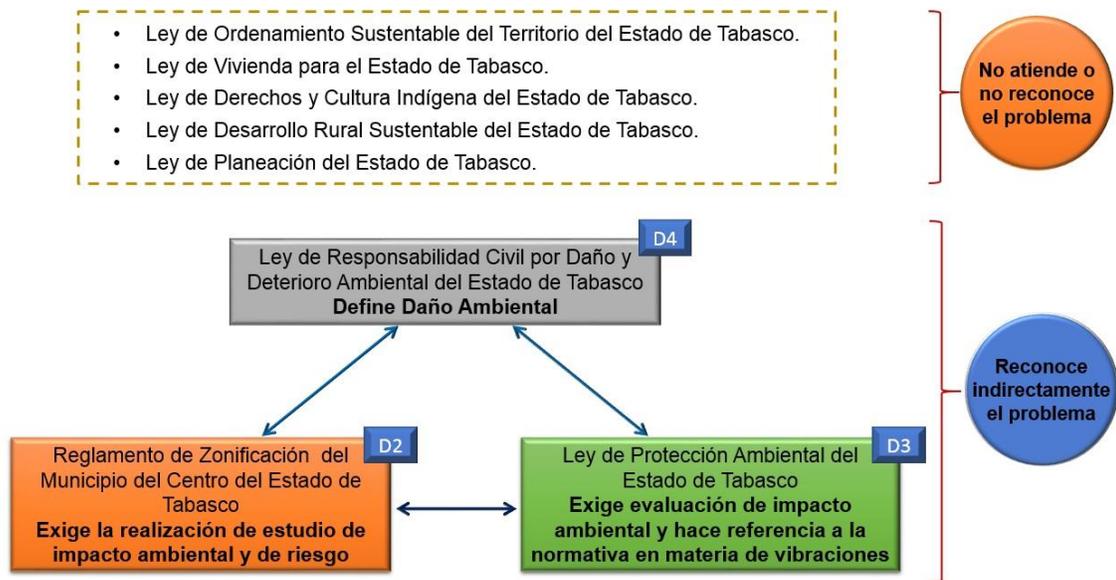


Figura 6.1. Relación que presentan los textos legislativos más relevantes analizados en esta tesis.

En la Fig. 6.1 se puede apreciar que el cuadro está dividido en dos secciones principales, en la parte superior, limitados con una línea punteada, se incluyen a los documentos que no atienden o no reconocen el problema legal producido por las afectaciones que pueden causar los estudios de prospección sísmica

que se llevan a cabo en el estado de Tabasco. Mientras que en la parte inferior se ubica el conjunto complementario, es decir, el grupo de reglamentos que incluyen artículos referentes al problema en cuestión y que por tanto representan el núcleo del trabajo aquí presentado.

Desde un punto de vista legal, las afectaciones que producen los estudios de prospección sísmica a los pobladores de áreas urbanizadas<sup>4</sup>, como son los poblados de Cárdenas y Huimanguillo, pueden interpretarse de dos maneras. La primera interpretación se refiere al caso en que la persona moral que realiza los estudios en busca de petróleo y gas causa de manera no deliberada (se presupone) una afectación en las viviendas, es decir, en los bienes de las personas que habitan en los poblados mencionados. En este caso se asume que las vibraciones generadas por las empresas contratadas por las compañías petroleras provocan un daño notable y demostrable en las construcciones, causando así un perjuicio que puede ir desde lo puramente estético, a un deterioro que provoque la inhabitabilidad de las viviendas. Bajo este supuesto, la afectación se interpreta como un daño y perjuicio a los bienes de una persona física y es causado por una persona moral. Lo que procede en este caso es una demanda ante los Juzgados Civiles de la parte afectada para la reparación del daño y/o deterioro con el fin de que se aplique la normativa correspondiente en materia de responsabilidad civil. Tras un largo proceso, un juez determina si la demanda procede, y en caso afirmativo obliga a la reparación del daño. Asimismo, ejerce las demás acciones legales de orden civil que considere. Con base en esta interpretación, el proceso solamente se inicia si el demandante procede y si tiene la capacidad de demostrar la relación causa-efecto entre las vibraciones producidas como parte del estudio prospectivo y la afectación de la vivienda, es decir, si tiene la capacidad de probar la acción, el daño o el deterioro y la mera causalidad física entre la acción y la afectación. En general, estos procesos legales son largos y onerosos para el demandante, quien normalmente debe enfrentarse con compañías poseedoras de recursos comparativamente ilimitados con respecto a los de la parte demandante (habitantes con un nivel económico bajo).

La segunda interpretación parte del deber que todo ciudadano tiene de contribuir, participar y exigir la preservación, restauración y el equilibrio ecológico del área en que él o ella y su familia residen. Con base en esta premisa, los perjuicios causados por la empresa que conduce los estudios de prospección sísmica se pueden considerar una afectación, no directamente al particular, sino al medio ambiente de la región, los cuales pueden causar efectos nocivos a los ecosistemas como tales y a los bienes y a la salud de las personas.

---

<sup>4</sup> Según el artículo 11 del Reglamento de Zonificación del Centro del Estado de Tabasco, un área urbanizada es el área ocupada por las instalaciones necesarias para la vida normal del centro de población, que cuentan con su incorporación municipal; o con la aceptación expresa del Ayuntamiento.

## MARCO LEGAL DE LA AFECTACIÓN

En el primer supuesto se habla de “*deterioro ambiental*”, mientras que en el segundo se habla de “*daño ambiental*” (documento D4). El daño ambiental se define en el artículo 24 de la Ley de Protección Ambiental del Estado de Tabasco (documento D3) como aquel daño “que ocurra sobre el bien jurídico denominado ambiente, como consecuencia de:

- I. La contaminación;
- II. La realización de actividades riesgosas y el manejo inadecuado de sustancias peligrosas;
- III. El manejo inadecuado de residuos de manejo especial;
- IV. El manejo inadecuado de residuos sólidos urbanos;
- V. La realización de obras o actividades sin la autorización correspondiente previstas en esta Ley y
- VI. El uso inadecuado de la sobreexplotación de los recursos naturales.”

En el caso que aquí nos atañe, el apartado número II, contempla la realización de actividades riesgosas, entre las que se enmarcan, si es posible probarlo, los estudios de prospección sísmica. A diferencia de la primera interpretación mencionada anteriormente, y que se refiere a una disputa entre particulares, en el caso de la segunda interpretación no se contempla el llevar a cabo una demanda por un perjuicio provocado de un particular a otro, o una empresa a un particular, sino un daño provocado por una persona moral al medio ambiente. Esta interpretación tiene el inconveniente de que, como se expresa en la Ley de la Responsabilidad Civil por Daño y Deterioro Ambiental del Estado de Tabasco, la legislación en materia ambiental normalmente resulta ineficaz para “lograr la reparación del daño y del deterioro ambiental, en primer lugar porque es muy difícil comprobar que una persona realice una conducta contaminante de manera dolosa, y al no castigarse los delitos en contra del medio ambiente que hayan sido cometidos de manera culposa, es muy difícil que se condene a alguien por la comisión de un delito ambiental. En segundo lugar, ningún delito ambiental es considerado como grave, por lo que cualquiera que los cometa, incluso tratándose de servidores públicos, gozan del beneficio de la libertad provisional” (documento D4).

Las dos interpretaciones que, según lo investigado, pueden darse con respecto a las afectaciones que producen los estudios de prospección sísmica, de acuerdo a la legislación tabasqueña, se resumen en el diagrama que aparece en la Fig. 6.2.

Desafortunadamente, la investigación, y sobre todo la experiencia, muestran que ambos caminos son tortuosos y rara vez consiguen que el presunto delincuente repare las afectaciones que pudieran presentarse en las viviendas de los habitantes de los poblados afectados a causa de las detonaciones

---

<sup>5</sup> Según el Art. 2 de Ley D4 se entiende como daño a “la pérdida o menoscabo sufrido en la integridad o el patrimonio de una persona o personas determinadas, o entidad pública, como consecuencia de los actos u omisiones en la realización de las actividades con incidencia ambiental”.

asociadas a la búsqueda de hidrocarburos. En cualquier caso, el enfoque que se ha denominado como civil, aparece como más prometedor al aplicar la legislación actual, siempre y cuando se dispongan de los suficientes recursos para enfrentarse a compañías bien pertrechadas desde el punto de vista legal.

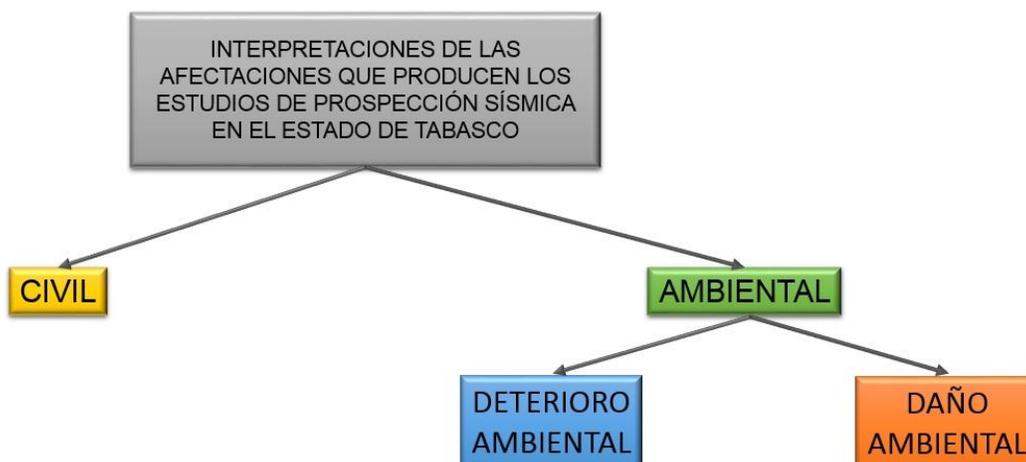


Figura 6.2. Interpretaciones desde el punto de vista legal de las afectaciones en estudio.

Cabe señalar que, de acuerdo al estudio socio-económico realizado en la zona afectada, no es difícil anticipar que los pobladores afectados no disponen de recursos en excedencia para dedicarlos, primero, a demostrar la relación causa-efecto entre detonaciones, vibraciones y afectaciones estructurales de las viviendas, y segundo, aventurarse en un juicio que conlleva asistencia a audiencias (tiempo) y contratación de abogados y realización de trámites (dinero), especialmente tomando en cuenta que las probabilidades de éxito son mínimas.

Si se opta por la interpretación ambiental del supuesto ilícito, la legislación correspondiente exige que la industria cumpla con las Normas Oficiales Mexicanas y demás normatividad ambiental federal, estatal y municipal correspondiente en materia de emisión de contaminantes a la atmósfera, agua, ruidos, residuos peligrosos, residuos sólidos y líquidos, radiaciones, vibraciones, olores, y manejo de sustancias. Para lo cual, las industrias, en este caso aquellas dedicadas a realizar las detonaciones asociadas a la búsqueda de hidrocarburos, deben realizar el *estudio requerido de impacto ambiental y de análisis de riesgo* (Art. 81 de la Ley D2).

Más aún, el Art. 114 de la Ley D3, estipula de manera más precisa que las actividades de exploración, explotación, extracción y aprovechamiento de materiales pétreos, insumos de construcción y sustancias minerales no reservadas a la Federación deberán someterse al procedimiento de evaluación del impacto ambiental. Aunado a ello, en su Art. 149 se establece la prohibición de la generación “de ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, y la contaminación visual, en cuanto rebasen los límites

máximos establecidos en las normas oficiales mexicanas y las normas ambientales estatales, considerando los valores de concentración máxima permisibles para el ser humano de contaminantes en el ambiente, que determine la Secretaría de Salud en las normas oficiales mexicanas correspondientes”. Incluso la Ley contempla el que las empresas que realizan actividades que se consideran como riesgosas cuenten con un seguro ambiental (Art 254, Ley D3). Desafortunadamente, el alcance de la investigación realizada no permitió concluir si las empresas que realizan los estudios de prospección sísmica efectúan de manera continua alguna evaluación de impacto ambiental de sus operaciones o si se realizó alguna Manifestación de Impacto Ambiental (MIA).

### **6.1.1. Manifestación de Impacto Ambiental**

La evaluación de impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la autoridad estatal evalúa los efectos que sobre el ambiente puede generar la realización de planes y programas de desarrollo dentro del territorio del Estado a fin de evitar o reducir al mínimo efectos negativos sobre el ambiente, prevenir futuros daños al mismo y propiciar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Art 113, Ley D3).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) dispone de una guía dirigida a consultores que se dedican a realizar manifestación de impacto ambiental, ya que estas representan una parte importante en el desarrollo de un proyecto de infraestructura. Este documento permite conocer, con base en estudios, el impacto ambiental significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

Para la valoración del impacto ambiental, la guía propone la utilización de indicadores de impacto ambiental, considerados como la herramienta que se debe adoptar para cuantificar el mismo. Estos indicadores son importantes porque brindan la capacidad de representar de manera conveniente la alteración potencial que puede afectar a un factor del ambiente o a un ecosistema en su conjunto.

El empleo de esta valiosa herramienta permite disponer de una estimación medible de la diferencia del indicador “con” y “sin” proyecto, en sustitución de aquellas valoraciones basadas en la percepción individual y principalmente subjetiva de la dimensión y del valor de los impactos ambientales identificados. Después de aplicar un ejercicio de separación del conjunto de impactos ambientales identificados es posible identificar, analizar y valorar los impactos ambientales significativos o relevantes, ya que de ese esfuerzo derivan las medidas específicas de mitigación cuando dichos impactos son negativos. La guía funciona como un instrumento indicativo, lo que significa que, el conjunto de componentes del proyecto y de factores ambientales que se proponen y se describen a lo largo de su contenido no siempre deben ser abordados en su conjunto. El consultor deberá entonces decidir sobre

los componentes y factores ambientales cuya alteración pudiera tener repercusiones sobre la integridad funcional de los ecosistemas. El instrumento legal fundamental que sustenta a la Evaluación del Impacto Ambiental es la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

### 6.1.2. Legislación aplicable

El diagrama de la Fig. 6.1 intenta mostrar de manera gráfica cómo está relacionada la legislación aplicable en la materia de que trata este trabajo. Como ya se mencionó, primeramente se hace una división entre la literatura que reconoce el problema, aunque sea de manera indirecta, y la que no lo hace. De esa manera, en la Fig. 6.1 se presenta un segundo conjunto que está agrupado por dos leyes y un reglamento, identificados como D2, D3 y D4 de acuerdo al listado que se presentó al inicio del capítulo. En él, se indican los títulos correspondientes y se resalta la característica más sobresaliente con respecto al problema principal de esta tesis. Las flechas indican que existe una interrelación conceptual entre los tres documentos, la que en la práctica permite sustentar lo que cada uno aboga o expresa mediante lo que los otros dos legislan.

El documento principal es la Ley de Responsabilidad Civil por Daño y Deterioro Ambiental del Estado de Tabasco. A pesar de su relativa corta extensión, este documento es el único que de manera explícita menciona la problemática que la industria petrolera ha ocasionado en el estado de Tabasco, y aunque no menciona directamente nada en materia de estudios de prospección sísmica, es valioso porque define el término “*daño ambiental*”, y además legitima la acción para exigir al responsable la adopción de las medidas necesarias que eviten la continuación o la repetición del daño y/o del deterioro ambiental. “Estas medidas deberán comprender la instalación de elementos que prevengan la causa del daño y/o deterioro ambiental, la contención temporal de la actividad dañosa y la clausura temporal, permanente, total o parcial, de las instalaciones donde dicha actividad se desarrolla” (Art. 18, Ley D4).

En los términos de la ley citada, “son responsables las personas físicas o jurídicas colectivas que, por sí o a través de sus representantes, administradores o empleados, generen daño o deterioro ambiental, con motivo de sus actos u omisiones en la realización de actividades con incidencia ambiental” (Art. 3, Ley D4). Tal y como lo indica el diagrama de la Fig. 6.1, la Ley de Responsabilidad Civil por Daño y Deterioro Ambiental del Estado de Tabasco, está sustentada por la Ley de Protección Ambiental del Estado de Tabasco, en la que también se hace referencia al término de daño ambiental, asociándola a actividades riesgosas como las que efectúan las compañías que realizan los estudios de prospección sísmica en busca de hidrocarburos. Además, exige la realización de estudios de impacto ambiental, para lo cual reivindica la presentación de una MIA, tal como se describe en la sección 6.1.1 de esta tesis (Art. 113, Ley D3). Otra característica destacable de esta ley es que prohíbe de manera clara y precisa la generación de vibraciones que rebasen los límites definidos por las normatividad correspondiente (Art.

149, Ley D3). Finalmente, el Reglamento de Zonificación del Municipio del Centro del Estado de Tabasco (D2) está conectado con los dos reglamentos anteriores porque en su artículo 81 especifica la necesidad de realizar estudios de impacto ambiental y de análisis de riesgo, en concordancia con y en apoyo a los dos reglamentos antes referidos.

El análisis de riesgo también se exige cuando se realicen actividades de riesgo alto, es decir, aquellas que “involucran materiales que por sus características de toxicidad, corrosividad, reactividad, inflamabilidad, explosividad y/o acción biológica, pueden ocasionar una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes” (Art. 93, Ley D2). Estas actividades además deberán estar sujetas a la autorización del Gobierno Federal. Asimismo, el Reglamento en cuestión explica que la reglamentación de las zonas habitacionales tiene la finalidad de mejorar la calidad ambiental y el bienestar de la comunidad, a través de acciones como “proteger las zonas habitacionales contra explosiones, emanaciones tóxicas y otros riesgos, producidos por usos del suelo incompatibles, así como contra ruidos ofensivos, *vibraciones*, humos, malos olores y otras influencias nocivas” (Art. 42, Ley D2).

### **6.1.3. Discusión**

Durante muchos años los ecosistemas de México han estado sujetos a una gran presión antropogénica, debido a políticas públicas y programas de desarrollo mal orientados, con un enfoque unilateral y homogéneo del territorio nacional que no reconoce la biodiversidad y las características geográficas y climatológicas de cada región. De igual manera, Tabasco transformó su entorno para dar paso a las actividades agropecuarias y petroleras que para algunas regiones y sectores de la población representó ingresos económicos, pero para muchos otros significó pérdida de oportunidades y de recursos naturales (documento D1).

Actualmente los ecosistemas naturales presentan una considerable fragmentación originada por actividades antropogénicas, entre la que destaca por su impacto, la producción de petróleo. Sin embargo, hoy en día la economía tabasqueña está principalmente sustentada en la actividad petrolera (columna vertebral de la economía del país), por lo que sería impensable suprimir su existencia. En consecuencia, Tabasco sufre procesos de contaminación en sus ecosistemas y una pérdida acelerada de biodiversidad, lo que repercute en el bienestar de los habitantes de zonas donde se explotan o se exploran los hidrocarburos.

Aunque diferentes normas de contenido ambiental ya incorporan disposiciones referentes a la responsabilidad derivada de las propias infracciones administrativas y la legislación regula la responsabilidad penal procedente de delitos de contenido ambiental o ecológico, éstos resultan muy poco eficaces en la práctica (Ley D4). De hecho, en la consideración octava de la Ley de Responsabilidad

Civil por Daño y Deterioro Ambiental del Estado de Tabasco se expresa que en Tabasco “se tiene establecido un injusto sistema de reclamación en caso de daños al medioambiente por la actividad petrolera, pues en la denominada ‘primera instancia’ es el propio causante del daño, funcionarios de la Paraestatal Pemex, después de un periodo de tiempo, quienes deciden que es o no procedente; de ahí, puede llevarse a la CIMADES<sup>6</sup>, organismo estatal que recibe el caso después de otro dilatado lapso, cuando la evidencia pudo haber desaparecido o no ser ya verificable; todavía se realizan un sin número de reuniones que sólo llegan a la pérdida de tiempo, en perjuicio de los campesinos y ganaderos tabasqueños y el gran perdedor es el medio ambiente y nuestros hijos”.

El párrafo anterior resume la calidad en la impartición de justicia que en materia ambiental se vive en el estado de Tabasco. Esto aunado a la escasa legislación referente al impacto que en la ecología y los bienes de las personas tiene, no la industria extractiva o de distribución del petróleo, sino la que corresponde a la actividad de exploración, hace patente el estado de indefensión en que viven las familias de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, aún en caso de que se pudiera demostrar que las multicitadas actividades de prospección sísmica que se llevan a cabo en el estado, efectivamente representan un riesgo antrópico para la población.

En este sentido, esta investigación, en conjunto con las de carácter más técnico que ha desarrollado el Instituto de Ingeniería de la UNAM, representan un primer paso en la dirección de mitigar las afectaciones producidas por estos estudios de exploración, motivando la creación de instrumentos legales que amparen a la población cuando estas situaciones de riesgo se presenten. Lograr el objetivo aquí identificado no es tarea fácil, ya que Tabasco concentra buena parte de la industria petrolera del país, cuya influencia en el establecimiento de políticas sociales, económicas y ambientales es marcada. Basta recordar que la extracción de petróleo y gas representa aproximadamente 6% del producto interno bruto en México y genera una gran cantidad de empleos directa e indirectamente. Además, contribuye con más del 30 % de los ingresos del sector público del país.

Un enfoque más práctico a corto plazo podría ser entonces la concientización de Pemex y las empresas asociadas que realizan estos estudios basados en detonaciones, para que establezcan una relación de respeto y comunicación con los habitantes que habitan en las zonas en que se llevan a cabo estos estudios. Esto no solamente beneficiaría a la imagen de Pemex en la región, sino que incidiría en el desarrollo comunitario de la zona. Un convenio de beneficio mutuo entre las empresas y los habitantes podría representar entonces un instrumento que brindaría más frutos a ambas partes que una desgastante confrontación legal. De hecho, Pemex Exploración y Producción (PEP) cuenta ya con un conjunto de

---

<sup>6</sup> Comisión Interinstitucional para el Medio Ambiente y el Desarrollo Social.

disposiciones en materia de responsabilidad y mejores prácticas operativas que garanticen una coexistencia armónica con la comunidad<sup>7</sup>. Esta estrategia de “armonía con la comunidad” tiene como finalidad “establecer las obligaciones del Contratista o Proveedor para el cumplimiento de las normas de PEP en su relación con terceros y la Comunidad, a fin de evitar contingencias que pudieran afectar la continuidad de las actividades petroleras, erogaciones innecesarias y causar una imagen negativa de la empresa” (PEP, 2009). En ella, la empresa asociada a PEP se compromete a promover el respeto a la comunidad y sus integrantes, obligándose a impartir pláticas de concientización y difusión de información entre su personal para generar una cultura de respeto en el medio social. Además, deberá ser respetuoso de los usos, costumbres y tradiciones de la comunidad. Asimismo, se exige a la empresa contratada indemnizar a terceros afectados cuando se ocasionen daños adicionales o excedentes fuera de lo pactado en los permisos de paso<sup>8</sup> firmados por terceros.

Desafortunadamente, durante esta investigación fue imposible ganar acceso a la legislación y política interna de Pemex en materia de estudios de prospección sísmica para la exploración de hidrocarburos. Esto habría permitido perfeccionar el estudio, conociendo la visión complementaria del aspecto referente a la afectación y daño a los bienes de la población. Queda entonces como trabajo a futuro familiarizarse con el punto de vista alternativo que permita tener una visión integral de la problemática y sobre todo, de la solución de la misma, considerando tanto la escasa legislación federal, estatal y municipal disponible en la materia, como la política y reglamentación interna de Pemex.

### **6.2. ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN INTERNACIONAL EXISTENTE EN LA MATERIA**

Los estudios de prospección sísmica se han utilizado alrededor del mundo por más de cinco décadas, en particular para la exploración de yacimientos de petróleo y gas. Este tipo de estudios se realizan en tierra (*onshore*) y en mar (*offshore*), y aunque ambos están basados en el mismo principio de operación conocido como sismología de reflexión, su metodología es diferente. En ambas se busca crear de manera artificial una onda sísmica que se refracta en cierto tipo de rocas, mientras que en otras se refleja. Sin pretender ahondar en los detalles técnicos de la exploración de yacimientos petroleros, es conveniente mencionar la diferencia que hay entre los estudios marinos y terrestres, ya que una buena parte de la documentación en materia de legislación de estos estudios a nivel internacional a la que se logró acceder se refiere a los estudios de prospección sísmica marina, más que a la terrestre.

---

<sup>7</sup> Entendida esta como una unidad social compuesta por individuos que interactúan entre sí, comparten un conjunto de valores, creencias, usos, costumbres y tradiciones, y poseen una estructura, organización, funciones institucionales y desarrollo propio dentro de un área determinada.

<sup>8</sup> Autorización que concede un tercero, propietario, arrendatario o posesionario de un inmueble, a PEP y/o a sus Contratistas o Proveedores para realizar dentro del mismo, trabajos propios de la actividad petrolera.

En la exploración marina, la fuente de energía que produce las ondas acústicas que penetran las capas de roca que forman el lecho marino<sup>9</sup> (donde se espera encontrar petróleo) está constituida de un arreglo de cámaras de aire comprimido que flotan atrás de un buque explorador. Estas producen pulsos que, tras rebotar en la roca, son captados por hidrófonos espaciados a lo largo de cables flotantes unidos al buque. La Fig. 6.3 muestra de manera esquemática la realización de estudios de prospección en el lecho marino.

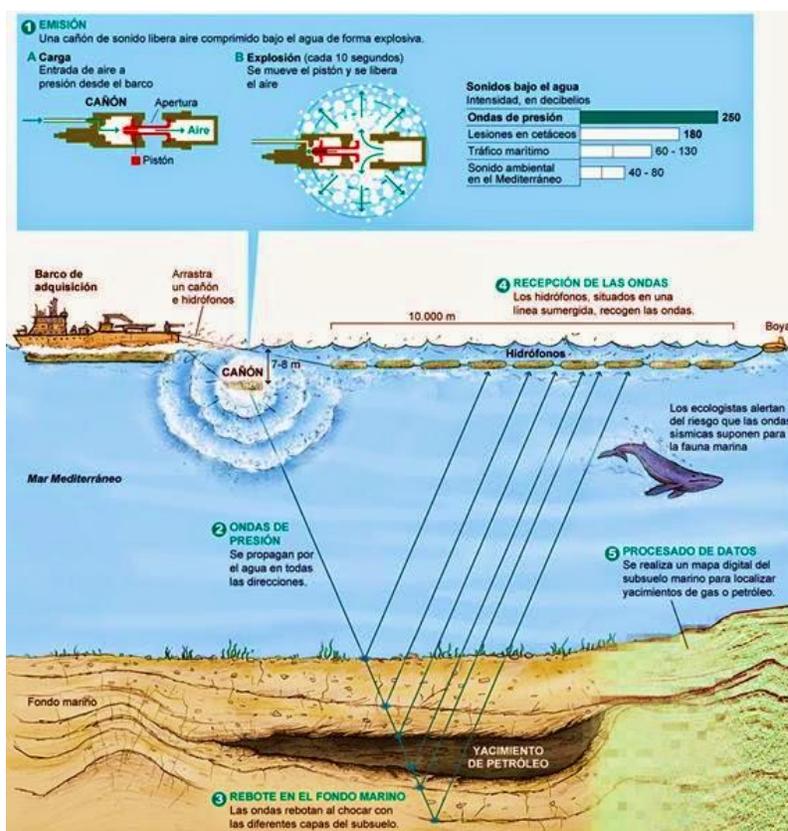


Figura 6.3. Esquemático que muestra la realización de pruebas de prospección geológica en el lecho marino (Buques Sísmicos, 2014).

Para el caso de análisis efectuados en tierra, las ondas acústicas se generan mediante el uso de explosivos de bajo impacto (tal como se realiza en el estado de Tabasco), conocidas como fuentes de energía impulsivas, o mediante la utilización de vibradores montados en camiones, conocidos como fuentes de energía no impulsivas. El conjunto de receptores de la onda acústica que rebota del subsuelo está normalmente constituido de geófonos, localizados a una distancia adecuada de la fuente. Tras su adquisición, los datos provenientes de las ondas de reflexión son procesados para generar imágenes de las capas del subsuelo. En ellas se pueden identificar diversas características geológicas, algunas de las cuales pueden corresponder a zonas que contienen petróleo atrapado.

<sup>9</sup> Se considera como relieve oceánico al manto de tierra que se encuentra al fondo de los océanos. También puede ser llamado relieve del mar, relieve submarino o lecho oceánico.

Un análisis de la legislación en materia de exploración de hidrocarburos en el mundo comienza por identificar a los actores principales. La Tabla 6.1 presenta una lista de los países que poseen las reservas de petróleo más importantes.

Tabla 6.1. Reservas de petróleo calculadas para los países principales (Worldatlas, 2016).

<b>Posición</b>	<b>País</b>	<b>Barriles de petróleo</b>
1	Venezuela	298,400,000,000
2	Arabia Saudita	268,300,000,000
3	Canadá	171,000,000,000
4	Irán	157,800,000,000
5	Irak	144,200,000,000
6	Kuwait	104,000,000,000
7	Rusia	103,200,000,000
8	Emiratos Árabes Unidos	97,800,000,000
9	Libia	48,360,000,000
10	Nigeria	37,070,000,000
11	Estados Unidos	36,520,000,000
12	Kazakstán	30,000,000,000
13	Qatar	25,240,000,000
14	China	24,650,000,000
15	Brasil	15,310,000,000
16	Argelia	12,200,000,000
17	México	9,812,000,000
18	República de Angola	9,011,000,000
19	Ecuador	8,832,000,000
20	Azerbaiyán	7,000,000,000

La lista de la Tabla 6.1, podría considerarse como un buen punto de partida para el análisis, sin embargo, las restricciones de idioma y accesibilidad, limitaron la extensión de la investigación. No obstante, considerando que el tema de legislación internacional en cuestiones de prospección sísmica es prioritario para este trabajo de tesis, a continuación se presentan los resultados del análisis para cada país del que, utilizando las técnicas de acceso a la información actual, se pudo obtener conocimiento en la materia.

### **6.2.1. Reglamentación en Noruega**

Noruega es un país ubicado en Europa Septentrional que es rico en recursos naturales. En 2014 fue clasificado como el país con el más alto índice de desarrollo humano. Noruega es el tercer exportador de petróleo en el mundo y su industria del crudo supone una cuarta parte de su producto interno bruto (REUTERS, 2015).

La pesca marítima es también una actividad preponderante. En Noruega la explotación petrolera proviene principalmente de yacimientos ubicados en su territorio marítimo y por ende la exploración de los mismos se realiza principalmente mar adentro, utilizando las técnicas de sismica de reflexión anteriormente referidas en esta tesis. Bajo estas circunstancias, la legislación noruega no se centra en los riesgos antrópicos que los estudios de prospección sísmica pudieran ocasionar a los pobladores de áreas urbanas, sino en las afectaciones que estos pudiera producir en la vida marina y, sobre todo, a la boyante industria pesquera. Esta última se ve afectada por los estudios de prospección sísmica, ya que las ondas acústicas generadas en los estudios pueden afectar a los organismos marinos de manera directa (fisiológicamente, matando o dañando larvas) e indirecta (modificando su comportamiento, por ejemplo, durante su migración).

Aunque por razones de idioma, el acceso a la legislación noruega se complica, la literatura recolectada pone de manifiesto los esfuerzos del gobierno Noruego, único con la autoridad para realizar estudios y explotación de petróleo a través del Ministerio del Petróleo y Energía, por incentivar la convivencia de la industria petrolera y pesquera, ya que ambas generan un importante beneficio económico para el país. La coexistencia de ambas industrias implica, según la documentación generada por el gobierno noruego (Guía Noruega, 2015), el que ambos giros se adapten para encontrar soluciones amigables para trabajar en conjunto en el mar. Un ejemplo es el convenio que se tiene respecto a que en cada buque de exploración viaje un experto pescador y el que existan varios foros de diálogo entre ambas industrias, que son coordinados por la oficina del Directorado de Pescadores del Ministerio de Pesca y Asuntos Costeros y la oficina del Directorado del Petróleo Noruego. También es práctica común que los buques que realizan estudios de prospección sísmica reporten continuamente su posición y la actividad que estén desarrollando vía satélite.

En específico, la legislación aplicable se encuentra en la sección 5 del “*Resource Management Regulations*” (NPD y Guía Noruega, 2015), que estipula que debe existir una distancia mínima de seguridad entre los barcos que realizan los estudios de prospección sísmica y los barcos o equipos dedicados a la pesca marítima, pero no se define una distancia en concreto. No obstante, se deduce la existencia de un esfuerzo por parte del gobierno y la industria por minimizar las posibles afectaciones y daños producidos por los estudios de exploración de hidrocarburos, en un marco de respeto y beneficio.

### **6.2.2. Reglamentación en Canadá**

Canadá, el segundo país más extenso del mundo, se encuentra ubicado en el extremo norte del subcontinente norteamericano. Canadá posee una economía diversificada, pero brinda una justificada importancia a las industrias del petróleo y la madera, ya que su producción y repercusión económica son considerables.

Según la investigación realizada, se constata que Canadá tiene una legislación en materia de exploración de recursos petroleros simple y concreta, accesible en el portal electrónico del Gobierno Canadiense dedicado a las Leyes de Justicia (Justice Laws Website, 2016).

A grandes rasgos, la legislación canadiense que compete a lo que en esta tesis se trata, puede dividirse en dos: *onshore* (terrestre) y *offshore* (marítima). Aquí nos referiremos a la primera. La sección III de la regulación denominada *Canada Oil and Gas Geophysical Operations Regulations* estipula de manera clara aspectos referentes a la realización de las pruebas de prospección sísmica en tierra (Reglamento canadiense, 2016). Entre ellos se manifiesta con respecto a la forma en que deben ser preparadas las cargas explosivas y los cordones que controlan el inicio de la detonación, la forma en que deben perforarse las cavidades en que se depositan los explosivos y las medidas que se deben observar para ser depositados (por ejemplo el uso de material y ropa anti-estática y la observancia de un periodo máximo de treinta días a partir de la colocación de la carga para realizar la explosión), la señalización de las cavidades, los procedimientos para conducir la detonación (por ejemplo, se prohíbe el uso de radios y se debe revisar que todas las cargas hayan detonado), el sellado de las cavidades tras la detonación, el manejo de sitios arqueológicos y las características que deben tener las fuentes de energía utilizadas para crear las ondas acústicas. Sobre este último tema la regulación menciona que cuando se utilicen explosivos para este fin, la carga y la distancia a la que deben ubicarse pozos o tuberías de gas o petróleo deben escogerse de acuerdo a lo señalado en la Tabla 6.2, y en caso de que se trate de presas, residencias, áreas de congregación pública, edificios y áreas de almacenamiento de sustancias inflamables o pozos de agua, la distancia deberá ser del doble de lo indicado en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Distancia mínima entre fuente explosiva y pozos o tuberías de petróleo o gas según la regulación canadiense.

<b>Identificación</b>	<b>Peso neto del explosivo (kg)</b>	<b>Distancia (m)</b>
< 2	No más de 2	32
2 - 4	De 2 a no más de 4	45
4 - 6	De 4 a no más de 6	55
6 - 8	De 6 a no más de 8	64
8 - 10	De 8 a no más de 10	70
10 - 20	De 10 a no más de 20	100
20 - 40	De 20 a no más de 40	142
40 - 100	De 40 a no más de 100	225
> 100	Más de 100	500

En caso de utilizarse otro tipo de fuentes para la generación de vibraciones, las distancias corresponden entonces a 100 m de cualquier presa, 15 m de pozos o tuberías de gas o petróleo, 50 m de cualquier

residencia, estructura con base de concreto o área de congregación pública y 100 m de cualquier pozo de agua. Asimismo, manifiesta que en ningún caso deben utilizarse más de 500 kg de explosivos. Además, en la sección I del *Canada Oil and Gas Geophysical Operations Regulations* se establece que quien esté autorizado para conducir los estudios de prospección sísmica deberá tomar todas las precauciones razonables para no dañar propiedad alguna.

Finalmente, la regulación concerniente hace referencia a medidas de seguridad e higiene tales como el uso de radio-comunicación, el uso de equipo en buenas condiciones y la práctica de no fumar. También describe cómo deben elaborarse los informes correspondientes y cómo manejar la ocurrencia de accidentes.

### **6.2.3. Reglamentación en Estados Unidos de América**

Estados Unidos es un país constituido por cincuenta estados y un distrito federal que se ubica (a excepción de los estados de Alaska y Hawái) al norte de México. Se le considera la economía más grande del mundo, ya que muestra un producto interno bruto aproximado de 17 mil millones de dólares. El país se caracteriza por su territorio extenso y por la abundancia de sus recursos naturales, siendo el tercer productor más importante de petróleo en el mundo, así como el mayor consumidor de este producto (CIA, 2015 y 2016).

El gobierno estadounidense, como el de México, se divide en tres ramas: poder ejecutivo, poder legislativo y poder judicial. Bajo la responsabilidad del primero se encuentran quince departamentos (lo equivalente en México a las Secretarías) encargados de la administración de las leyes federales. En particular, el Departamento del Interior gestiona y conserva la mayoría de tierras de propiedad federal y tiene a su cargo la Oficina de Gestión de la Tierra (Bureau of Land Management, 2007). Esta oficina tiene entre sus compromisos editar manuales que contienen procedimientos y políticas para administrar sus programas, definiendo la manera en que se deben de realizar algunas tareas, así como los responsables de que se lleven a cabo.

Entre estos manuales, destaca el manual M-3150-1 en donde se hacen explícitos los procedimientos para llevar a cabo la exploración de hidrocarburos. En él se establece de manera concreta y con un lenguaje simple la metodología para la obtención de los permisos de exploración necesarios, se regula el uso de vehículos en la zona de prospección, se indica cómo manejar la creación y eventual sellado de las cavidades donde se insertan los explosivos que generan las ondas sísmicas y cómo reacondicionar el terreno después de realizado el estudio, qué hacer en caso de que se encuentren de manera inesperada sitios arqueológicos y en general, cómo no perturbar a la vida silvestre que habita la zona. Asimismo, el manual es muy claro en definir zonas de amortiguamiento alrededor del punto en que se llevarán a cabo

## MARCO LEGAL DE LA AFECTACIÓN

las explosiones propias del estudio, dependiendo del tipo de objeto que se encuentre en la proximidad del sitio de detonación. En la Tabla 6.3, se transcriben las distancias (expresadas en pies) a las que el manual referido establece para los diferentes objetos y en función de la cantidad de explosivo utilizado (expresado en libras).

Tabla 6.3. Distancia mínima expresada en pies entre fuente explosiva y otros objetos según la regulación estadounidense.

Objeto/peso del explosivo	0.5 lb	1 lb	2 lb	3 lb	5 lb	6-10 lb	11-15 lb	16-20 lb
Tuberías de menos de 6" de diámetro	50	100	150	150	200	250	300	400
Tuberías de 6" a 12" de diámetro	75	150	200	200	300	400	500	600
Tuberías mayores a 12" de diámetro	100	200	250	250	300	500	600	800
Línea de teléfono	20	20	30	40	40	50	50	50
Vía o carretera	50	100	150	150	150	220	280	350
Línea de corriente	75	100	200	200	200	200	250	300
Pozos de agua, edificaciones y similares	225	300	400	450	700	800	1000	1200
Edificios de concreto o ladrillo	275	400	500	600	800	1000	1200	1500
Pozos de gas y petróleo	250	450	600	700	800	900	1000	1000
Pozos de irrigación	500	800	1000	1200	1500	2000	2500	2500

### 6.2.4. Observaciones

Aun cuando un análisis más generalizado de la legislación en materia de estudios de prospección sísmica tanto a nivel marítimo como terrestre proveería sin duda de un mayor número de elementos para profundizar en la problemática misma, este, por distintas razones, se encuentra fuera del alcance de esta tesis. No obstante, la información presentada pone de manifiesto que en países comúnmente calificados como desarrollados, la legislación en el tema aquí tratado comparte las siguientes características:

1. Es práctica y trata todos los aspectos referentes al tema de estudios de prospección sísmica.
2. Establece criterios cuantitativos en términos de cantidad de explosivo y tamaño del radio para la zona de amortiguamiento.
3. Es simple y está escrita en un lenguaje claro.
4. Se encuentra disponible en un solo reglamento creado específicamente para el tema en particular.
5. Es de carácter federal o aplicable a todo el país.
6. Está disponible de manera digital y es accesible a través de Internet para todos sus pobladores.

Estas características no necesariamente aplican a la legislación respectiva en México, por lo que se requiere un esfuerzo por parte de los poderes legislativo y ejecutivo del país para subsanar esta deficiencia, especialmente tras la reciente aprobación de la reforma energética. Probablemente, la falta de motivación para hacerlo se deba a dos factores. Por un lado, se cuenta con una tradición en materia de generación de códigos legales rebuscada y poco práctica, donde la opacidad impera, sobre todo conforme la regulación desciende a través de los órdenes de gobierno del federal al municipal. Y por otro, en México solamente Pemex y las empresas por ella contratadas realizan este tipo de estudios,

mientras que al menos en Estados Unidos y Canadá (dos de los países analizados en este trabajo), estos trabajos no están monopolizados por una empresa estatal. En ese contexto y bajo esas circunstancias, la necesidad de crear leyes, normas y procedimientos en la materia se ve minimizada, ya que el gobierno presupone que Pemex cuenta con la regulación necesaria que, entre otras cosas, considera la disminución de riesgos sobre la integridad de los habitantes y empleados, la reducción de afectaciones a los bienes de las personas que viven en las zonas involucradas (incluidas sus viviendas) y la protección del medio ambiente mediante la correcta y oportuna realización de las evaluaciones de impacto y riesgo ambiental. Aun cuando esto pudiera ser cierto, es imperativo avanzar en la generación de la mencionada regulación con el fin de proteger los bienes de las personas que habitan zonas ricas en hidrocarburos, como es el estado de Tabasco, especialmente ahora que el mercado energético se ha abierto a compañías nacionales y extranjeras que competirán por el jugoso mercado que representa la extracción de hidrocarburos.



# CAPÍTULO 7

## ESTRATEGIAS PARA MITIGAR LA AFECTACIÓN EN VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS

Actualmente la edificación de vivienda se ha incrementado por la presión demográfica, lo que representa un problema de interés para distintos sectores, tales como el constructivo y el gubernamental. Se estima que en México al menos 63% de la vivienda es autoconstruida (Informador, 2010). Esta cifra indica que los asentamientos humanos se efectúan, principalmente, en viviendas construidas por sus habitantes, tanto en las zonas rurales como en las urbanas.

En el presente trabajo, se ha identificado que la cifra mencionada es acorde a lo que la mayoría de las familias efectúan en la región de estudio, ya que la opción más factible para los habitantes, respecto a costos, radica en la autoconstrucción. Desafortunadamente, debido a que no cuentan con solvencia económica ni apoyo gubernamental que les permita edificar sus viviendas con base en criterios de construcción bajo asesoría profesional, las viviendas no cumplen con las condiciones y normas a las que cualquier edificación debe sujetarse.

Ante dicha situación, y con base en el análisis estructural efectuado en las edificaciones ubicadas en Huimanguillo y Cárdenas Tab., se presentan consideraciones de importancia para la autoconstrucción de viviendas acorde con los requerimientos del sitio y atendiendo la problemática social correspondiente y a la normativa aplicable. Dichas consideraciones están basadas en un manual elaborado por expertos del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (Saldaña, 1999), en la que se describe de manera detallada todos aquellos pasos y consideraciones que se deben seguir para la ejecución óptima en la autoconstrucción. Adicionalmente, se sugiere revisar las recomendaciones efectuadas por Rodríguez en 2005; en el presente trabajo, dada la claridad y sencillez en su obra, se utiliza y presenta parte importante de su estudio. Es muy importante considerar que los criterios constructivos que se presentan conforman una estrategia general sugerida, por lo que deben seguirse con las reservas correspondientes, así como procurar asesoría profesional.

### 7.1. CONSIDERACIONES MÍNIMAS EN LA AUTOCONSTRUCCIÓN

Como se sabe, la vivienda debe cubrir las necesidades básicas de los que la habitan, que les proporcione privacidad, confort, que les proteja de las inclemencias del tiempo y que les brinde seguridad. La falta de conocimiento para construir correctamente, puede generar a la larga, más gastos y sobre todo, mayor inseguridad, convirtiendo a la vivienda vulnerable ante fenómenos naturales o antrópicos.

En ésta sección se presenta información de utilidad para efectuar de forma más eficiente la edificación de una vivienda, para ello:

1. Se describen brevemente los materiales más utilizados en una construcción.
2. Se sugiere cómo elegir un terreno previo a la construcción y cómo efectuar la limpieza, nivelación y trazado del mismo.
3. Se presentan los criterios mínimos para construir la cimentación, así como algunas dimensiones de cimientos para construcciones de uno y dos niveles.
4. Se menciona brevemente bajo qué criterios elegir materiales y mano de obra.
5. Se presentan alternativas de construcción con base al clima de la región de estudio.
6. Se presentan criterios constructivos básicos ante incendios y efectos sísmicos.
7. Se presentan dos modelos de vivienda, sugeridos por Rodríguez (2005), que consideran los requerimientos mínimos para una vivienda, tratando de evitar espacios innecesarios. Dichas propuestas arquitectónicas se deberán ajustar a las dimensiones del lote que se disponga.

#### **7.1.1. Materiales más utilizados en la construcción**

El uso y elección de los materiales es primordial cuando se pretende construir o renovar. Sin embargo, las características y funciones de los materiales son diversas, por lo que sus usos varían. Por tanto, la elección de los materiales de construcción depende del empleo que se le vaya a dar, su disponibilidad y el presupuesto que se tenga.

Existe una gran variedad de materiales utilizados en la construcción, los más utilizados se enlistan a continuación:

1. *Piedra*: es uno de los primeros materiales empleados en la construcción, es un material pétreo que ha sido la base de la construcción para distintas civilizaciones. Son empleados como materia prima para cementos y concretos, además de ser utilizado como elemento estructural y decorativo. Para que pueda ser aprovechadas de manera óptima en la construcción, deben reunir las condiciones siguientes:
  - Ser homogéneas, compactas y de grano uniforme.
  - Carecer de grietas y restos orgánicos.
  - Ser resistentes a las cargas (soportar 500 kg/cm<sup>2</sup> las eruptivas y 250 kg/cm<sup>2</sup> las sedimentarias).
2. *Materiales aglomerantes*: son aquellos materiales amasados con agua, que tienen como principal propiedad el fraguar y endurecer. Los aglomerantes más utilizados en la construcción son la cal, el

yeso y el cemento. Estos se mezclan con los agregados, arenas y gravas formando morteros y concretos.

3. *Cemento*: el cemento portland está compuesto principalmente de materiales calcáreos tales como caliza, y de alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla o pizarra. El cemento puede ser utilizado de las siguientes maneras:
  - Mezclándolo con arena muy fina y agua se le emplea para aplicación de lechada en las cubiertas de los techos construidos con ladrillo.
  - Revuelto con arena y agua se utiliza como mortero para pegar tabique, block o tabicón, y en cimentaciones, para unir la piedra. Asimismo, es utilizado para el aplanado de los muros.
  - Mezclándolo con arena, grava y agua se obtiene el concreto.
4. *Mortero*: es la mezcla de arena, cal o cemento y agua. La arena interviene como materia inerte cuya finalidad es dar solidez a la masa desecada y evitar el resquebrajamiento que se produciría si se empleara solamente el aglomerante. Su característica es endurecerse con el tiempo y forma una masa común con los materiales que une.
5. *Concreto armado*: está compuesto por concreto simple (cemento, arena, grava y agua) y varilla de acero. Consiste esencialmente en un medio conglomerante dentro del cual se hallan ahogadas partículas o fragmentos de agregados. En el concreto de cemento hidráulico, el medio conglomerante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua. Sus ventajas son:
  - Capacidad de adaptación a cualquier forma geométrica.
  - Mayor durabilidad.
  - Mantenimiento mínimo.
  - Resistencia al fuego.

Por otra parte, sus desventajas son:

- Dimensión mayor en las piezas.
- Peso propio mayor.
- Menor rapidez de ejecución.

La proporción de una mezcla para concreto se reduce a la elección de una relación apropiada de agua y cemento para una resistencia determinada, así como de los agregados inertes (grava y arena). La definición de la granulometría de los agregados inertes (tamaño y forma), es tan importante como la relación agua/cemento. Para lograr un buen concreto, la mezcla debe contener la menor cantidad posible de burbujas de aire o huecos entre los agregados en el volumen total del aglomerado.

El concreto se elabora con la mezcla de cuatro materiales: cemento, agua, arena y grava. Para proporcionar al concreto la medida correcta, se puede utilizar al llamado bote alcoholero, que está constituido por 18 litros. Es importante señalar que el clima influye, principalmente en el agua, con

bajas o altas temperaturas que pueden perjudicar al concreto. Para hacer una mezcla de alta calidad, se debe reducir el agua a lo mínimo indispensable. El empleo excesivo de agua perjudica la resistencia del concreto. La impermeabilidad en el concreto es un requisito esencial para las condiciones climáticas a las que estará expuesto. Esto se logra con una proporción adecuada de agua y un fraguado rápido. En la Tabla 7.1, se presenta la resistencia de un concreto, expresado como  $f'c$ , más común para diferentes elementos constructivos.

Tabla 7.1. Resistencia y elaboración del concreto ante diferentes usos constructivos (Saldaña, 1999).

Resistencia $f'c=kg/cm^2$	Uso	Proceso
100	Plantilla y pisos burdos.	Manual
150	Pavimentos, castillos, dalas, concreto ciclópeo en cimentaciones y fosas sépticas.	A máquina
200	Concreto armado con proporción 1:2:5, losas, muros de concreto armado, cimentaciones y estructura en general.	A máquina
250	Concreto para losas y trabes de grandes claros y columnas.	A máquina

De igual manera en las Tablas 7.2 y 7.3 (Saldaña, 1999), se presenta la resistencia del concreto con base en el tamaño de la grava. Cabe destacar que el saco de cemento tipo 1 normal contiene 50 kg. La arena es de media a fina y la medida es de botes (el llamado alcoholero) con capacidad de 18 litros que no tenga deformaciones.

Tabla 7.2. Proporción de mezcla de concreto en los usos más comunes (grava de  $\frac{3}{4}$ ).

Resistencia $f'c=kg/cm^2$	Uso	Cemento	Agua (botes)	Arena (botes)	Grava (botes)
100	Muros y pisos.	Un saco	2 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
150	Trabes y dalas.	Un saco	2	5	$\frac{3}{4}$
200	Losas y zapatas.	Un saco	1 $\frac{1}{2}$	4	5
250	Columnas y techos.	Un saco	1 $\frac{1}{3}$	3	4
300	Alta resistencia.	Un saco	1	2 $\frac{1}{3}$	3 $\frac{1}{2}$

Como se puede observar, el manejo del agua tiene una gran importancia para la fabricación del concreto. El conocimiento de las proporciones agua/cemento y de grava/arena permite utilizar al concreto de manera adecuada de acuerdo con los requerimientos y con la proporción.

Tabla 7.3. Proporción de mezcla de concreto en los usos más comunes (grava de 1 1/2).

Resistencia f'c=kg/cm2	Uso	Cemento	Agua (botes)	Arena (botes)	Grava (botes)
100	Muros y pisos.	Un saco	2 1/4	6 1/2	9
150	Trabes y dalas.	Un saco	2	5	7 3/4
200	Losas y zapatas.	Un saco	1 1/2	4	6 1/2
250	Columnas y techos.	Un saco	1 1/3	3 1/2	5 1/2
300	Alta resistencia.	Un saco	1	2 1/3	4 3/4

6. *Cerámicos*: son piezas prefabricadas, que constituyen uno de los principales materiales de la construcción. Se utilizan para la edificación de todo tipo de muros, paredes, pilares, arcos y bóvedas.

Tipos de ladrillo:

- Ladrillo macizo: tiene forma de ortoedro compacto, lo que ayuda a aligerar su peso y en consecuencia facilita el trabajo con el mortero. Es un ladrillo homogéneo, duro y de forma regular, está moldeado y tiene las aristas vivas, es poroso para poder adherirse de mejor manera al mortero y se corta con facilidad. En obra, es posible realizarle una prueba rápida, que consiste en frotar uno con otro, el resultado deseado es que no se desmorone y que siga presentando una masa homogénea. Adicionalmente, al partir alguno de ellos, no deberá presentar caliche, que con el tiempo llega a disgregar el material. Para los ladrillos macizos se recomiendan especialmente las dimensiones de 24x11.5x5.3 cm y 29x14x6.5cm.
- Ladrillo hueco: contiene huecos en las tablas y es de superficie mayor. Entre sus ventajas se encuentran, ser de menor peso, utilizar menor cantidad de combustible en su cocción, requerir menor costo en la fabricación (al emplear menos pasta), tener menor costo de acarreo y mayor poder aislante en comparación con los macizos (por contener cámaras de aire).
- Ladrillo recocho: son los mejor cocidos, tienen un color rojo encendido o amarillo claro. Son mayormente utilizados en exteriores.
- Ladrillo refractario: son resistentes a la acción del fuego intenso. Se utilizan para revestimiento interno de hogares, chimeneas, hornos y otros.
- Ladrillo prensado: son elaborados mecánicamente, se aplican en trabajos que no incluyen ningún retoque, por lo que es un ladrillo más uniforme en cuanto a color y aristas.
- Baldosas: se utilizan para la formación de pavimentos y están hechas a base de tierra cocida.

Las más empleadas son:

- Baldosines: se fabrican con arcillas seleccionadas y moldeadas a máquina. Tienen aplicaciones limitadas a galerías, terrazas, etc.
- Baldosas de cemento: sus dimensiones son de 20x20 cm, existiendo una variedad de dibujos. Se utilizan para la pavimentación de lugares de tránsito continuo como son

aceras, almacenes andenes, etc. Las piezas para pavimentos y revestimientos de muros se fabrican de 20x20 cm con diversas formas y colores. Se clasifican como piezas relativamente grandes y piezas pequeñas. Estas últimas pueden cambiarse por varios tipos de composiciones para la formación de mosaicos:

- Azulejos: piedras destinadas a revestimientos de muros, están elaborados de tierra cocida y vidriada o esmaltada. Se emplean principalmente en las cocinas y baños.
- Mosaico hidráulico: se utilizan para el pavimento de viviendas, presenta una desventaja que es el número de juntas, el cual aumenta su costo en relación con el de otros materiales que podrían emplearse.

7. *Bloques de concreto*: se entiende por block, ladrillo o tabique y tabicón de concreto, al material de construcción de forma prismática, sólido con huecos, fabricado con cemento y agregados apropiados, tales como arena, grava, piedra triturada, piedra pómez (en algunas regiones conocido como jal), escoria volcánica o tezontle, arcillas expandidas, pizarras expandidas, etc. Los blocks de concreto utilizados en la construcción responden a necesidades diversas, son utilizados tanto en muros interiores o exteriores con carga o sin carga. Los blocks huecos han sido una solución práctica y económica para aligerar las losas de concreto y para colocar instalaciones evitando grietas excesivas en losas y muros. Proporcionan una mejor calidad que otros materiales debido a su proceso de producción que se efectúa con un mayor grado de técnica por medio de métodos repetitivos, con un control sistemático y con rendimientos óptimos.
8. *Metales*: los metales más empleados en la construcción son el hierro, el aluminio, el plomo, el cobre, el zinc y el estaño. Raramente se encuentran en estado puro en la naturaleza, por lo que para su empleo hay que someter los minerales a una serie de operaciones denominadas metalurgia, cuyo fin es separar el metal de las impurezas u otros materiales que lo acompañen, para que adopten sus formas futuras según su destino y sean capaces de soportar los esfuerzos a los que van a estar sometidos.
9. *Vidrio*: sustancia dura, amorfa, quebradiza que se fabrica mediante la fusión de la mezcla de óxidos de sílice, boro o fósforo. Es un material muy empleado en la construcción, pues además de la aplicación tradicional que tiene en los huecos, interviene en la edificación de fachadas ligeras, paredes divisorias, suelos, cubiertas, y otros.
10. *Aislantes*: por sus características especiales, se utilizan para formar una barrera al paso del frío o del calor desde el exterior hacia el interior de un local o viceversa y también para reducir el paso de ruidos y vibraciones. Existen básicamente tres tipos de aislamiento, el térmico, el acústico y el ignífugo.

**7.1.2. Terreno: elección, limpieza, nivelación y trazado**

En muchas ocasiones las viviendas son desplantadas en sitios irregulares, por lo que otro factor de importancia es la elección correcta del terreno donde se realizará el asentamiento. Por lo anterior, y con base en el manual elaborado por Saldaña (1999), se presentan criterios para elegir el terreno, los materiales y la mano de obra adecuados para la construcción de una vivienda.

Para construir, se requiere tener un proyecto de la vivienda, esto es, no existen recetas o fórmulas, pues normalmente se realiza bajo condiciones que son específicas para cada caso en particular. Para quien no se dedica a la profesión, las variantes no son perceptibles, sin embargo, de su justa apreciación depende lo adecuado de un proyecto y de la inversión en la construcción. A continuación se mencionan los aspectos físicos más importantes que deben tomarse en cuenta al escoger el terreno donde se construirá la vivienda:

1. Topografía y nivelación: los lotes ideales para construir son los que tienen formas regulares y están bien nivelados.
2. Mecánica de suelos: los terrenos con mayor potencial en el suelo para sustentar el peso de la construcción son los óptimos.
3. Soleamiento: los terrenos que permiten orientar las construcciones con ventanas son mejores.
4. Vientos: los terrenos se deben proteger de vientos, fríos o huracanados, las brisas en las costas se consideran adecuadas.
5. Escurrimientos superficiales: los terrenos deben estar alejados de posibles cauces de agua, aun cuando sean eventuales, por el riesgo que esto constituye.

Los terrenos con topografía regular, pendientes mínimas e infraestructura previa, son los ideales para construir pero los costos de financiamiento que éstos tienen, son inaccesibles para la mayoría de la población, por ello, en muchas ocasiones, se opta por adquirir lotes irregulares de tipo residual como los que se mencionan a continuación:

1. Cañadas: en las cañadas de la periferia se edifica sobre terrenos con formas irregulares y residuales. La topografía y la nivelación del terreno pueden tener un parcelamiento lógico o caótico, agravado por fuertes pendientes y carencias de infraestructura.
2. Alta pendiente: son los más expuestos a fallas en los taludes, con deslizamientos que pueden producir el colapso en las construcciones. Dicha condición, requiere el uso de mecánica de suelos para evaluar el riesgo de la construcción.

En la Tabla 7.4, se presenta una breve descripción del riesgo y el costo al que puede enfrentarse el constructor ante distintas pendientes del terreno.

Tabla 7.4. Situación de riesgo/costo ante distintas pendientes de terreno (Saldaña, 1999).

<b>Pendiente</b>	<b>Situación</b>	<b>Consistencia</b>
5%	Apto	Blando
10%	Incremento de costo	Medio
15%	Incremento de costo	
20%	Costo y riesgo	Duro
25%	Inconveniente	
30%	Alto riesgo	Roca

Además de lo anteriormente señalado, para la edificación de viviendas en la región del presente estudio, se recomienda contemplar que las construcciones pueden presentar fallas por el tipo de subsuelo presente en la región. Las construcciones de mampostería, por ejemplo, tienen un peso que puede resultar excesivo y difícilmente darán indicios de falla, y es posible que la que se pueda presentar sea repentina. En ese sentido, se debe considerar que la vivienda podría ubicarse sobre terrenos de arcilla, que son de origen lacustre, por lo que tienen un gran contenido de agua y son altamente compresibles. Esto es, su resistencia a la compresión es muy inferior a la de terrenos arenosos y presentan una conducta elástico-plástica que puede resultar en una respuesta dinámica a los sismos o vibraciones del terreno con amplificaciones significativas.

Por otra parte, Rodríguez (2005) recomienda que para preparar el lugar donde se edificará, el terreno debe estar libre de basura, hierba, escombros o restos de construcciones anteriores. Asimismo, recomienda nivelar el terreno para deshacerse de cúmulos de tierra o de algún otro material que pudiera representar un obstáculo. El trazado de la obra se describe en la Fig. 7.1 con base en las recomendaciones de Rodríguez (2005).

De igual manera, el procedimiento de trazado se realiza de la siguiente manera:

1. Delimitar en forma precisa el terreno, tomando como referencia una de las líneas de colindancia (clavando dos estacas en sus extremos y tendiendo un hilo entre ellas).
2. Tomar como base la colindancia, marcando sobre ella los puntos en los que se van a encontrar los muros perpendiculares a esta.
3. Medir en forma precisa a partir del alineamiento y marcarlo sobre el hilo de la colindancia o sobre el muro de la construcción vecina.
4. Colocar hilos perpendiculares en cada punto, utilizando la escuadra de madera.
5. Tender sobre cada línea nuevos hilos sostenidos por estacas.

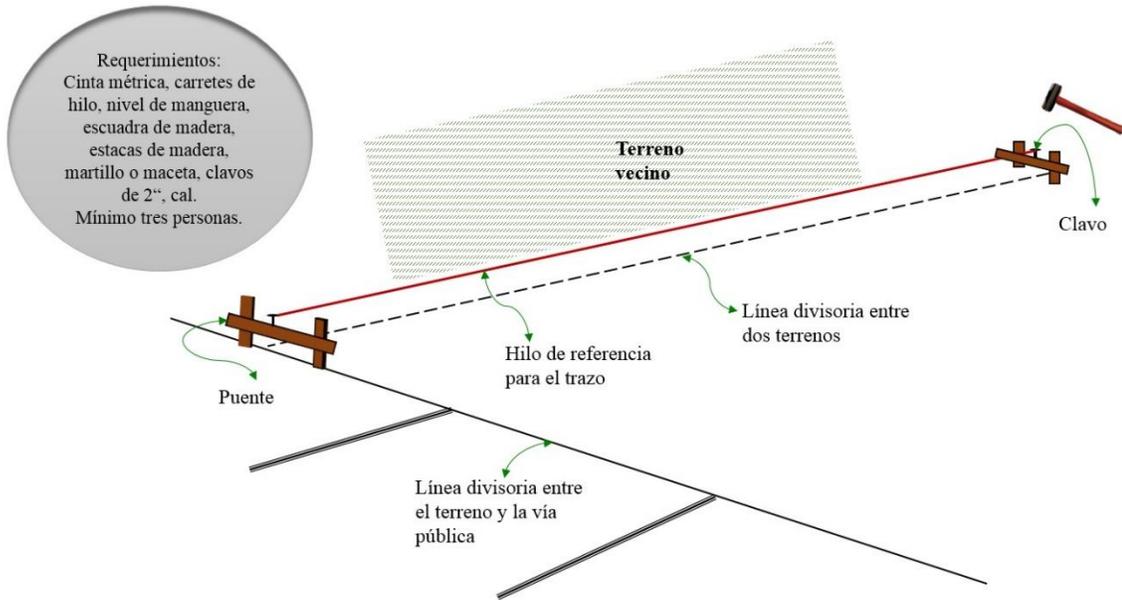


Figura 7.1. Tendido de hilos (basado en Rodríguez 2005).

Posteriormente, para efectuar el trazo de perpendiculares se requiere lo siguiente (ver Fig. 7.2):

1. Emplear escuadra haciendo coincidir los hilos con los bordes de la misma.
2. Amarrar los hilos sobre los puentes volviendo a rectificar la perpendicular con la escuadra.
3. Repetir el proceso para los muros que estarán perpendiculares a estos trazos, para formar los cuadrados o rectángulos que constituirán las habitaciones de la construcción.

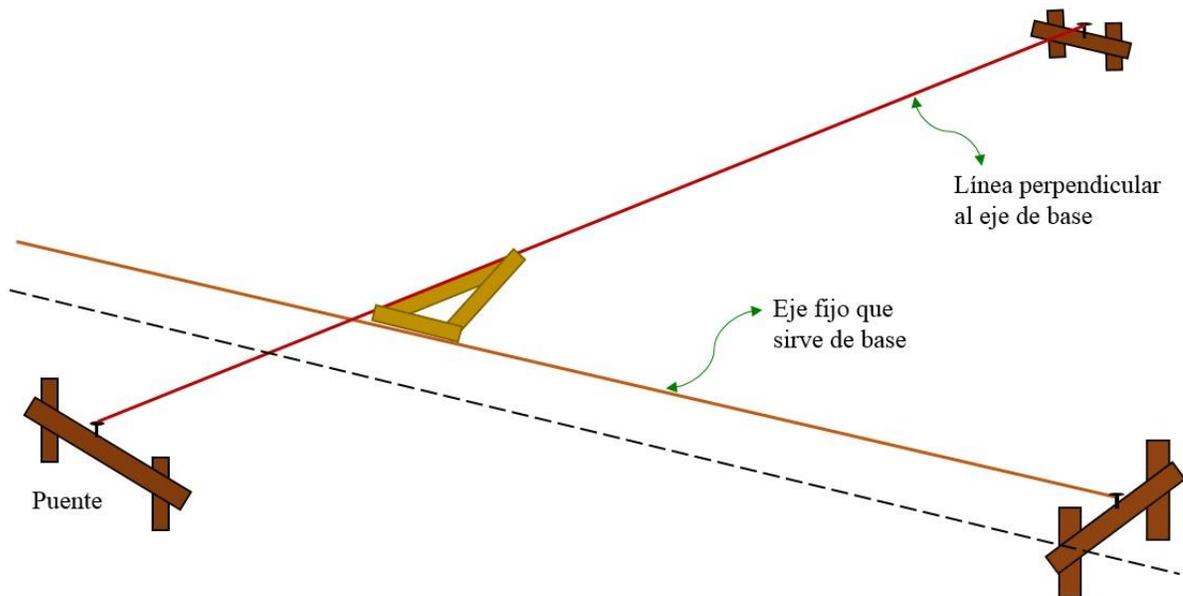


Figura 7.2. Trazo de perpendiculares (basado en Rodríguez 2005).

Cuando los ejes hayan sido tendidos, con los hilos de los ejes se deberá marcar el ancho de la zanja que se va a excavar para la cimentación. Si es colindante con otro terreno a construcción, la zanja se marcará de un solo lado del hilo. Se recomienda marcar las líneas con cal. Cabe destacar que el ancho de la cepa se determina midiendo la mitad de la base del cimiento y sumándole 10 cm a ambos lados del eje.

Para realizar la excavación para la cimentación, se recomienda primero realizar una pequeña excavación de aproximadamente 50 cm de profundidad, con el fin de conocer la dureza del terreno. Es de suma importancia realizarlo porque de esto depende el ancho de cimentación que se construirá. En la Tabla 7.5 se presenta la división de los tipos de terrenos con base en su dureza.

Tabla 7.5. Tipos de terreno (Rodríguez, 2005).

Tipo de terreno	Característica
Terreno malo	Presenta aspecto húmedo y esponjoso. Si se clava una herramienta pesada, ésta penetra con facilidad.
Terreno regular	Se puede excavar fácilmente con pala, es decir, no requiere que la tierra sea aflojada con zapapico.
Terreno intermedio	Requiere del empleo de zapapico, sin embargo, éste penetra fácilmente.
Terreno bueno	El zapapico penetra difícilmente en el terreno.

Para realizar el relleno y apisonado debe realizarse con tierra limpia en capas no mayores de 20 cm de espesor que deben ser humedecidas y compactadas con pisón de mano. En caso de que haya desperdicios o basura, deberán retirarse primero.

Finalmente, durante la selección del terreno, se sugiere verificar si cuenta con servicios de agua, drenaje y electricidad. De existir, debe considerarse la ubicación del lote (zona baja o alta), pues se puede complicar el acceso a los servicios y tal situación puede ocasionar entre otros, baja presión del agua que requerirá ser bombeada, o inclusive, la creación de fosas sépticas o de sistemas que atenten contra la ecología. Asimismo, se sugiere contemplar que se requerirá realizar el pago de derechos por cada uno de los servicios con que se cuenten, desde su conexión hasta la renta mensual, además de que el costo en ocasiones está en función de la zona donde se ubique el terreno. Por otra parte, de no existir servicios, se recomienda consultar con las autoridades o funcionarios pertinentes para su puesta en servicio. Como se sabe, para zonas con bajo desarrollo urbano la situación es incosteable para las dependencias responsables, no obstante, con ayuda de los programas municipales podría existir la posibilidad de llevar la infraestructura hasta donde se localiza el predio.

### 7.1.3. Cimentación

Las dimensiones y tamaño de un cimiento dependen del peso de la construcción, esto es, de los materiales con el que está edificada y del número de niveles. Si la edificación tiene un peso significativo, la base del cimiento debe ser más ancha. Adicionalmente, la dimensión de la base está ligada al tipo de terreno, si la resistencia de este es baja, mayor será el ancho de la cimentación. En una vivienda, las cimentaciones más comúnmente usadas son las siguientes:

1. Las *interiores*: están comprendidas dentro de las exteriores (Fig. 7.3a).
2. Las *exteriores*: se encuentran en el borde de toda construcción. Dentro de ellas se encuentran también las de colindancia, es decir, las que están a lado de la propiedad vecina. Ellas se construyen con una cara vertical con el propósito de no invadir la propiedad ajena (Fig. 7.3b).

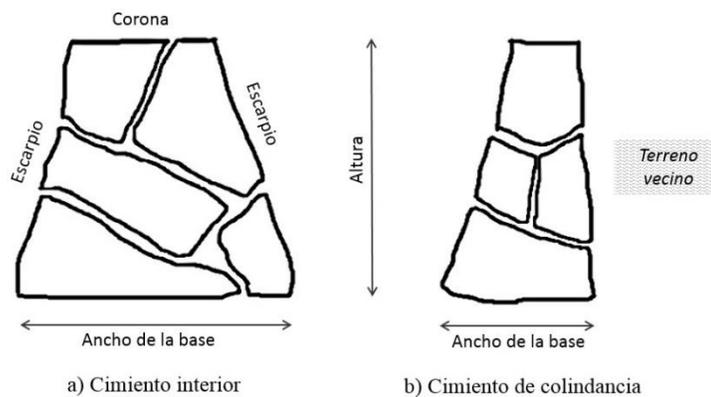


Figura 7.3. Nomenclatura de un cimiento.

En las Tablas 7.6 y 7.7, se indican algunas dimensiones de cimientos para construcciones de uno y dos niveles respectivamente, estimadas para los tipos de terreno señalados en la Tabla 7.5. Cabe mencionar que se consideran losas de concreto para habitaciones de 4.00 x 4.00 m de lado y altura de 3.00 m (de piso a techo), así como para muros de tabique de 14 cm de espesor.

Es recomendable que el nivel de la corona de los cimientos quede al mismo nivel, o inclusive, sobresalga un poco del terreno, nunca por debajo del mismo.

Tabla 7.6. Cimentación para construcciones de un nivel (Rodríguez, 2005).

Dimensiones	Terreno malo		Terreno regular		Terreno intermedio		Terreno bueno	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Ancho de la base	0.80	0.65	0.65	0.50	0.50	0.40	0.40	0.40
Altura	0.60	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Ancho de la corona	0.25	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

Tabla 7.7. Cimentación para construcciones de dos niveles (Rodríguez, 2005).

Dimensiones	Terreno malo		Terreno regular		Terreno intermedio		Terreno bueno	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Ancho de la base	1.20	1.00	0.90	0.70	0.80	0.60	0.50	0.40
Altura	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.50	0.50
Ancho de la corona	0.25	0.35	0.25	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25

#### 7.1.4. Materiales y mano de obra

Respecto a los materiales y la mano de obra, se debe considerar que los materiales de construcción son característicos de una localidad, región o estado; por lo que se sugiere elegirlos según la experiencia y conocimiento de los locatarios, teniendo en cuenta que pueden ser adaptados con base en los requerimientos de la edificación de la vivienda. Ello también, garantizará la mano de obra eficiente y económica para trabajarlos, evitando fletes costosos por su traslado. Para la elección de materiales se recomienda atender y especificar en la construcción lo siguiente:

1. Aprovechar los recursos naturales de la región, ya sea piedra, yeso, grava, arena, madera u otro.
2. Contemplar la facilidad de manufactura o fabricación.
3. Estimar facilidad de ejecución para realizar una construcción simplificada.
4. Evaluar un costo bajo, considerando fletes reducidos, mano de obra local y de mantenimiento mínimo.
5. Elegir de acuerdo al clima existente.
6. Valorar durabilidad.
7. Considerar facilidad de adquisición.
8. Tener garantía por defecto de fabricación, si es el caso.
9. Permitir facilidad de reparación o sustitución.

Actualmente, la variedad de materiales y mano de obra es vasta en el país, y si a ello se suman las nuevas tecnologías en materiales, es posible construir viviendas cómodas a bajo costo, fundamentalmente con elementos fabricados o manufacturados a base de cemento. Asimismo, las posibilidades que tiene el mexicano para la fabricación y ejecución de los nuevos materiales son ilimitadas y la capacitación en obra es una posibilidad abierta que puede beneficiar la economía respecto a la construcción de las viviendas. Se podría asegurar que los materiales existentes en la región o la localidad, proporcionan también el desarrollo de la mano de obra de quienes los laboran, por ejemplo, donde se trabaja con piedra existen canteros, en zonas boscosas hay carpinteros y en zonas de sembradíos hay quienes trabajan el barro, tabique, teja u otros.

La mano de obra, puede no sólo ser especializada, esta puede provenir de la transmisión de conocimientos prácticos, diversificada por albañiles, carpinteros, herreros, yeseros, plomeros, electricistas, fierros u otros. El pago de la mano de obra, de acuerdo con la especialización y actividad a ejecutar, tiene sus tarifas estandarizadas; se aconseja solicitar por lo menos dos presupuestos para hacer una comparación. De preferencia, deben existir referencias de los trabajadores. En gran parte del país éstos están agremiados en sindicatos y habrá que considerarlo para efectos del presupuesto. Al contratar al trabajador de la construcción, se adquiere la responsabilidad de inscribirlo en el Instituto Mexicano del Seguro Social, se sugiere cumplir con ello para evitar los problemas que se derivan de no hacerlo.

#### **7.1.5. La vivienda y el clima**

En el sureste de México, como en otras regiones del país, los habitantes se enfrentan a fenómenos físicos que pueden dañar su *hábitat* y con ello, su bienestar personal. Los fenómenos naturales son, en muchas ocasiones, inevitables y requieren ser contrarrestados de la manera más oportuna y eficiente. El clima es un factor importante que debe considerarse al construir una vivienda, ya que puede influir de manera fundamental en el confort térmico del que la habita.

Por lo anterior, es preciso definir los requerimientos de la vivienda con base en el clima y el medio natural, para proteger a los habitantes del sol, la lluvia, el viento y otros fenómenos de la naturaleza.

El clima del presente estudio, como se indicó en la sección 3.1.5 de esta tesis, es cálido húmedo, siendo su característica principal la presencia de altas temperaturas en gran parte del año, por lo que se busca evitar los rayos solares para reducir el calor excesivo. Y, aunque toda edificación se calienta, a continuación se presentan algunos aspectos a considerar para disminuir su calentamiento (Saldaña, 1999):

1. Orientación: debe existir una orientación adecuada de la vivienda, protegiendo el mayor número de las áreas habitables (recámaras, sala, comedor y estudio) o las no habitables (baños, cocina y cuarto de lavado). Deben orientarse al Norte o al Sur, buscando la captación de los vientos dominantes para provocar su paso dentro de la vivienda y obtener la ventilación cruzada.
2. Sombreado: el sombreado de la vivienda aumenta el confort térmico y se puede adquirir de diferentes maneras:
  - a. Con nichos (huecos profundos), donde se alojan las ventanas.
  - b. Con faldones.
  - c. Con vegetación.
  - d. Con elementos de fachada, tales como balcones, volúmenes, quiebres u otros.

## ESTRATEGIAS PARA MITIGAR LA AFECTACIÓN EN VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS

3. Ventilación: se realiza mediante el aumento de volumen de aire interior. Esto se consigue elevando la altura de los techos o entrepisos, así como ampliando las dimensiones de las habitaciones.
4. Equipo para clima artificial: para ello se deben prever las adaptaciones a través de la preparación para instalaciones y la consideración espacio y costo.
5. Materiales aislantes: uso de materiales aislantes del calor en muros, tales como blocks huecos, de mayor grosor y con aplanados rugosos. Aislantes del calor en losas, a través de cámaras de aire con aislante integral. Aislantes del calor en pisos, a base de mosaicos, terrazos, barro, cerámicos, cemento y concreto.
6. Color: el color debe ser de preferencia blanco, tanto en interiores, como en exteriores, o bien de tonos pastel (conocidos como colores fríos) azul, verde o gris. Además de emplear impermeabilizantes o terminados en azotea de colores claros o blancos.
7. Control de incidencia de los rayos solares: evitar que caigan perpendiculares y se absorba más calor mediante la inclinación de las losas.
8. Control de la irradiación de calor: reduciendo áreas de ventanas al Oriente y Poniente.
9. Control del reflejo del calor: reduciendo superficies de pavimentos cercanos a la vivienda, sobre todo los oscuros. El reflejo se atenúa con vegetación, tales como pasto, maleza u otros.
10. Ventilación natural provocando el efecto de tiro: el aire caliente tiende a estar en la parte alta de la vivienda y se puede extraer con una abertura en el techo, puede ser una ventana, algún hueco o cambio de losas.
11. Ventilación con circulación del aire evitando que el aire caliente quede encerrado en la habitación: ello se logra con perforaciones en la parte alta del muro con rejillas en puertas o ventanas.

Con los productos fabricados a base de cemento y concreto, además de obtener una mayor economía (calidad a bajo costo), los muros y losas impiden la penetración del calor dentro de la vivienda, sobre todo con cámaras de aire huecos; y también en pisos, donde el uso del cemento es fácil, económico y muy fresco.

Adicionalmente, Morillón y Mejía (2004), sugieren utilizar elementos de control solar, que son elementos opacos que se diseñan y construyen para interceptar toda la radiación solar directa y una parte considerable de la radiación difusa. Con estos dispositivos, es posible obtener un sombreado en la época de verano y el soleamiento durante el invierno, siempre y cuando estén diseñados de acuerdo con la cambiante trayectoria solar estacional. Para lograr lo anterior y para obtener un equilibrio del confort interno eficiente, se deben considerar cuidadosamente, los factores de localización, latitud y orientación. Algunos elementos de control solar son los siguientes:

1. Aleros (horizontales).
2. Partesoles (verticales).
3. Combinación de ambos.

El primer elemento, es un dispositivo horizontal que sobresale de la parte superior de la ventana y que obstruye la componente vertical de la radiación solar. Los *aleros* se caracterizan según su ángulo de protección, formado por el plano horizontal en la base de la ventana y una línea imaginaria que une la parte más sobresaliente del alero con el punto más bajo de la ventana (Fig. 7.4).

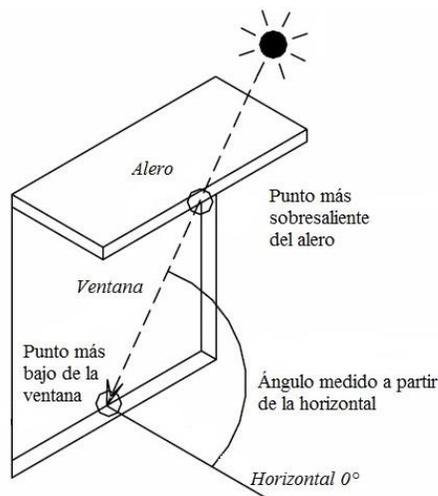


Figura 7.4. Representación del alero (Morillón y Mejía, 2004).

Para comprender de una mejor manera el intervalo de protección (o de sombreado) del alero, es importante distinguir lo siguiente:

1. Un alero con ángulo de protección de  $0^\circ$ , corresponde a un alero de longitud infinita que intenta obstruir toda la radiación solar durante todo el tiempo (Fig. 7.5a).
2. Un alero con ángulo de protección de  $90^\circ$ , equivale a la ausencia o inexistencia del alero, por consiguiente toda la radiación solar incidirá sobre la ventana (Fig. 7.5b).
3. Un alero que se ubique entre los aleros de  $0$  y  $90^\circ$ , es considerado como el adecuado. Con ellos, parte de la radiación es obstruida (sombra) y otra parte incide sobre la ventana (Fig. 7.5c).

El segundo elemento a considerar es el llamado *partesol*, que es cualquier elemento vertical cercano a la ventana que obstruya la componente horizontal de la radiación solar, sobre todo en las horas cercanas a la salida y puesta del sol. Los partesoles se especifican según su ángulo de protección, que está definido por el plano vertical de la ventana y por una línea imaginaria que une el punto más sobresaliente del partesol con el extremo opuesto de la ventana (Fig. 7.6).

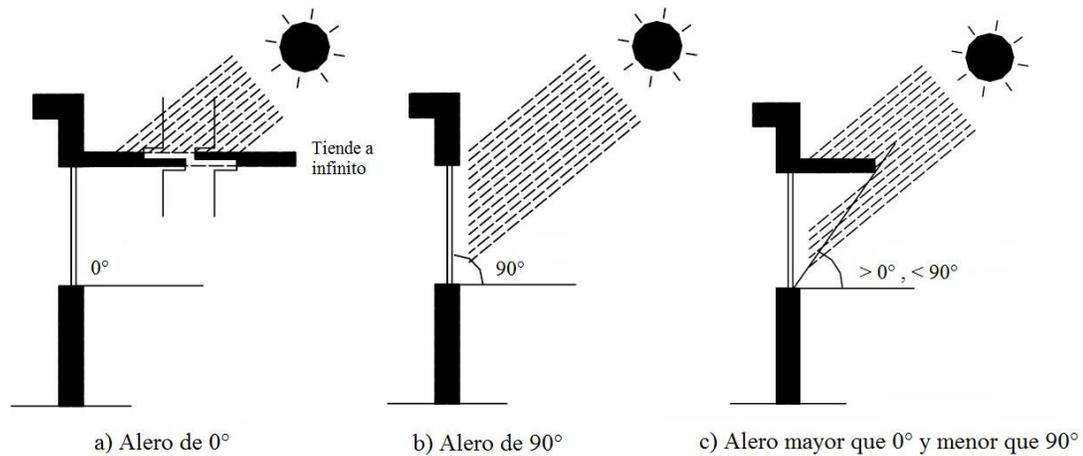


Figura 7.5. Casos específicos de aleros (Morillón y Mejía, 2004).

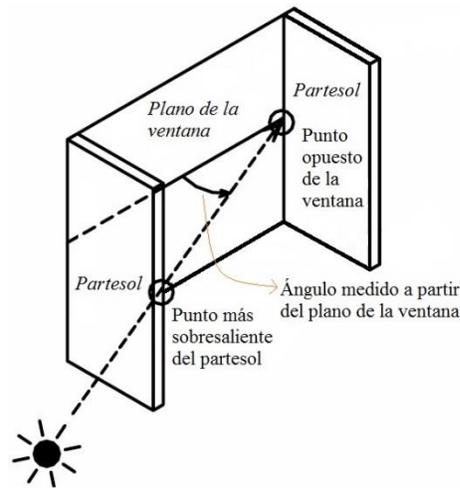


Figura 7.6. Representación del partesol (Morillón y Mejía, 2004).

Al igual que en los aleros, los partesoles se distinguen por lo siguiente:

1. Si el ángulo del partesol es de  $0^\circ$ , significa que no existe el partesol y, por lo tanto, toda la radiación solar incide sobre la ventana (Fig. 7.7a en planta).
2. Si el ángulo de protección es de  $90^\circ$ , significa que el partesol tiende a infinito y por lo tanto obstruirá totalmente el paso de la radiación solar durante todo el tiempo (Fig. 7.7b).
3. Si el ángulo de protección es mayor que  $0^\circ$  y menor que  $90^\circ$ , parte de la radiación solar incidente será obstruida por el partesol y otra parte pasará a través de la ventana (Fig. 7.7c).

Con base en lo indicado, se puede inferir que la efectividad de los elementos de sombreado o de protección solar depende del éxito relativo con que se cubra la superficie dada durante el periodo de calor sin interceptar la energía del sol durante el periodo de frío, de acuerdo con los requerimientos internos de climatización.

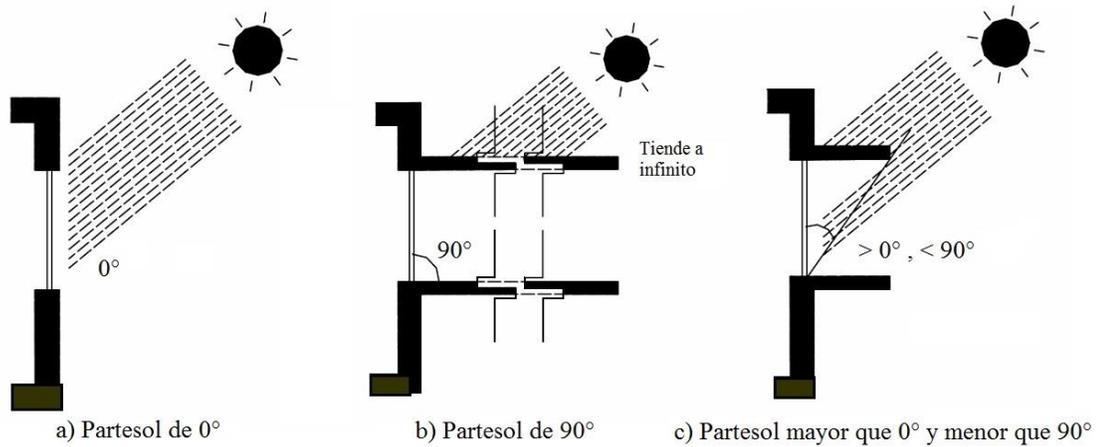


Figura 7.7. Casos específicos en partesoles (Morillón y Mejía, 2004).

Dado que los dispositivos de control solar tienen que ubicarse en la parte exterior de una edificación, es decir en las fachadas, se convierten en elementos arquitectónicos que adquieren diferentes soluciones o expresiones visuales (Fig. 7.8).



a) *Aleros*



b) *Partesoles o quiebrasoles*

Figura 7.8. Ejemplos de dispositivos de control solar.

Finalmente, con el propósito de optimizar el uso de la ventilación natural como sistema de control térmico, en un clima cálido húmedo, en la Tabla 7.8 se presentan las características y recomendaciones aplicables para diferentes tipos de construcciones. Dicha Tabla está constituida por consideraciones para la ciudad de Villahermosa, Tab., estudiada por Morillón y Oropeza en 2009, y contiene la orientación que debe tener la construcción, los materiales a utilizar y los sistemas pasivos de climatización entre otros.

Tabla 7.8. Características y recomendaciones aplicables para diferentes tipos de edificaciones en clima cálido húmedo (Morillón y Oropeza, 2009).

<b>Condición</b>	<b>Detalle</b>												
Bioclima:	Cálido húmedo.												
Vientos dominantes:	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alisios todo el año (soplan de manera relativamente constante en verano y menos en invierno).</li> <li>✓ Ciclones tropicales en verano y otoño.</li> <li>✓ Nortes en invierno.</li> </ul>												
Horas de confort al día:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Enero (8)</td> <td style="width: 50%;">Julio (10)</td> </tr> <tr> <td>Febrero (8)</td> <td>Agosto (10)</td> </tr> <tr> <td>Marzo (7)</td> <td>Septiembre (10)</td> </tr> <tr> <td>Abril (9)</td> <td>Octubre (9)</td> </tr> <tr> <td>Mayo (9)</td> <td>Noviembre (7)</td> </tr> <tr> <td>Junio (11)</td> <td>Diciembre (7)</td> </tr> </table>	Enero (8)	Julio (10)	Febrero (8)	Agosto (10)	Marzo (7)	Septiembre (10)	Abril (9)	Octubre (9)	Mayo (9)	Noviembre (7)	Junio (11)	Diciembre (7)
Enero (8)	Julio (10)												
Febrero (8)	Agosto (10)												
Marzo (7)	Septiembre (10)												
Abril (9)	Octubre (9)												
Mayo (9)	Noviembre (7)												
Junio (11)	Diciembre (7)												
Orientación:	Puertas y ventanas con dirección este-oeste.												
Horario:	Durante todo el año se deben de abrir las ventanas entre las 10:00 y las 20:00 h.												
Sistemas auxiliares:	Un sistema de ventilación mecánica de respaldo.												
Materiales:	Uso de materiales con baja inercia térmica. Por ejemplo, ladrillos de adobe o bloques de termoarcilla, rocas o piedras naturales y hormigón.												

El factor lluvia es también un fenómeno a considerar en la región del presente estudio, por lo que, para construir una vivienda segura, es importante considerar elegir un terreno no inundable, que esté alejado de los lechos de los ríos y que no coincida con los escurrimientos naturales de los cerros o montañas. Debe contemplarse que las viviendas construidas en zonas con mucha pendiente (cerros o montañas) aumentan significativamente riesgos y costos.

Para desalojar el agua almacenada en los techos, provenientes de la lluvia, es necesario proporcionar inclinación a la losa o losas de acuerdo con la precipitación (Fig. 7.9). Para el caso de losa plana, se debe proporcionar una pendiente mínima de 2%. Otra opción es desalojar el agua por medio de tuberías (bajantes

de aguas pluviales) o por gárgolas. Lo anterior, permitirá captar el agua de lluvia en tanques, cisternas u otros recipientes para su aprovechamiento. Por otra parte, para desalojar de manera correcta el agua de lluvia de los pisos y pavimentos, se les debe proporcionar bombeo, esto es, inclinación o pendiente, buscando dirigirla hacia zonas verdes, terracerías o al drenaje. La pendiente mínima recomendable es de 1%. Asimismo, se recomienda utilizar materiales permeables que permitan la filtración del agua hacia el suelo.

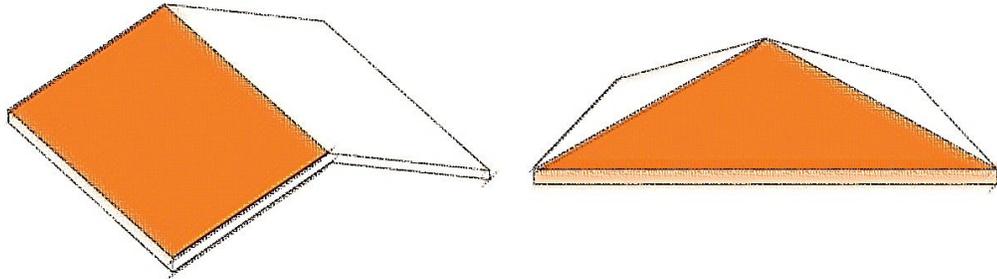


Figura 7.9. Representación de losas inclinadas.

Es de importancia evitar la humedad en los techos, y para ello debe evitarse la acumulación de agua (almacenamiento) y, de preferencia, deben estar impermeabilizados. Esto último puede resultar costoso por lo que se recomienda buscar opciones de soluciones locales, acercándose a la diversidad de productos comerciales que ofrecen soluciones, en seco o en caliente. La utilización de chaflanes, que son cortes a 45 grados elaborados a base de mortero para sellar las uniones entre los elementos verticales con horizontales ayuda a evitar la penetración de agua entre muro y losa (Fig. 7.10). Otra medida consiste en poner repisones en los remates de los muros o pretilas (Fig. 7.11), los cuales ayudan a proteger los aplanados y las cabezas de los muros.



Figura 7.10. Ejemplo de chaflanes para aislar las uniones.

La seguridad de que una losa de concreto no deje filtrar el agua, depende de un colado y un curado bien ejecutados. La aplicación de aditivo impermeabilizante integral al concreto, previo al colado, es una garantía contra goteras posteriores.

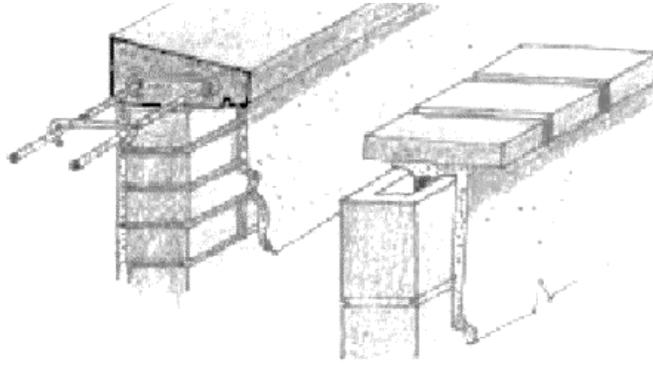


Figura 7.11. Representación de repisones y pretilas.

Una solución para evitar que la humedad se transmita al interior de la vivienda, aunque costosa, es utilizar tejas en techos inclinados o ladrillos en losas horizontales, que a futuro requerirán menor mantenimiento. Se debe considerar que las viviendas están expuestas a la problemática que representa la humedad producto del mar, la salinidad y, como resultado de ello, la corrosión o la putrefacción que sufren los materiales. Por lo que, de ser posible, deberá evitarse el uso de maderas blandas (derivadas del miró o del cobre) y se deben buscar aquellos materiales que requieran un mantenimiento mínimo y deterioro no significativo. De igual manera, es recomendable no utilizar yeso, ni en interiores ni en exteriores, pues retiene la humedad y puede pudrirse.

Para prevenir la humedad en los muros, se debe evitar el uso de materiales que absorban y retengan el agua. Es recomendable revestir los muros exteriores a base de aplanados. Las grietas o fisuras deben ser selladas y deben evitarse. Se recomienda también, impermeabilizar el desplante de los muros, esto es, se debe evitar el contacto de los muros con el terreno. En caso de que el terreno donde esté construida la vivienda, retenga agua, se recomienda colocar banquetas perimetrales a la fachada (incluyendo chaflán entre muro y banqueta). También es factible solucionar dicho problema, colocando muros dobles, pero ello incrementaría el costo, por lo que, una solución garantía de una vivienda sin humedad, sería construir los muros con block hueco de concreto. Se recomienda también que en ventanas, puertas y marcos de las puertas, se utilice aluminio. Y, en elementos de madera se recomienda el uso de barnices marinos, con silicones o de esmaltes de calidad. También se recomienda utilizar pinturas vinílicas en aplanados.

Respecto al aprovechamiento del viento, para el clima en el que se encuentran las viviendas de la región de estudio, se recomienda de manera general lo siguiente (Fig. 7.12):

1. El viento cruce libremente por las habitaciones.
2. La lluvia caiga sin obstáculos por el techo, haciéndolos inclinados preferentemente.

3. Aumenten la altura de los techos para tener mayor volumen de aire.
4. Utilicen materiales no corrosivos en ventanas y puertas.
5. Utilicen materiales que aíslen la vivienda del calor y del agua.
6. La orientación sea Norte-Sur para captar los vientos dominantes (los más fuertes e intensos), a fin de que crucen las habitaciones y hagan fresco el ambiente.
7. Se protejan del asoleamiento las fachadas Oriente y Sur y, sobre todo, la Poniente, con elementos arquitectónicos tales como aleros, balcones, volados o nichos en ventanas.

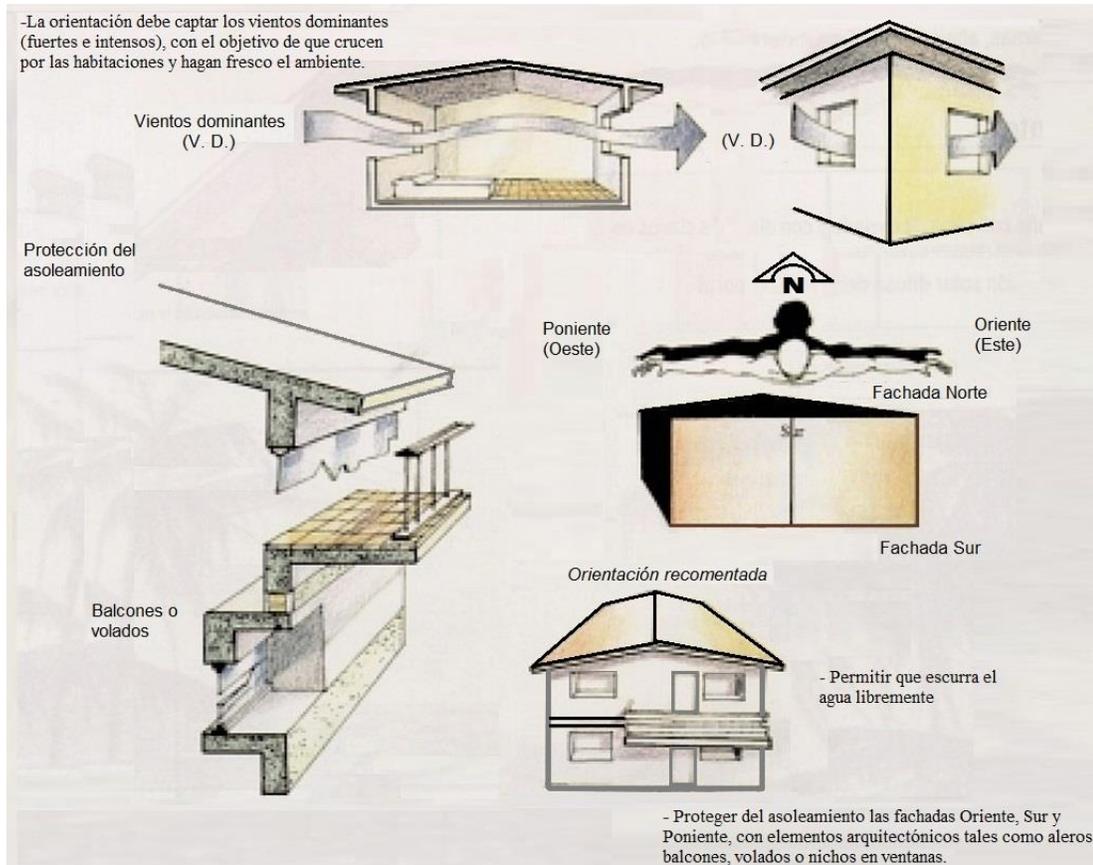


Figura 7.12. Recomendaciones generales para el clima cálido húmedo (Saldaña, 1999).

#### 7.1.6. La vivienda contra incendios y vibraciones en el terreno

Un elemento de importancia que debe ser contemplado es la seguridad contra incendios, pues ante la presencia de fuego no controlado, se pueden afectar estructuras y seres vivos. En las viviendas, el fuego puede iniciar por distintas causas, como fallas en las instalaciones eléctricas o de combustión, escapes de combustible, accidentes en la cocina, mal manejo de fósforos o accidentes con velas y cigarrillos. El fuego puede propagarse rápidamente a otras estructuras, especialmente en aquellas que no cumplen con las normas básicas de seguridad haciendo que se pase a la etapa de incendio (el incendio es la siguiente etapa del fuego

descontrolado ante la ausencia de los sistemas de protección). Por ello, muchos municipios ofrecen servicios de bomberos para extinguir los posibles incendios rápidamente.

Adicionalmente, el crecimiento poblacional y la cercanía entre viviendas, puede incrementar la amenaza contra la vida humana. Aunque, según las estadísticas, ha habido muchas menos pérdidas de vidas por incendios en viviendas de un nivel, que en las de más de dos pisos. Ante ese escenario, la mejor prevención contra incendios es la elección de materiales adecuados, las instalaciones eléctricas correctas, el buen manejo de gas y apearse a las normas básicas de seguridad.

Los materiales con alto riesgo de incendiarse son aquellos de origen vegetal, tales como, las maderas, las telas y el papel; y, los derivados del petróleo, tales como, el vinilo, el plástico y el nylon. Los materiales que incluyen cemento en su fabricación garantizan resistencia al fuego (blocks, tabicón, concreto, etc.). Por lo que, se sugiere construir las viviendas con materiales que contengan cemento. Los acabados, también requieren especial cuidado, como son los aplanados en muros de mezcla, cemento pulido, repechados y otros.

De igual manera, se recomienda que para la instalación eléctrica en una vivienda, se cubran los elementos indispensables, tales como, calibre y cantidad adecuada de conductores eléctricos (se sugiere asesorarse con un técnico), circuitos normalmente no sobrecargados con más de 2,000 W. y fusibles e interruptores termomagnéticos.

Las vibraciones del terreno, producidas por fenómenos físicos o procedentes del riesgo antrópico presente en la región de estudio, deben ser consideradas al edificar una vivienda. Y, aunque la zona del presente estudio se encuentra localizada en una región de sismicidad media (Fig. 7.13), se encuentra vulnerable a los efectos antrópicos efectuados en la región y a eventos de inundaciones por lluvia. Por ello, se recomienda utilizar materiales semi-industrializados o materiales como el adobe o mampostería de piedra. La cantidad de castillos puede ser menor, aunque es conveniente colocar castillos y dadas en los huecos de las ventanas y separarlos con una distancia máxima de tres metros. En la Tabla 7.9, se presenta la longitud necesaria sugerida para los muros, cuya distribución deseable debe ser equilibrada con respecto al centro de la construcción, aunque podría existir una variación de hasta veinte por ciento.

En la Tabla 7.9, se recomienda la longitud de muro necesaria en una sola dirección, por metro cuadrado de construcción. Dichas longitudes están calculadas con muros de espesor sencillo, es decir, igual al espesor de las piezas de block o tabique. Si se utilizan muros de mayor espesor se puede considerar su longitud en la misma proporción que la relación de espesores.



Figura 7.13. Regionalización sísmica.

Tabla 7.9. Longitud de muro necesaria por metro cuadrado de construcción (Saldaña, 1999).

Tipo de sismicidad	Tipo de terreno	Vivienda de un piso			Vivienda de dos pisos		
		Tabicón	Block	Tabique	Tabicón	Block	Tabique
Baja	Duro	0.02	0.02	0.01	0.05	0.04	0.03
	Medio	0.02	0.02	0.02	0.07	0.05	0.05
	Blando	0.03	0.02	0.02	0.08	0.07	0.05
Media	Duro	0.03	0.03	0.02	0.09	0.09	0.06
	Medio	0.03	0.03	0.02	0.10	0.09	0.07
	Blando	0.04	0.03	0.03	0.10	0.09	0.07
Alta	Duro	0.05	0.05	0.04	0.14	0.13	0.09
	Medio	0.05	0.05	0.04	0.16	0.14	0.11
	Blando	0.06	0.05	0.04	0.17	0.15	0.11
Muy alta	Duro	0.12	0.11	0.08	0.27	0.25	0.18
	Medio	0.12	0.11	0.08	0.32	0.29	0.21
	Blando	0.12	0.11	0.08	0.34	0.31	0.23

El modo de empleo de la Tabla 7.9, es el siguiente (Saldaña, 1999):

1. Identificar en los mapas de regionalización sísmicas la zona donde se edificará (Fig. 7.13).
2. Identificar con ayuda de las autoridades locales o técnicos (arquitectos, ingenieros, u otros), el tipo de terreno (blando, medio o duro).
3. Una vez que se haya definido el tipo de material del muro a utilizar en la construcción, así como el número de niveles de la vivienda y la cantidad de metros cuadrados, aplicar la Tabla 7.9.

4. Lo que se obtendrá, será un coeficiente (número) que permitirá conocer los metros lineales, en cada eje ortogonal. Para ello, se presenta un ejemplo análogo a la región del presente estudio:

Región ubicada en una zona de sismicidad *media*, con terreno tipo *blando*. La superficie construida será de 80 metros cuadrados en total. Vivienda de *un nivel*, con columna tipo *tabique*.

En el cruce de la franja horizontal: zona sísmica *media*, terreno *blando* y verticalmente: vivienda de *un nivel* de *tabique*, se obtiene el coeficiente *0.03* (según Tabla 7.9).

El coeficiente *0.03* se multiplica por el área a construir. Esto es:

- Para planta baja:  $0.03 \times 40.00 \text{ m}^2 = 1.2 \text{ m}$ .
- Para planta alta:  $0.03 \times 40.00 \text{ m}^2 = 1.2 \text{ m}$ .
- Total a construir:  $80.00 \text{ m}^2$

Lo anterior, significa que tanto en planta baja como en alta, existirán, mínimo 1.20 metros ortogonalmente (están en ángulo recto o en una línea perpendicular). Ello se representa en la Fig. 7.14.

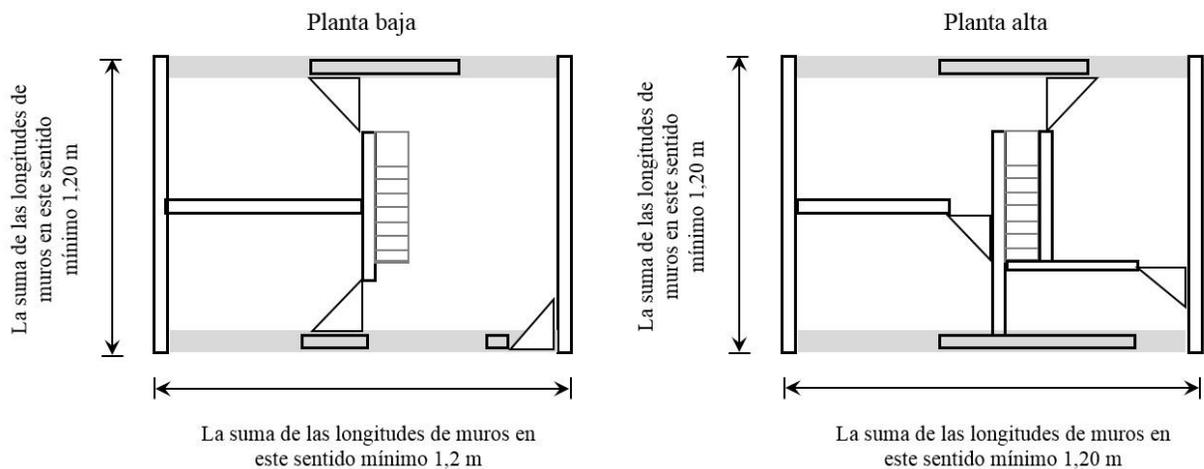


Figura 7.14. Ejemplo de cálculo de longitud mínima de muros (plantas baja y alta).

Además de lo descrito, las recomendaciones de estructuración para viviendas, en zona de sismicidad media, son las siguientes:

1. Todas las dalas y castillos deberán estar perfectamente anclados.
2. Si existen construcciones colindantes, se deberá dejar un espacio entre las paredes propias y las del vecino más próximo, de 5 cm como mínimo (junta de construcción). Considerar que la junta de construcción en el predio es obligada.
3. Es preciso elaborar y colar el concreto con la mejor calidad y el mayor cuidado posible.

Se deben considerar también los efectos secundarios provocados por sismos, que son llamados así porque los daños nos son causados por los efectos de la vibración del suelo, sino por las condiciones locales del terreno, tales como, el tipo de suelo (topografía) y las condiciones hidráulicas. Dichos efectos pueden provocar daños a las viviendas y a la vida de sus ocupantes. Entre ellos, se pueden mencionar los siguientes:

1. *Maremotos*: cuando los temblores ocurren en la profundidad del océano (dependiendo de su intensidad y extensión), se provocan oleajes que afectan las zonas costeras. Dichos oleajes son precedidas de un súbito retiro del mar hacia el océano y en seguida viene el regreso del agua, con olas de gran altura, subiendo el nivel del mar varios metros por encima del normal. Estos volúmenes pueden provocar destrucción en minutos. No obstante, las estructuras de viviendas construidas con muros de mampostería o de concreto armado ofrecen muy buena resistencia contra el impacto del agua.
2. *Derrumbes*: en los lugares con topografía muy accidentada, siempre existe el peligro de derrumbes y desgajamientos de cerros cuando ocurren temblores fuertes. Cuando los cerros están compuestos por suelos de material suelto y la vivienda se localiza en las cercanías de taludes o en valles al pie de los cerros, es mayor el riesgo. La recomendación, relativa a la construcción de la vivienda, es seleccionar su localización evitando los lugares indicados.
3. *Licuación de suelos*: en suelos arenosos donde el nivel freático es prácticamente superficial, son muy altas las probabilidades de que durante un sismo se presente la licuación de suelos. Al vibrar las partículas del suelo, el agua que se encuentra entre ellas fluye, lubricando el contacto entre granos provocando una súbita pérdida de la capacidad de carga del suelo; los granos de arena se colapsan y el agua sube formando pequeños cráteres de arena. Dicho fenómeno ocasiona asentamientos repentinos e inclinación de las construcciones. No existe solución técnicamente segura para evitar los daños. Sin embargo, pueden tomarse medidas preventivas para reducir sus efectos en la construcción, como las siguientes:
  - a. Retiro de capas superficiales del suelo más suelto para sustituirlas por material apto para rellenos compactos como es el tepetate (la arena no puede compactarse suficientemente a menos que se mezcle con suelos arcillosos o limosos).
  - b. Hincado estacones de madera, concreto o metálicos en zonas directamente bajo los muros. Al hincar los estacones, los golpes producirán vibraciones en el suelo que provocarán la compactación de la arena. Mientras más profundo sea el hincado el estacón, mejores serán los resultados. Si adicionalmente se colocan las estacas en dos hileras paralelas y cercanas entre sí, además de la compactación se logra un confinamiento del suelo que ofrece mayor protección contra los asentamientos.
4. *Asentamientos*: en determinadas condiciones, durante un sismo pueden ocurrir fallas del suelo, a la construcción, misma que provocaría efectos indirectos sobre la vivienda.

5. *Terreno*: en su elección está un buen inicio para obtener una vivienda cómoda, económica y segura. Según el tipo de suelo, los terrenos se clasifican comúnmente en blandos, medios y duros. El interés de conocer la consistencia y resistencia del suelo radica en tener diferentes alternativas para la cimentación y elegir la más económica e indicada. La buena orientación por el aislamiento, y los vientos dominantes pueden ayudar a una buena solución arquitectónica, empezando con el terreno.
6. *Topografía*: la repercusión que tienen los costos en la vivienda, varía según la pendiente del lote (nula, poca, mediana o mucha pendiente). Cuanto mayor es la pendiente, mayor será la complejidad constructiva de la vivienda y los movimientos de la tierra (excavación-relleno), resultando cimentaciones muy profundas con la consiguiente problemática de muros de contención. Se considera que un terreno plano, de 0 a 5% de pendiente, es apto para vivienda de bajo costo. De 5 a 15% se considera como pendiente mediana y aún se ajusta a soluciones relativamente económicas. Cuando se sitúa en el intervalo del 15 al 25% de pendiente, ya no se recomienda para casa habitación popular. Con más de 25% de pendiente, se considera pendiente alta y, la vivienda eleva mucho su costo.

#### **7.1.7. Muros y techos**

En una construcción, los muros proporcionan soporte al techo y al entrepiso de las viviendas. Además brindan división en las habitaciones. Su proceso de construcción debe garantizar resistencia y seguridad. Ello se logra si están reforzados de manera correcta mediante el uso de castillos y cadenas de concreto, así como efectuando el pegado de tabique con la mezcla adecuada.

Como se mencionó previamente, existen diferentes tipos de materiales y tabiques, pero en general, el rendimiento de un millar de tabique de 14 cm de espesor puede llegar a levantar un muro de 20 metros cuadrados, esto es, una pared de 2.20 metros de altura por 9 metros de longitud. Respecto al cemento, su rendimiento aproximado es de 8 kilogramos por metro cuadrado de muro, utilizando una mezcla de cemento arena con proporción de un volumen de cemento por cinco de arena (utilizar agua hasta obtener una mezcla pastosa y maleable).

Un aspecto importante a considerar es la selección del tipo de junteado a utilizar, pudiendo ser de dos maneras:

1. *Aparente*: corresponde a los muros que no se requieren recubrir con yeso o mezcla. Es recomendable desde el punto de vista económico, pero requiere trabajarlo de mejor manera para que su aspecto de terminado sea presentable. Ello se puede lograr utilizando un rayador (pedazo de tabla unido con alambón y clavos) sobre las juntas.

2. No aparente: para aquellos casos en que se requiera cubrir el muro con revestimiento. Para eliminar el excedente de la mezcla de las juntas, simplemente se pasa la cuchara sobre los muros recortándolo.

Para efectuar la colocación del tabique, se requiere humedecerlos/remojarlos unos minutos previos a su colocación. La razón de hacerlo, radica en evitar que el tabique absorba el agua de la mezcla del junteado. Para dar inicio a la colocación de tabique, se debe comenzar por los cruceros de los muros en una primera hilada, auxiliándose con un nivel de burbuja, después debe tenderse un hilo entre los mismos (guía de colocación). El junteado debe efectuarse utilizando un espesor aproximado de 1 cm y las piezas deben cuatrapearse en sus juntas verticales para evitar cuarteaduras.

En los lugares donde se colocarán castillos de concreto, se debe cortar el muro de manera previa a ambos lados, esto es, cada dos hiladas para que el concreto amarre con el muro (Fig. 7.15). Los castillos de refuerzo deben estar colocados en toda la altura de los muros, hasta llegar al techo. Al realizar el colado de castillos, se recomienda que conforme se va efectuando el vaciado del concreto, se vaya picando el mismo con una varilla. Adicionalmente, sobre las cavidades para puertas y ventanas, será necesario colar cadenas de concreto (cerramientos) con el propósito de sostener los tabiques que estén colocados sobre la parte superior de la ventana (Fig. 7.15). De igual manera, si los muros presentan más de 3.00 m de altura, será necesario que la cadena de cerramiento recorra a lo largo de todos los muros para lograr mayor resistencia.

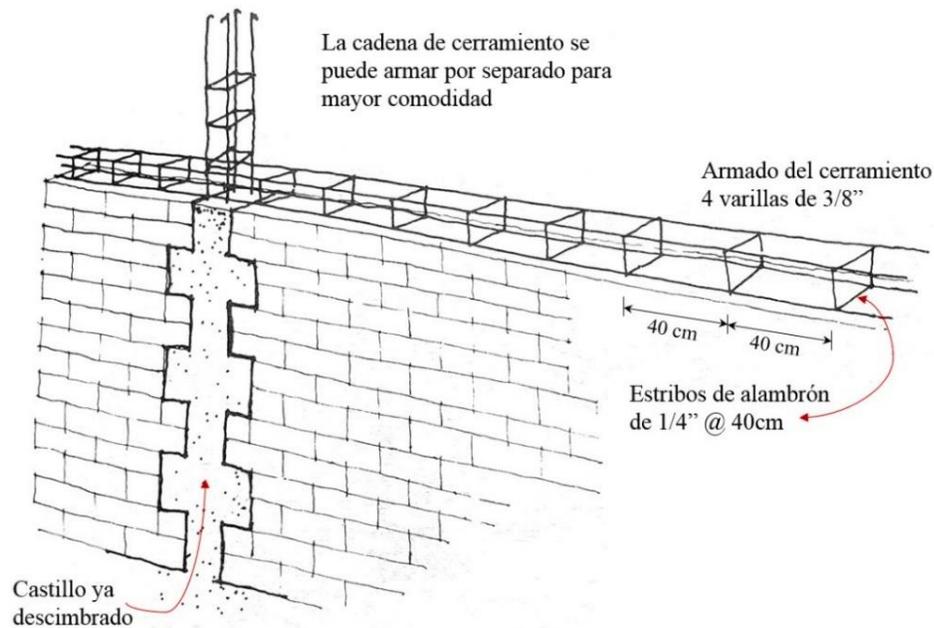


Figura 7.15. Representación de castillos y cadenas (Rodríguez, 2005).

La construcción del techo que aquí se presenta, se efectúa con base a la región de estudio, por lo que se sugiere el uso de techo inclinado o de dos aguas. Ello debido a que el clima presenta lluvias significativas durante el año, por lo que el techo debe proporcionar escurrimientos rápidos del agua, para lo cual se recomienda una pendiente de 35%. Esto es, por cada metro el techo deberá bajar 35 cm. En la Tabla 7.10, se presentan algunas ventajas y desventajas para considerar en la utilización de diferentes tipos de techos según un estudio efectuado previamente (CEDURE, 2004).

Tabla 7.10. Tipos de techos para viviendas.

Tipo de techo	Ventajas	Desventajas
Asbesto-cemento	Más económico con respecto al techo de tejas. Costo similar al techo de lámina. Comercialización por láminas de distintos tamaños, incluyendo el costo de pernos para su instalación. La estructura de madera es mínima y de fácil ejecución. Tiene buena presentación, inclusive sin pintar, porque tiene un buen acabado y es de color neutro. Su reposición es sencilla, rápida y barata. Tiene mejor aislamiento de calor.	De menor durabilidad con respecto al de teja. Su aislamiento térmico o de calor es inferior al del techo de tejas.
Lámina	Más económico con respecto al de asbesto-cemento y teja. Comercialización por láminas livianas y de fácil montaje. Por su peso, la estructura de madera es mínima y de fácil ejecución.	Sobrecalienta mucho el ambiente. No es factible en clima cálido-húmedo. Es inestable respecto a los vientos.
Teja	Son más durables. Evitan el sobrecalentamiento del ambiente interior. Más adecuado para clima cálido-húmedo. Su reposición es por unidad (teja por teja).	Económicamente más elevada en precio comparada con las de asbesto-cemento y lámina. Utiliza más madera en su estructura debido a que la teja tiene mayor peso. Requiere mayor mano de obra.

Con base en la Tabla 7.10, el tipo de techo recomendable, adecuado para el clima y requerimientos de la región de estudio es el de asbesto-cemento. Dicho material es de fácil acceso, es decir, se puede encontrar en muchas localidades del país. Se pueden colocar sobre polines de madera o sobre armaduras metálicas ligeras construidas con varilla corrugada o con ángulos metálicos. Las tejas que conforman este tipo de techo son de láminas de diferentes medidas, la representación esquemática se realiza en la Fig. 7.16.

El proceso de construcción del techo a base de asbesto-cemento es el siguiente:

1. Colocar la estructura de metal o de madera.
2. Distribuir vigas y polines anclándolos en los muros mediante revoltura de cemento y arena.
3. Colocar las láminas fijándolas mediante ganchos o clavos empezando de la parte más baja da la techumbre hacia la más alta.

4. Traslapar la lámina por cada metro de longitud, considerando una inclinación de 35 cm para evitar el filtrado de agua.

Al colocar la techumbre se recomienda dejar salientes alrededor de toda la construcción, que pueden ir de veinte centímetros a un metro, inclusive más si se desean proteger los muros contra la humedad.

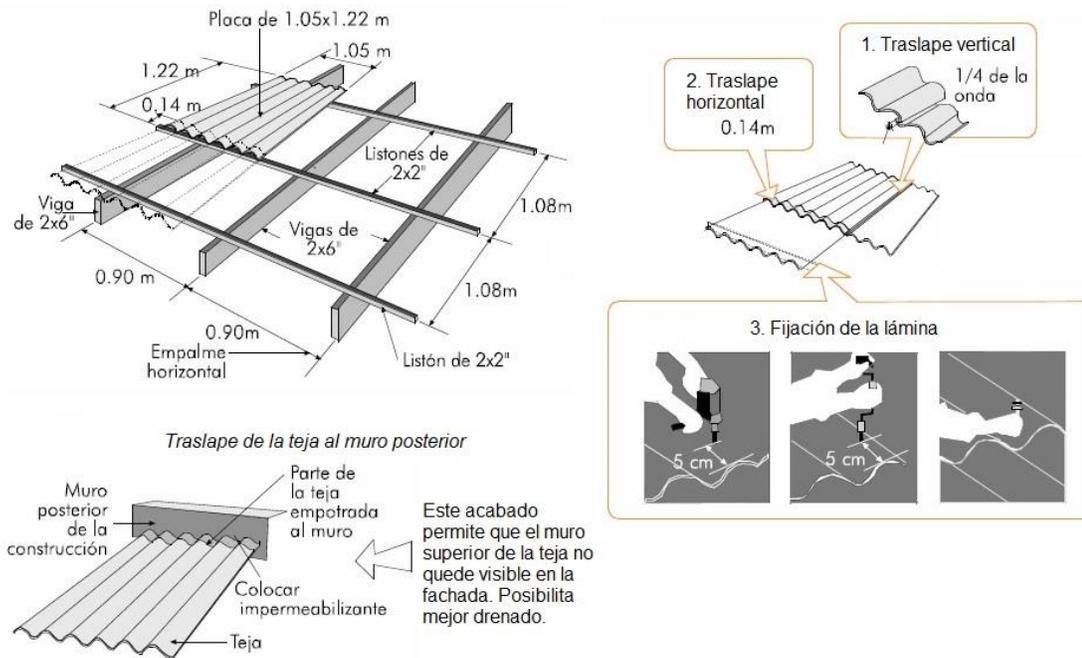


Figura 7.16. Construcción del techo (CEDURE, 2004).

## 7.2. PROPUESTA ARQUITECTÓNICA DE VIVIENDA

Se presentan dos modelos de vivienda, con diferentes frentes de lote, con la solución arquitectónica y la superficie construida (Figs. 7.17 y 7.18). Los modelos están acotados a ejes para facilitar la elección del material en muros, sin que el grosor afecte el diseño del espacio interior. El modelo acepta losa plana en lugar de losa de dos aguas.

La vivienda a construir presentará un mejor funcionamiento si el lote adquirido es mayor en su frente, pues tendrá mejor orientación solar y de vientos. No se recomienda reducir los espacios del proyecto, pues se encuentran distribuidos en su número mínimo de solución tratando de evitar espacios innecesarios. Se sugiere que para tener mayor detalle del proceso constructivo y estructural, se consulte a Saldaña (1999) y Rodríguez (2005).

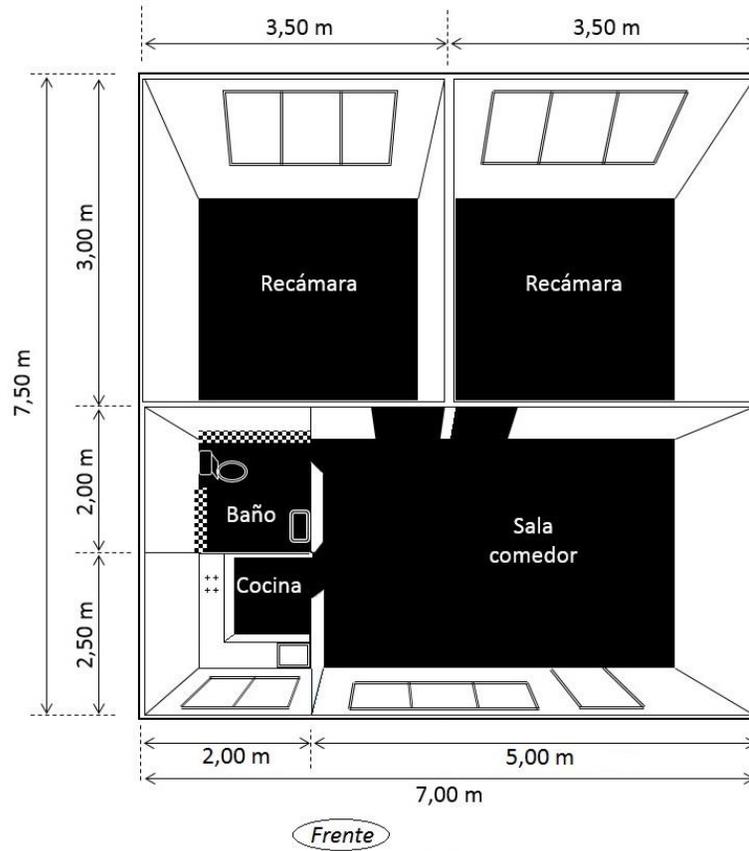


Figura 7.17. Primera opción arquitectónica (Rodríguez, 2005).

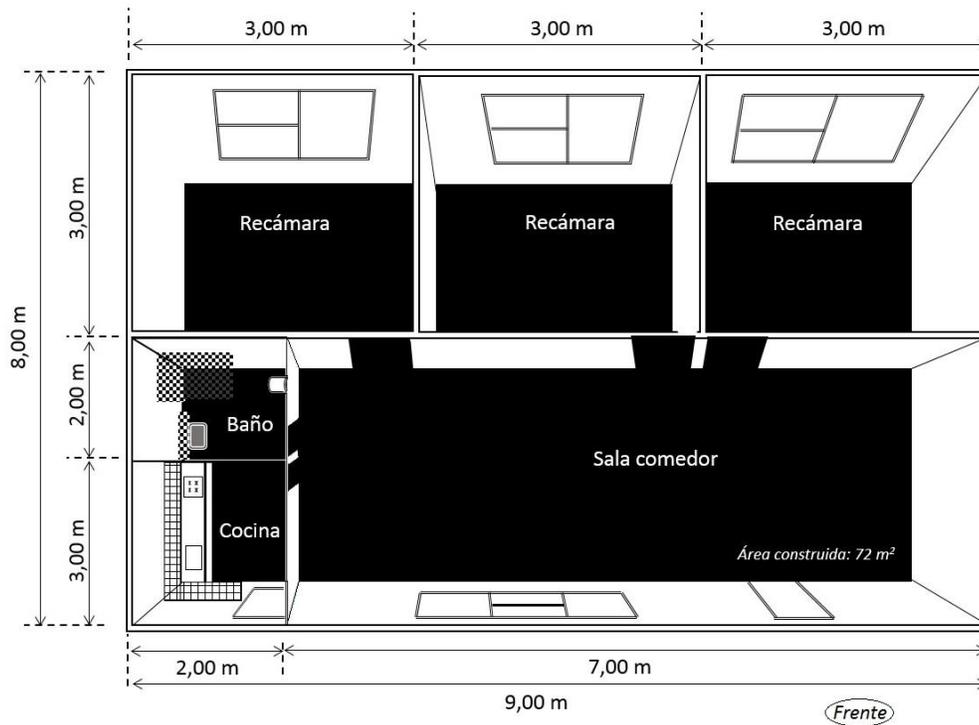


Figura 7.18. Segunda opción arquitectónica (Rodríguez, 2005).

De los planos arquitectónicos sugeridos, se recomienda que los baños y cocinas estén ventilados e iluminados por la azotea. Asimismo, se puede observar que las dimensiones mínimas recomendadas se encuentran en los intervalos siguientes:

1. En recámaras:  $2.70 \times 2.70$  m.
2. Baños: de  $2.00$  a  $4.00$  m<sup>2</sup>.
3. Cocinas: de  $3.00$  a  $6.00$  m<sup>2</sup>.
4. Comedor y sala:  $3.00 \times 3.00$  m. Si están juntos pueden reducirse de  $18.00$  a  $15.00$  m<sup>2</sup>.
5. Ventanas: aproximadamente la quinta parte de la superficie del piso de la habitación. Por ejemplo, en una habitación de  $9.00$  m<sup>2</sup> ( $3.00 \times 3.00$  m), la ventana deberá medir  $1.80$  m<sup>2</sup> como mínimo ( $1.80 \times 1.00$  m).

### **7.3. COMENTARIOS FINALES**

Una vivienda puede ser construida por etapas con base a los recursos económicos disponibles. Se recomienda principalmente, edificar viviendas completas, evitando hacerlo por etapas, que contemplen cimientos, muros y losas.

Los muebles definen el espacio donde se va a realizar una función o actividad en la vivienda, por lo que es de importancia conocer sus medidas básicas. De igual manera, los usos y dimensiones del espacio se encuentran en función del clima, costumbres, sistema constructivo, necesidades familiares y reglamentos locales; que en la República Mexicana es variable.

Respecto a ese último punto, el proceso constructivo con base en un proyecto, requiere una serie de documentos y planos aprobados por el cliente y por la autoridad para su ejecución correcta. La licencia de construcción, por ejemplo, es el documento por medio del cual se autoriza a los propietarios, construir, ampliar, modificar, cambiar el uso de propiedad, reparar o demoler una edificación. Para poder adquirir la licencia de construcción, es necesario efectuar el pago de los derechos correspondientes y la entrega del proyecto ejecutivo en la delegación donde se encuentre la obra a ejecutar.

Por último es de importancia implantar programas de autoconstrucción acompañados de programas de capacitación a nivel nacional para una correcta elaboración de viviendas, e idealmente, rehabilitación de las mismas. Adicionalmente, se deben difundir buenas prácticas constructivas, aprovechando los medios de comunicación actuales en conjunto con las autoridades competentes y con los distribuidores, proveedores y fabricantes de materiales de construcción.



# CAPÍTULO 8

## CONCLUSIONES

Partiendo de la pregunta de investigación general del presente trabajo “¿cuáles son las posibles consecuencias que se desprenden hacia los habitantes de Huimanguillo y Cárdenas, que permitan identificar las condiciones de vulnerabilidad frente a los trabajos de prospección sísmica que realiza la empresa Pemex?”, ahora es posible afirmar que, con base en la investigación realizada en esta tesis, existe una correlación entre la amenaza a la seguridad producida por los estudios mencionados y la vulnerabilidad social en la región suroeste del estado de Tabasco. Esto a su vez genera un aumento en los índices de afectación social, convirtiendo a las regiones de pobreza en zonas de inseguridad. En concreto, mediante la investigación que aquí se presenta, se identificaron tres aspectos relevantes como indicadores de impacto hacia los habitantes. El primero de ellos se estima como la amenaza hacia sus viviendas, debida a los desastres naturales presentes en la región y principalmente, a los riesgos antrópicos efectuados en las zonas y sitios más vulnerables. Lo anterior genera el segundo impacto detectado, que se refiere a la vulnerabilidad humana, que se puede señalar como un problema de origen complejo, pues se manifiesta a través de diversas formas y proviene de distintas causas, y aunque parezca no ser tan severa, puede contribuir a detonar o acentuar otros efectos, tales como la ansiedad, el temor a las pérdidas y al dolor que podrían repercutir en la salud. Este impacto se pudo apreciar ante la unión de los pobladores para solicitar, a través de reclamaciones, que alguna dependencia pudiera apoyarlos respecto a las posibles afectaciones estructurales que podrían poner en riesgo sus vidas a causa de los daños hacia sus viviendas. En ese caso, el tercer impacto generado corresponde al manejo inadecuado de las políticas que han permitido el asentamiento poblacional en zonas de riesgo, lo que podría acentuar la amenaza no sólo por el riesgo antrópico presente, sino por los efectos debidos a los desastres naturales, que mayormente, afectan a los grupos sociales más desfavorecidos de la región.

La metodología utilizada en el presente trabajo, permitió verificar aspectos de importancia respecto a la afectación urbana-regional, en particular con relación a la inseguridad y amenaza a sus viviendas. El análisis permitió identificar zonas de baja, mediana y alta vulnerabilidad. Con ello, fue posible aprehender y anticipar las posibles amenazas y poder detectar el nivel de vulnerabilidad. Asimismo, se identificó una relación entre la amenaza a la seguridad urbana-regional y los niveles de vulnerabilidad humana, que pueden contribuir a generar una e incluso incrementar a la otra. A partir de ello, también se identificó la participación de la normatividad respecto a las amenazas por riesgo antrópico considerados o no considerados en los Programas de Desarrollo Urbano, de Ordenamiento Ecológico y las Leyes en la materia, en particular a aquellas desarrolladas para la región.

## CONCLUSIONES

En específico, se observó que existen un conjunto de leyes que estipulan lo que idealmente se requiere, sin embargo, se identificaron aspectos que pueden ser mejorados con el propósito de contribuir a enriquecer la normatividad vigente que no contempla soluciones sencillas ni claras que sugieran una aplicación de las mismas en beneficio de la población. Además, no se identificaron mecanismos que posibiliten establecer estrategias preventivas sistemáticas para las amenazas identificadas.

Del análisis realizado se desprende la necesidad de la creación de mecanismos de regulación o gestión que propicien la disminución de las afectaciones y de las causas que originan el riesgo antrópico presente en la región. Esto conlleva el desarrollo de políticas que involucren estrategias integrales que coadyuven con la mitigación de los riesgos y proporcionen seguridad hacia las poblaciones y sus habitantes, particularmente, en las zonas más vulnerables. Ello se puede lograr con el establecimiento de políticas públicas, integrales, transparentes y “sencillas” para los grupos sociales más vulnerables y para el fomento hacia el desarrollo integral de los pobladores a mediano y largo plazo. Además, se identificó que el estado de Tabasco requiere una regulación o normatividad respecto a la defensa de la afectación producida o que pudiera producirse por empresas como Pemex hacia los bienes inmuebles de los habitantes. Por tanto, es de importancia elaborar programas que propicien la participación ciudadana en los que se establezcan requerimientos puntuales y con ellos se obtengan resultados más efectivos para contrarrestar de mejor manera los efectos ante riesgos antrópicos, naturales o de otra naturaleza como el crimen y la delincuencia. Esto requiere, necesariamente, una correcta planificación que se actualice continuamente. En ese sentido, aunque mucho tiene que ver la correcta incorporación de infraestructura, servicios y equipamientos, se requiere de igual manera introducir gestiones novedosas de planificación urbana que contemplen acciones más operativas para mantener la información estudiada actualizada e integrada respecto a las dependencias gubernamentales que inciden directamente con el desarrollo urbano.

El estudio efectuado certifica que la seguridad urbana-regional, actualmente, es un factor de interés variante y complejo, por lo que se requiere un mayor estudio y entendimiento con el fin de desarrollarla más. Asimismo, se llegó a la conclusión de que una solución del problema referente a la vulnerabilidad urbana-regional debe ser considerada como una componente que puede posibilitar el desarrollo de las poblaciones, las ciudades y el estado.

El presente trabajo de investigación permitió realizar un estudio integral y novedoso con el que fue posible formular conclusiones que se dividen en tres aspectos fundamentales. El primero de ellos, se refiere al aspecto de las condiciones de vulnerabilidad estructural al que están sometidas las viviendas desplantadas en el Sureste de México. El segundo corresponde a la percepción social identificada y evaluada. Finalmente, el tercer aspecto se refiere a la legislación que interviene. La interrelación que existe entre ellas se discute en la sección 8.4 de este capítulo.

### **8.1. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL**

De la primera parte del estudio, referente al impacto hacia las viviendas rurales debido a las detonaciones efectuadas en los procesos de exploración petrolera, se observó que una banda espectral de la energía derivada de las explosiones efectuadas coinciden con el modo fundamental de vibración de las viviendas de un nivel, lo que podría llegar a perturbar a las mismas. Además, al observar que los suelos superficiales están constituidos por una arcilla muy plástica que pudiera ser expansiva, se sugiere no mantener parámetros fijos respecto a distancias mínimas de seguridad, pues estas dependen de la estratigrafía de los depósitos superficiales particulares de cada región.

Asimismo, al analizar el estado estructural de las viviendas de la región de estudio con base en los resultados de mediciones efectuadas en campo, se pudo identificar que la construcción de prácticamente todas las viviendas visitadas es deficiente. Se pudo observar que algunas de las viviendas han sufrido modificaciones con adición o eliminación de elementos estructurales, que no se ligaron adecuadamente a la construcción original, lo que ocasiona agrietamientos debidos a los desplazamientos diferenciales entre la estructura original y la nueva. Dichos problemas también están relacionados con la expansión por humedecimiento de las arcillas del subsuelo o con el hundimiento de las mismas. Por lo que, en el presente trabajo, se sugiere edificar viviendas con base en criterios de construcción, cubriendo las necesidades básicas de los que la habitan, proporcionando privacidad, confort, protección ante las inclemencias del tiempo y seguridad (capítulo 7 de esta tesis).

Por otra parte, al realizar el análisis del comportamiento estructural de las viviendas de la región cuando son sometidas a explosiones subterráneas repetidas, con base en modelos matemáticos se pudo observar que las distorsiones de entrepiso calculadas para los modelos estructurales calibrados a partir de las pruebas de vibración de las viviendas instrumentadas, no exceden los valores permisibles que pudieran indicar que estas se dañan debido a los efectos de las explosiones subterráneas. Y, de acuerdo con los resultados de los modelos inelásticos, el comportamiento de los muros de las viviendas analizadas se mantiene en su intervalo elástico para las condiciones que provocan las aceleraciones del suelo debido a las explosiones subterráneas. Por lo tanto, no existe un sustento técnico que indique que las reclamaciones efectuadas por parte de los habitantes presuntamente afectados corresponden a daño producto de las explosiones repetidas. En ese caso sus afectaciones tendrían que más bien ser evaluadas con respecto a las técnicas de construcción utilizadas.

Los párrafos anteriores reflejan que la actividad de exploración en busca de hidrocarburos mediante pruebas de prospección sísmica de reflexión profunda que se realiza en el estado de Tabasco, ocasiona impactos estructurales no significativos; no obstante, se manifiestan condiciones de inseguridad que deben ser consideradas antes y durante la edificación.

## **8.2. VULNERABILIDAD SOCIAL**

Respecto a la percepción social, se pudo identificar a través del análisis cualitativo y cuantitativo, que los requerimientos de los habitantes no sólo están enfocados a la seguridad de sus viviendas, sino también involucra factores de infraestructura, servicios, equipamiento y seguridad en general. Así, los habitantes de la región deben estar involucrados en prácticas sociales de su localidad asociados a los diferentes órganos de gobierno para poder definir de manera óptima sus necesidades. Esto es, primero mediante una articulación entre las personas de las comunidades y posteriormente, con las dependencias gubernamentales. Lo anterior debido a que se registraron distintos causales negativos de afectación hacia los habitantes de Huimanguillo y Cárdenas tales como el desempleo, la oferta laboral inexistente, la migración, la inseguridad y la delincuencia.

En el presente trabajo, con el objetivo de mitigar la afectación hacia las viviendas unifamiliares de los habitantes de la región de estudio, se propuso considerar soluciones integrales que contemplen la generación de viviendas que estén definidas y elaboradas con base en los requerimientos de aquellos quienes la habiten, así como con base en su seguridad y economía. Primero, cubriendo las necesidades de quienes habitan la vivienda. Segundo, contando con opciones constructivas seguras y con base a los recursos de cada familia. Y finalmente, considerando los lineamientos establecidos en cada municipio, atendiendo normas y reglamentos, como se menciona a continuación.

## **8.3. DEBILIDADES EN EL ASPECTO LEGAL**

La legislación, como se sabe, está sujeta a la transformación política y a la orientación de los programas de desarrollo, comúnmente mal dirigidos, ya que no reconocen la disparidad y las características geográficas ni climatológicas propias de cada región. Tal es el caso del estado de Tabasco, que modificó su entorno para dar paso a las actividades petroleras, que para algunos sectores representó ingresos económicos, pero para muchos otros significó pérdida de oportunidades y de recursos naturales. De hecho, actualmente, los ecosistemas naturales presentan una considerable fragmentación originada por actividades antropogénicas, entre la que destaca por su impacto, la producción de petróleo. Y a pesar de que hoy en día diferentes normas de contenido ambiental ya incorporan disposiciones referentes a la responsabilidad derivada de las propias infracciones administrativas y la legislación regula la responsabilidad penal procedente de delitos de contenido ambiental o ecológico, éstos resultan muy poco eficaces en la práctica. Asimismo, se suma la escasa legislación referente al impacto que corresponde a la actividad de exploración petrolera hacia la ecología y los bienes de las personas, lo que repercute en un estado de indefensión en que viven las familias de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo y de otras regiones del Estado.

En ese sentido, la presente investigación, representa un primer acercamiento en la dirección de mitigar las afectaciones producidas por estos estudios de exploración, motivando la creación de instrumentos legales que amparen a la población cuando estas situaciones de riesgo se presenten. Lograr dicho objetivo no es sencillo, ya que Tabasco concentra gran parte de la industria petrolera del país, cuya influencia en el establecimiento de políticas sociales, económicas y ambientales es marcada. Así, un planteamiento más práctico podría ser la concientización de Pemex y de las empresas asociadas que realizan exploración en busca de hidrocarburos basados en detonaciones, para que establezca una relación de respeto y comunicación con los habitantes asentados en las zonas en que se llevan a cabo dichos estudios. Un convenio de beneficio mutuo entre las empresas y los habitantes podría representar entonces un instrumento que brindaría más frutos a ambas partes que una desgastante confrontación legal.

Adicionalmente, en la presente investigación se pone de manifiesto que en países comúnmente calificados como desarrollados, la legislación en materia, comparte características que podrían incorporarse en la legislación aplicable a la región de estudio, tales como:

1. Establecer leyes prácticas y plantear los aspectos referentes a los estudios de prospección sísmica.
2. Establecer criterios cuantitativos en términos de cantidad de explosivo y tamaño del radio para la zona de amortiguamiento.
3. Establecer leyes simples y escritas en un lenguaje comprensible para la mayoría, además de que deben estar disponibles en un solo reglamento creado para el tema particular, accesible de manera digital para toda la ciudadanía.
4. Establecer leyes de carácter federal o aplicables a todo el país.

Con las características enlistadas y con instrumentos de regulación y protección de los bienes de las personas, es obligatorio avanzar en la generación de la regulación legislativa, especialmente en la actualidad, que el mercado energético se ha abierto a compañías nacionales y extranjeras que competirán por el jugoso mercado que representa la extracción de hidrocarburos.

#### **8.4. INTERRELACIÓN ESTRUCTURAL, SOCIAL Y LEGAL**

En la matriz de la Fig. 8.1 se presenta la interrelación existente entre los tres principales aspectos tratados en el análisis: estructural, legal y social. La matriz describe la influencia que representan los aspectos denotados en la columna de la extrema izquierda con respecto a los aspectos que se encuentran en el encabezado del resto de las columnas. Así, el aspecto estructural del problema determina el impacto social, ya que una construcción correcta de las viviendas produce, en general, una menor vulnerabilidad y ofrece tranquilidad a sus habitantes. Asimismo, el disponer de una estrategia constructiva como la que se presenta

## CONCLUSIONES

en el capítulo siete de esta tesis, para la zona particular de estudio, repercutirá en la economía y seguridad de las familias de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo. El aspecto estructural también tiene un impacto en el ámbito legal, ya que el conocimiento técnico de los aspectos constructivos ayuda a generar leyes, y principalmente normas, basadas en criterios cuantitativos y comprobables, resultado de la experiencia técnica o la investigación ingenieril. Lo anterior también se aplica a la generación de recomendaciones y especificaciones que, aunque no contemplan un carácter obligatorio, son de gran utilidad en la práctica.

Aspectos	Estructural	Social	Legal
Estructural	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menor vulnerabilidad</li> <li>▪ Tranquilidad</li> <li>▪ Economía</li> <li>▪ Seguridad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Normas</li> <li>▪ Leyes</li> <li>▪ Especificaciones</li> <li>▪ Recomendaciones</li> </ul>
Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Viviendas económicas, funcionales y de buena calidad</li> </ul>	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Códigos específicos</li> <li>▪ Leyes simples y concretas</li> <li>▪ Leyes accesibles</li> <li>▪ Juicios expeditos</li> <li>▪ Juicios económicos</li> </ul>
Legal	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menor riesgo antrópico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Paz social</li> <li>▪ Menor vulnerabilidad</li> <li>▪ Mayor calidad de vida y confort</li> </ul>	X

Figura 8.1. Matriz de interrelación entre los diferentes aspectos contemplados en el análisis realizado.

Con respecto al aspecto social, el estudio y atención del mismo redundará en la construcción de viviendas económicas y de buena calidad, acordes con las necesidades imperantes en la zona de estudio, con las que los habitantes se encuentren satisfechos porque cumplen con sus expectativas. En este aspecto social, se contemplan aspectos culturales, educativos y en general, aquellos acorde con los usos y costumbres de los habitantes de la zona.

De manera similar, no es posible generar normas que se encuentren desasociadas de las características sociales de una población o una región. En particular, la investigación que se desarrolla en este trabajo dio lugar a la identificación de lineamientos que la generación de la normativa aplicable al estado de Tabasco

debería seguir. Entre ellos se encuentra la necesidad de crear códigos específicos para normar los estudios de prospección sísmica aludidos en esta tesis, así como la generación de leyes claras y directas, entendibles por no especialistas y que se encuentren disponibles de manera digital en portales de acceso público.

Otro aspecto que se identificó como preocupante es el costo e inversión de tiempo que conlleva el entablar una demanda, tornando este tipo de acciones en prácticamente inviables para el ciudadano común cuando se enfrenta a compañías fuertemente pertrechadas desde el punto de vista legal. La existencia de juicios expeditos y económicos representa entonces un reclamo social que debe ser atendido. Aun así, la aplicación correcta de las leyes resulta benéfica en términos ingenieriles y sociales. Con respecto al primero, es posible observar cómo el efecto de contar con un sistema legal de clase mundial redundaría inmediatamente en un decremento del riesgo antrópico asociado a los estudios de prospección sísmica, ya que bajo una adecuada sombra legal, dichos estudios no deberían de poner en peligro las viviendas y, mucho menos, la vida de las personas. El contar con un marco legal adecuado también redundaría en un decremento de la vulnerabilidad que experimenta la sociedad, incrementando su seguridad desde el punto de vista estructural en sus viviendas, como en general, en la reducción de la delincuencia y otros flagelos, incrementando la calidad de vida de la población en su conjunto.

La matriz propuesta pone de manifiesto que dada la interrelación que existe entre los diferentes aspectos que definen un problema, el análisis del mismo debe hacerse de forma integral, tal y como se realizó en este trabajo de tesis, ya que de no hacerlo, se puede incurrir en obviar implicaciones relevantes y no percibir influencias importantes que pueden afectar el resultado de la investigación. Además, el estudio que contempla múltiples aristas, a pesar de ser más complicado, permite apreciar los vínculos existentes entre los aspectos de interés, lo que resulta de importancia, pues al efectuar modificaciones que perturben a uno de ellos, es posible identificar el efecto que pudiera provocar en los otros.

## **8.5. RECOMENDACIONES**

La presente investigación permitió obtener resultados cuantitativos derivados de una investigación empírica que además contempló el uso de modelos teóricos aplicados a modelos reales. Obteniendo en consecuencia, resultados verídicos, tangibles y aplicables.

No obstante, se evidenciaron factores que no pudieron ser analizados de manera específica, por lo que se plantean algunas prácticas a considerar para ser evaluadas en estudios futuros.

1. Es deseable realizar nuevos estudios teóricos y experimentales que se sitúen en otra ubicación geográfica, con características distintas y con particularidades demográficas que permitan obtener resultados de diferentes realidades sociales, constructivas y culturales.

## CONCLUSIONES

2. La necesidad de disminuir la inseguridad urbana-regional, abre una línea de estudio interesante. Incluso, se podría afirmar, que el no estudiarla podría tener una consecuencia negativa, presentando efectos nocivos, por lo que se sugiere desarrollar métodos preventivos. Por ejemplo, presentando vías de intervención que inicien con la prevención y conlleven a la solución de problemas físico urbanos y sociales.
3. En ese contexto, resulta difícil para el Estado y la sociedad actuar en conjunto, en consecuencia, se sugiere establecer programas ciudadanos de planificación urbana participativa que se enfoquen en los efectos de inseguridad por desastres y riesgo. Asimismo, valerse de herramientas operativas que permitan estipular acuerdos, consensuar acciones y decisiones, bajo un respaldo normativo que propicie un territorio seguro. Esto es, es fundamental la articulación de las políticas y proyectos para tener un resultado apropiado.
4. Finalmente, se sugiere tener mayor acceso a la legislación y política interna de Pemex en materia de estudios de prospección sísmica para la exploración de hidrocarburos. Ello permitiría perfeccionar el presente estudio, conociendo la visión complementaria del aspecto referente a la afectación y daño a los bienes de la población. Queda entonces como trabajo a futuro obtener el punto de vista alternativo que permita tener una mayor visión de la problemática y sobre todo, de la solución de la misma, considerando tanto la escasa legislación federal, estatal y municipal disponible en la materia, como la política y reglamentación interna de Pemex.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- 112 Asturias. (2013). “*Definición de riesgos antrópicos*”. Fecha de consulta: septiembre de 2013. Disponible en: [http://www.112asturias.es/v\\_portal/apartados/apartado.asp?te=78](http://www.112asturias.es/v_portal/apartados/apartado.asp?te=78).
- Acuña, D. (2011). “*Propuesta metodológica para identificar y analizar condiciones de vulnerabilidad de las edificaciones en el Centro Histórico de la Serena*”. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Instituto de la Vivienda. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Aguilar, G. y Alcocer, S. (2001). “*Efecto del refuerzo horizontal en el comportamiento de muros de mampostería confinada ante cargas laterales*”. Informes técnicos, Coordinación de Investigación, área de ingeniería estructural y geotecnia, CENAPRED, Ciudad de México.
- Alarcón, S. y Zavala C. (2005). “*Vulnerabilidad sísmica de viviendas en el Distrito de la Molina*”. Memorias del XV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Ciudad de México.
- Alcocer, S. (1997). “*Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería: una revisión*”. Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. Veracruz, México.
- Alcocer, S., Murià, D. y Peña, J. (1999). “*Comportamiento dinámico de muros de mampostería confinada*”. Instituto de Ingeniería de la UNAM. Series del Instituto de Ingeniería 616, Ciudad de México.
- Arellano, E., Juárez, H. y Alonso, B. (2003). “*Caracterización y clases de vulnerabilidad de edificaciones de la Colonia Roma, Ciudad de México*”. Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. León, Gto.
- Arias, S. (2013). “*Tabasco Hoy*”. Línea económica Tabasco Hoy. Consultado en abril de 2013. México.
- Bazán, E. y Meli, R. (2002). “*Diseño sísmico de edificios*”. Limusa, Ciudad de México.
- Buques Sísmicos. (2014). “*¿Qué es un buque sísmico y cómo funciona?*”. Fecha de consulta: agosto de 2016. Disponible en [http://maquinasdebarcos.blogspot.mx/2014\\_04\\_01\\_archive.html](http://maquinasdebarcos.blogspot.mx/2014_04_01_archive.html)
- Bureau of Land Management. (2007). “*Manual transmittal sheet: onshore oil and gas geophysical exploration surface management requirements (public)*”. United States Department of the Interior Bureau of Land Management. H-3150-1. EUA.
- Carbajal, E. (2015). “*Revisión y metodología para la aplicación de la NOM-026-SESH2007: Lineamientos para los trabajos de prospección sísmológica petrolera y especificaciones de los niveles máximos de energía*”. Tesis UNAM. Ciudad de México.
- Carroll, A.G., Przeslawski, R., Duncan, A., Gunning, M. y Bruce, B. (2017). “*A critical review of the potential impacts of marine seismic surveys on fish & invertebrates*”. Marine Pollution Bulletin, 114 (1), pp. 9-24.
- Cecilio, V. (2011). “*Nueva filosofía de diseño por torsión sísmica en estructuras de mampostería*”. Tesis UNAM, Ciudad de México.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Cecilio, V., Galiote, M. y Escobar, J.A. (2013). “*Comportamiento inelástico de estructuras de mampostería confinada bajo la acción de un sismo intenso*”. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Boca del Río Veracruz.
- Cecilio V., Galiote M., Escobar J.A. y Gómez R. (2015). “*Análisis de viviendas sometidas a los efectos de vibraciones de origen no naturales desplantadas sobre suelo blando*”, XX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica: Resiliencia de las estructuras a 30 años del sismo del 85. Acapulco, Gro.
- CEDURE (2004). “*Manual de autoconstrucción: Guía práctica para la construcción de una vivienda básica*”. Programa permanente de formación ciudadana. Centro de Estudios para el Desarrollo Urbano y Regional. Santa Cruz Bolivia.
- CENAPRED. (2013). “*Portal del Centro Nacional de Prevención de Desastres*”. Disponible en: <http://www.cenapred.unam.mx/es/PreguntasFrecuentes/faqpopo3.html>.
- CEPAL y BID. (2000). “*Un tema del desarrollo: la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres*”. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Sede Subregional en México) y Banco Interamericano de Desarrollo.
- Chardon, A. y González, J.L. (2002). “*Amenaza, vulnerabilidad, riesgo, desastre, mitigación, prevención: primer acercamiento a conceptos, características y metodologías de análisis y evaluación*”. Indicadores para la gestión de riesgos, ATN/JF-7907-RG. Manizales, Colombia.
- CIA. (2015). “*Central Intelligence Agency: Country comparison oil production*”. Fecha de consulta: diciembre de 2015. Disponible en: <http://web.archive.org/web/20100325110412/https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2173rank.html>
- CIA. (2016). “*Central Intelligence Agency: Country comparison oil consumption*”. Fecha de consulta: enero de 2016. Disponible en: <http://web.archive.org/web/20100325110253/https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2174rank.html>
- Conchrane, S. W. y Shaad, W. H. (1992). “*Assessment of earthquake vulnerability of buildings*”. Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering. Ed. Balkema, Madrid, España.
- Cornell, C.A. (1968). “*Engineering seismic risk analysis*”. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 58:1583-1606.
- Cruz, V., Gallego E. y González L. (2009). “*Sistema de evaluación de impacto ambiental*”. Facultad de informática sistemas informáticos. Universidad Politécnica de Valencia. Madrid.
- CSI, (2009). “*SAP2000, Analysis Reference*”. Vols I y II, Computers and Structures Inc., Berkeley California, EUA.
- Diario presente (2017). “*Cada año aumentan la delincuencia en Tabasco*”. Diariopresente.com.mx. Fecha de consulta: enero de 2017. México.
- Ducci, M. E. (1989). “*Introducción al urbanismo: conceptos básicos*”, Editorial Trillas, México.
- E&P Sound and Marine Life Programme (2017). “*The E&P sound & marine life joint industry programme*”. Disponible en: <http://www.soundandmarinelife.org>.

- Escobar, J.A. y García, J.P. (1997). “*Ubicación de instrumentos sísmicos en estructuras para evaluar cambios en sus características dinámicas*”. XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Veracruz, México.
- Escobar, J.A., Murià, D. y Rodríguez, G. (2000). “*Levantamiento de daños en construcciones de la cuenca de Macuspana, Tabasco*”. Informe del proyecto 547 para PEMEX Exploración y Producción, Activo de Exploración Macuspana, Región Sur. Instituto de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México.
- EsGeo, Estudios Geofísicos. (2013). “*Estudios geofísicos esgeo*”. Fecha de consulta: marzo de 2013. Disponible en <http://esgeo.es/metodo4.html>.
- Fernández, C. y Santana, G. (1990). “*Bases para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en estructuras existentes*”. V Seminario de Ingeniería Estructural. San José, Costa Rica.
- Galiote M. (2015). “*Evaluación de la vulnerabilidad de viviendas de mampostería en el sureste de México*”. Anuario de Investigación del Posgrado de Urbanismo de la UNAM, México, No. 1, pp 79-95.
- Galiote M., Escobar J.A., Cecilio V. y Morillón D. (2015). “*Vulnerable houses in the southeast of México*”. 7th International Conference on Contemporary Problems of Architecture and Construction. Florencia, Italia.
- García, O. (2013). “*Geografía de Tabasco*”. Bloque II. Regiones naturales de tabasco y su biodiversidad”. Villahermosa, Tabasco.
- Gayá, M. A. (2005). “*Procesado de sísmica de reflexión superficial en la cuenca de AINSA, Huesca (España)*”. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Geofísico. Universidad Simón Bolívar. Ingeniería Geofísica. Caracas Venezuela.
- Guía Noruega. (2015). “*Guide: Implementation of seismic surveys on the Norwegian Continental Shelf*”. Fecha de consulta: junio de 2015. Disponible en <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1997-06-27-653>
- Gobierno del Estado de Tabasco. (2014). “*Portal Oficial del Gobierno del Estado de Tabasco*”. Fecha de consulta: junio de 2014. Disponible en <http://sedeco.tabasco.gob.mx/>.
- H. Ayuntamiento de Cárdenas y Huimanguillo (2015). “*Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México*”. Fecha de consulta: marzo de 2015. Disponibles en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM27tabasco/municipios/27002a.html> y <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM27tabasco/municipios/27008a.html>
- Hernández O., (1977). “*Diseño y construcción de estructuras de mampostería. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, con comentarios y ejemplos*”, Series del Instituto de Ingeniería 403, Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad de México.
- Hernández O., y Meli, R., (1976). “*Modalidades de refuerzo para mejorar el comportamiento sísmico de muros de mampostería*”, Series del Instituto de Ingeniería 382, Instituto de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México.
- INEGI. (2005). “*Síntesis Socio demográfica Municipal de Puebla*”. Instituto Nacional de Estadística y Geografía Pue., México.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- INEGI. (2010). “*Censo de población y vivienda*”. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI. (2012). “*Modelo Digital de Elevaciones 1:50000 Continental: México*”. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, disponible en: <http://www.inegi.org.mx>.
- INEGI y CONEVAL (2010). “*Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social*”. Instituto Nacional de Estadística y Geografía y Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Subsecretaría de Prospectiva, Planeación y Evaluación. México.
- Informador (2010). “*Diario el informador*”. Consultado 5 de marzo de 2017. Disponible en: <http://www.informador.com.mx/mexico/2010/199480/6/el-63-de-las-viviendas-en-mexico-autoconstruidas.htm>.
- Instituto Argentino del Petróleo (1991). “*Guía de recomendaciones para proteger el medio ambiente durante el desarrollo de la exploración y explotación de hidrocarburos*”. Buenos Aires, Argentina.
- Jiménez, M.L. (2003). “*Propiedades estáticas de las arcillas de la cuenca de Macuspana Tabasco y su influencia en el comportamiento de las cimentaciones de las viviendas de esa región*”. Tesis de Maestría, UNAM. Ciudad de México.
- Justice Laws Website. (2016). “*Sitio Web de la Legislación Canadiense*”. Fecha de consulta: marzo de 2016. Disponible en <http://laws-lois.justice.gc.ca>.
- Kan-Ning, L. (2009). “*Three-dimensional Nonlinear Static/Dynamic Structural Analysis Computer Program*”. Manual de usuario, Vancouver, Canadá.
- Kennedy, M. (2017). “*Trump administration seeking permits for seismic air gun surveys in Atlantic*”. Npr News. Disponible en: <http://www.npr.org>.
- Lermo, J. y Escobar, J.A. (2013). “*Estudio para la determinación del daño a viviendas rurales por detonaciones en procesos de exploración petrolera, ubicadas en la zona denominada la herradura 3d ampliación de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo Tabasco*”. Propuesta técnica-económica de investigación sismológica. Instituto de Ingeniería de la UNAM. Ciudad de México.
- Ley de derechos y cultura indígena del estado de Tabasco (2009). Tabasco, México.
- Ley de desarrollo rural sustentable del estado de Tabasco (2009). Publicada el 29 de abril de 2009 (decreto 175).
- Ley de la responsabilidad civil por daño y deterioro ambiental del estado de Tabasco (2004). Publicada el 29 de diciembre de 2004. Primera reforma publicada el 25 de mayo de 2013.
- Ley de ordenamiento sustentable del territorio del estado de Tabasco (2005). Publicada el 28 de diciembre de 2005. Primera reforma: 14 de marzo de 2009. Segunda reforma: 28 de septiembre de 2011. Tercera reforma: 28 de septiembre de 2011. Cuarta reforma: 29 de julio de 2015.
- Ley de Planeación del Estado de Tabasco (1983-2013). Tabasco, México.
- Ley de protección ambiental del estado de Tabasco (2012). Publicada el 22 de diciembre de 2012. Primera reforma publicada el 29 de julio de 2015.

- Ley de vivienda del estado de Tabasco (2011). Texto original decreto 120. Publicada el 28 de septiembre de 2011. Primera reforma el 15 de abril de 2015.
- Loera, S. (1982). "*Manual para evaluar daños causados por en estructuras de mampostería*", Instituto de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México.
- Lourenço, P.B. (2008). "*Structural masonry analysis: recent developments and prospects*". University of Minho, Department of Civil Engineering, Portugal.
- Maya, E. y Cervantes, J. (2005). "*La producción de vivienda del sector privado y su problemática en el municipio de Ixtapaluca*". Edit. Plaza y Valdés. Ciudad de México.
- Mansilla, E. (1999). "*Riesgo y Ciudad*". Tesis de Doctorado en Urbanismo. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Arquitectura UNAM. Ciudad de México.
- Meli, R. (1975). "*Comportamiento sísmico de muros de mampostería*". Instituto de Ingeniería de la UNAM. Series del Instituto de Ingeniería 352. Ciudad de México.
- Meli, R. (1985). "*Diseño estructural*". Ed. Limusa. Ciudad de México.
- Morán, Z. D. J. (1990). "*Geología de la República Mexicana*". México, INEGI, 86 p.
- Morillón D., (2004). "*Atlas del bioclima de México*", Serie Investigación y Desarrollo, Instituto de Ingeniería UNAM. Ciudad de México.
- Morillón, D. y Mejía, D. (2004). "*Modelo para diseño y evaluación del control solar de edificios*". Serie investigación y desarrollo. SID/645. Ciudad de México.
- Morillón, D. y Oropeza, I. (2009). "*Atlas de la ventilación natural para la República Mexicana. Potencial para ahorrar energía en la climatización de edificios*". Serie investigación y desarrollo. SID/663. Ciudad de México.
- Mossop, J. (2016). "*Protests against oil exploration at sea: Lessons from the Arctic Sunrise arbitration*". International Journal of Marine and Coastal Law, 31 (1), pp. 60-87.
- Murià, D., Escobar, J.A., Ovando, E., Lermo, J., Rodríguez, G. y Hernández, J. (2003). "*Efecto de las detonaciones en viviendas rurales en la Cuenca de Macuspana*". XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León, Gto.
- Murillo, C. G. (2004). "*Análisis de las causas que dieron origen a los daños estructurales, en las edificaciones del Estado de Puebla, provocados por el sismo del 15 de junio de 1999*". Tesis de licenciatura, Universidad de las Américas Puebla, Escuela de Ingeniería, México.
- Nolen-Hoeksema, R. (2014). "*Beginner's Guide to Seismic Surveying*". Oilfield Review, Volume 26, Issue 1:55-56.
- NOM-026-SESH-2007. (2007). "*Lineamientos para los trabajos de prospección sísmológica petrolera y especificaciones de los niveles máximos de energía*". México: SENER, 29, 09, 10 p.
- Nowacek, D.P., Clark, C.W., Mann, D., Miller, P.J.O., Rosenbaum, H.C., Golden, J.S., Jasny, M., Kraska, J., y Southall, B.L. (2015). "*Marine seismic surveys and ocean noise: Time for coordinated and prudent planning*". Frontiers in Ecology and the Environment, 13 (7), pp. 378-386.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- NPD. (2015). “*Norwegian Petroleum Directorate*”. Fecha de consulta: junio de 2015. Disponible en <http://www.npd.no/en/Regulations>
- NTCS-2004 (2004). “*Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo*”, Gaceta Oficial del Distrito Federal; XIV época; Tomo I, No. 103 Bis, 6 de octubre de 2004.
- Ofi Geo. (2014). “*Oficina Geotécnica*”. Fecha de consulta: octubre de 2014. Disponible en <http://ofigeo.wordpress.com>.
- Orduña, A. y Ayala, G. (2001). “*Simulación analítica del comportamiento no lineal de muros diafragma de mampostería sujetos a cargas laterales*”. Revista de Ingeniería Sísmica No. 64 69-94. Ciudad de México.
- Oro negro (2016). “*Sigue Tabasco en primer lugar en desempleo a nivel nacional: INEGI*”. Oro negro, ¡Mi diario petrolero!, México.
- Oropeza, I. y Morillón, D. (2011). “*Potential of natural ventilation in Mexico according to its hours of hygrothermal comfort*”. Smart Grid Renew Energy; 2(4):417–26.
- PEMEX (2013). “*Provincia Petrolera Sureste (Salina del Istmo, Reforma-Akal y Macuspana)*”. Pemex Exploración y Producción, Subdirección de Exploración. México, 57 p.
- PEMEX (2013). “*Anuario Estadístico 2013*”. México.
- PEP (2009). “*Disposiciones en materia de responsabilidad y mejores prácticas operativas para una coexistencia armónica con la comunidad garantizando la continuidad de las actividades de Pemex exploración y producción*”. Subdirección Región Norte Unidad de Administración de Asuntos Externos y Comunicación. Anexo AE (asuntos externos). No. 124/09-ORSCP-I.
- Pérez, J.J. (2006). “*Earthquake Engineering, Challenges and Trends*”. Instituto de Ingeniería, UNAM, ISBN: 970-32-3699-5. Ciudad de México.
- Pinkus, M. J. y Contreras, A. (2012). “*Impacto socioambiental de la industria petrolera en Tabasco: el caso de la Chontalpa*”. LiminaR Estudios Sociales y Humanísticos, Vol.10, No. 2. San Cristóbal de las Casas, México.
- Prontuario Cárdenas (2008). “*Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Cárdenas, Tabasco*”. Clave geoestadística 27002.
- Prontuario Huimanguillo (2008). “*Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Huimanguillo, Tabasco*”. Clave geoestadística 27008.
- Pueblos América (2016). “*Pueblos de México en Internet*”. Consultado el 9 de septiembre de 2016 en <http://mexico.pueblosamerica.com>.
- Ramírez de Alba, H., Pichardo, B. y Arzate, S. P. (2007). “*Estimación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas en zonas urbanas*”. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY. ISSN: 1665-529X.
- RCDF (2004). “*Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*”. Gaceta Oficial del Distrito Federal, México, Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM, Ciudad de México.
- Reglamento canadiense. (2016). “*Règlement sur les études géophysiques liées à la recherche du pétrole et du gaz au Canada*”. DORS/96-117. Publié par le ministre de la Justice à l’adresse suivante: <http://lois-laws.justice.gc.ca>.

- Reglamento de Zonificación (2012). “*Reglamento de Zonificación del Municipio del Centro del Estado de Tabasco*”. Ayuntamiento Constitucional del Municipio del Centro.
- REUTERS. (2015). “*Oil report*”. Fecha de consulta: julio de 2015. Disponible en <http://uk.reuters.com/article/norway-economy-forecasts-idUKL0674675920070906>.
- Rodríguez, C. (2005). “*Manual de auto-construcción*”. Editorial Pax. México.
- Saldaña, J. (1999). “*Manual de autoconstrucción: Manos a la obra*”. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (IMCYC). México.
- Sánchez, T. (2005). “*Vulnerabilidad y riesgo de la vivienda en México*”. Memoria, curso corto regional de alto nivel sobre edificaciones de mampostería destinada a habitación. Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil y Colegio Ingeniería en Michoacán, Michoacán, México.
- Secretaría de Desarrollo Social y Protección del Ambiente (2006). “*Programa de ordenamiento ecológico del estado de Tabasco*”. Gobierno del estado de Tabasco. México.
- Sheriff, R. E. y Geldart, L. P. (1995). “*Exploration Seismology*”. Second Edition, Cambridge University Press, pp. 3-6.
- Suetsugu, D. y Shiobara, H. (2014). “*Broadband ocean-bottom seismology*”. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Volume 42:27-43.
- Taberas, M. A. (2008). “*Revisión de las recomendaciones para modelar y analizar estructuras de mampostería confinada ante carga lateral*”. Tesis de maestría, UNAM, Ciudad de México.
- Tejeda, J. C., Licea, R. y Araiza, J. C. (2004). “*Evaluación del comportamiento estructural de la vivienda económica, en la zona conurbada Colima-Villa de Álvarez, durante el sismo de enero del 2003*”. Memoria del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Guerrero.
- UNDRO, Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator. (1979). “*Natural Disasters and Vulnerability Analysis*”. Informe de la reunión de un grupo de expertos, Boston Public Library.
- Un-Habitat, United Nations Human Settlement Programme. (2007). “*Enhancing urban safety and security: global report on human settlements 2007*”. Londres, Earthscan United Nations, en: <http://www.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=2432>.
- Vega, D. y Lermo, J. (2005). “*Estimación de efecto de sitio y la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Acatlán, Puebla*”. Memorias del XV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Ciudad de México.
- White, G. F. (1974). “*Natural hazards research: concepts, methods and policy implications*”. In White, G. (ed.), Natural Hazards: local, national, global, Oxford University Press, New York.
- Worldatlas. (2016). “*Worldatlas*”. Fecha de consulta: septiembre de 2016. Disponible en <http://www.worldatlas.com>.



# APÉNDICE I

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- *Acelerómetro*. Es un instrumento que se utiliza para realizar las mediciones de vibraciones, esto es, están diseñados para medir la aceleración del sitio en el que están colocados. Transmiten señales eléctricas que son procesadas, se puede transferir a una computadora para visualizar en pantalla, imprimir o procesar.
- *Acelerógrafo*. Instrumento para medir aceleraciones del terreno en función del tiempo. Usualmente registra movimientos producidos por temblores fuertes o con epicentros cercanos. Al registro producido se le conoce como acelerograma. Los acelerógrafos también se colocan en el interior de pozos y estructuras para analizar su comportamiento en diferentes niveles de la construcción (cimientos, pisos intermedios, azotea).
- *Amenaza*. Hecho que puede producir un daño provocado por un evento natural o antrópico.
- *Ampliar*. Modificar una edificación aumentando la superficie y/o volumen edificado; modificar una instalación aumentando la capacidad existente.
- *Amplitud (de onda)*. Altura máxima de la cresta o del valle de una onda a partir del valor cero o línea base (aquella que corresponde a nula excitación sísmica).
- *Atenuación*. Disminución de la amplitud de las ondas sísmicas a medida que aumenta la distancia a partir de la fuente. Se debe esencialmente a la fricción interna de los materiales terrestres sujetos al paso de las ondas, a la distribución de la energía sísmica en un volumen cada vez mayor, a partir de la fuente, y a refracciones y reflexiones múltiples en diversas capas de la litósfera.
- *Brecha*. Vías de comunicación terrestre sin recubrimiento, con un ancho máximo de seis metros, ubicada dentro del polígono de la prospección sismológica, destinada al tendido del material telemétrico y al tránsito del equipo a utilizar.
- *Brecha sísmica*. Segmento o área de contacto entre placas, particularmente de tipo de subducción (p.ej. costa occidental de México) o de movimiento lateral (falla de San Andrés), en el que no se ha presentado un sismo de gran magnitud (mayor o igual a 7) en al menos 30 años. Actualmente, la brecha sísmica más importante en México es la correspondiente a la costa de Guerrero, entre Zihuatanejo y Acapulco.
- *Calibrar*. Operación que bajo condiciones específicas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación. En otras palabras, calibración es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia.
- *Carga*. Cantidad de material explosivo que se deposita en los pozos de tiro.
- *Colindancia*. Límite entre predios vecinos.
- *Corteza terrestre*. Capa rocosa externa de la Tierra. Su espesor varía entre 10 y 70 km.

## APÉNDICES

- *Capacidad de deformación.* “Capacidad suficiente para soportar de manera adecuada la sollicitación de vibración sin demeritar su resistencia”.
- *Daño.* Cualquier efecto permanente, estructural y no estructural apreciable mediante una inspección ocular, causado por vibración originada por la prospección sísmológica petrolera.
- *Deformabilidad y compresibilidad de roca.* Modificación de la forma geométrica de una roca y reducción de su volumen por la acción de las fuerzas externas.
- *Depósito de suelo.* Región donde se depositan materiales que cuentan con coherencia natural, derivada del tipo y tamaño microscópico de las partículas individuales que los forman.
- *Derrame.* Es el escape de cualquier sustancia líquida o sólida en partículas o mezcla de ambas, de cualquier recipiente que lo contenga, como tuberías, equipos, tanques, camiones cisterna, carros tanque, furgones, etc.
- *Desecación.* Pérdida de agua por los poros de los sedimentos debida a la compactación, o a evaporación causada por exposición al aire.
- *Deslizamiento.* Aplicado a suelos y a material superficial, se refiere a movimiento plástico lento hacia abajo. Aplicado a sólidos elásticos, alude a deformación permanente a causa de algún esfuerzo.
- *Deslizamiento del terreno.* Término general que se aplica a movimiento relativamente rápido de masa térrea.
- *Discontinuidad.* Falta de continuidad en una formación geológica que originalmente se manifestaba en la naturaleza en forma continua en el tiempo y en el espacio.
- *Diseño de prospección sísmológica.* Análisis de los objetivos geológicos petroleros a fin de calcular y definir los parámetros de operación que se emplearán en el estudio sísmológico.
- *Distancia de seguridad.* Espacio que existe entre el punto fuente de energía sísmica y la infraestructura a fin de asegurar su integridad y que es obtenida a través de un estudio de velocidad de partículas.
- *Diseño por desempeño.* “El diseño por desempeño es una forma de plantear los criterios de aceptación, para el análisis y diseño de estructuras, haciendo énfasis en el comportamiento esperado, el control de daños estructurales y no estructurales y los niveles de seguridad establecidos.
- *Efectos de sitio.* Son modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie. Entre más blando sea el tipo de suelo que exista bajo la estación, mayor será la amplificación. En otras palabras, podría decirse que el efecto de sitio es aquella condición bajo la cual se llegan a observar intensidades sísmicas notablemente distintas y bien localizadas sin que haya una correlación con la atenuación normal de la energía sísmica con la distancia. Un claro ejemplo de lo anterior se tiene en la zona de lago de la ciudad de México.
- *Epicentro.* Punto en la superficie de la Tierra resultado de proyectar sobre ésta el hipocentro de un terremoto. Se encuentran usualmente en un mapa, señalando el lugar justo sobre el origen del movimiento sísmico.

- *Equipamiento primario*. Es el que sirve a poblaciones entre 5,000 y 6,000 habitantes y atiende los requerimientos básicos a escala peatonal. Localizado dentro de la unidad vecinal.
- *Erosión*. La remoción de suelo y partículas de roca por el viento, ríos y hielo reciben el nombre de erosión.
- *Esguerramiento*. Agua que fluye sobre la superficie de la tierra.
- *Esfuerzo*. Medida de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. En Física se expresa como fuerza por unidad de área.
- *Estabilidad de taludes*. Involucra a los problemas principales que se plantean en los taludes de tierra y/o roca, inclusive el control de deslizamientos y caídos a los lados de los cortes, a los costados de los depósitos de materiales de relleno y en las faldas de las colinas naturales. Los estudios geotécnicos representan una herramienta poderosa para definir la solución de los problemas de estabilidad de taludes.
- *Estado de esfuerzo*. Magnitud de los esfuerzos de tensión o compresión que propician el estado en el que un elemento geológico se presenta en la naturaleza.
- *Estratificación*. Estructura producida por depósito o sedimentación en estratos o capas. Término colectivo que se usa para indicar la existencia de capas o estratos en rocas sedimentarias, y ocasionalmente en ígneas y metamórficas. Algunas veces se usa como sinónimo de plano de estratificación.
- *Estratificación gradual*. Tipo de estratificación que ocurre en depósitos sedimentarios cuando las partículas son progresivamente más finas de abajo hacia arriba.
- *Estrato*. Capa de suelo o de roca que se localiza en una región, originalmente en posición horizontal; en ocasiones su espesor puede ser muy variable.
- *Estudios de prospección sísmica de reflexión profunda*. Consiste en generar ondas sísmicas mediante una fuente emisora y registrarlas en una serie de estaciones sensoras distribuidas sobre el terreno. “La técnica geofísica más utilizada en la prospección de petróleo es la sísmica de reflexión ya que permite obtener una imagen directa de la estructura geológica de las cuencas exploradas. Mediante este método se localizan las estructuras trampa, susceptibles de alojar petróleo, y se establecen los puntos a prospectar mediante sondeos directos.
- *Evaporación*. Proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se mezcla con el aire.
- *Evapotranspiración*. Pérdida de agua por la atmósfera como resultado de los efectos combinados de la evaporación y la transpiración de las plantas.
- *Explosión*. Es la liberación de una cantidad considerable de energía en un lapso de tiempo muy corto, debido a un impacto fuerte, por reacción química de ciertas sustancias, o por ignición de ciertos materiales.
- *Excitaciones dinámicas*. Se dice que se está ante un caso de excitación dinámica cuando las vibraciones de un sistema mecánico analizado no vienen generadas por la aplicación externa de unas cargas exteriores que sean función conocida del tiempo, sino por unos movimientos conocidos (al menos hasta cierto punto) del soporte o base sobre la que se encuentra el sistema. Los terremotos

## APÉNDICES

y la transmisión de vibraciones de sistema a otro, son ejemplos significativos de este tipo de solicitaciones.

- *Falla*. Superficie de ruptura en rocas a lo largo de la cual ha habido movimiento relativo, es decir, un bloque respecto del otro. Se habla particularmente de falla activa cuando en ella se han localizado focos de sismos o bien, se tienen evidencias de que en tiempos históricos han habido desplazamientos. El desplazamiento total puede variar de centímetros a kilómetros dependiendo del tiempo durante el cual la falla se ha mantenido activa (años o hasta miles y millones de años). Usualmente, durante un temblor grande, los desplazamientos típicos son de uno o dos metros.
- *Fluido*. Material que ofrece poca o ninguna resistencia a las fuerzas que tienden a cambiarlo de forma.
- *Foco*. Punto de origen del sismo, en el interior de la Tierra. Lugar donde empieza la ruptura que se extiende formando un plano de falla. También nombrado como hipocentro.
- *Formaciones*. Rasgos geológicos característicos de una región de la tierra, determinados por los materiales existentes y los procesos físicos que les dieron origen en el devenir histórico de la Tierra.
- *Frecuencia (de una onda)*. Número de ciclos por segundo. Se expresa en unidades llamadas Hertz. La frecuencia es el inverso del periodo.
- *Frecuencia fundamental*. Es la frecuencia más baja del espectro de frecuencias tal que las frecuencias dominantes pueden expresarse como múltiplos de esta frecuencia fundamental.
- *Fracturamiento*. Patrones de ruptura que determinan generalmente la consistencia de las masas rocosas. Los patrones de estratificación y fracturamiento o ruptura así como los lentes de roca muy intemperizada son los factores que controlan la consistencia de la roca.
- *Fuga*. Se presenta cuando hay un cambio de presión debido a rupturas en el recipiente que contenga el material o en la tubería que lo conduzca, se emplea este término para el escape de gases.
- *Geotecnia*. Es la aplicación de las ciencias de la tierra a la solución de los problemas de ingeniería civil.
- *Grieta*. Fisura. Abertura o brecha de un bordo natural.
- *GPS (Sistema de Posicionamiento Global)*. Iniciales correspondientes a Global Positioning System que, con base en señales recibidas de satélites, permite determinar con gran precisión la ubicación de puntos en la superficie terrestre, diferencias de altura, etc. Utilizando sistemas GPS de alta resolución es posible determinar desplazamientos entre placas tectónicas, estructuras artificiales, etc.
- *Hipocentro*. Ver Foco.
- *Humedad*. Cantidad de vapor de agua en la atmósfera.
- *Humedad relativa*. Cantidad de humedad en el aire a una temperatura determinada comparada con el máximo que podría retener a esa temperatura; suele expresarse en forma de porcentaje.
- *Hundimiento (en la parte alta de una ladera)*. Movimiento hacia abajo y hacia fuera de la roca o del material sin consolidar, como una unidad o como una serie de unidades. Se le llama también falla de pendiente.

- *Hidrocarburos*. Son compuestos de gran abundancia en la naturaleza y están integrados por átomos de carbono e hidrógeno. Forman el esqueleto básico de las moléculas de la materia orgánica, por lo que también son conocidos como compuestos orgánicos. Se pueden encontrar en formaciones geológicas, tanto en estado líquido (denominado comúnmente con el nombre de petróleo) como en estado gaseoso (gas natural).
- *Inclinación*. Ángulo que manifiesta la pérdida de la verticalidad original de la vegetación o de objetos construidos por el hombre, localizados sobre la superficie inclinada de un talud o ladera natural que se encuentra en movimiento descendente a causa de su inestabilidad o falla.
- *Inestabilidad*. Situación en la que la temperatura de una masa de aire ascendente es siempre más caliente que el aire circundante; en consecuencia sigue subiendo y a veces llega a la tropopausa.
- *Infiltración*. Penetración de agua superficial hacia el interior de la tierra.
- *Infraestructura*. Cualquier construcción hecha por el hombre.
- *Intemperismo*. Proceso de transformación y destrucción de los minerales y las rocas en la superficie de la Tierra, a poca profundidad, debido a la acción de agentes físicos, químicos y orgánicos.
- *Intensidad (sísmica)*. Número que se refiere a los efectos de las ondas sísmicas en las construcciones, en el terreno natural y en el comportamiento o actividades del hombre. Los grados de intensidad sísmica, expresados con números romanos del I al XII, correspondientes a diversas localidades se asignan con base en la escala de Mercalli. Contrasta con el término magnitud que se refiere a la energía total liberada por el sismo.
- *Inundaciones*. Acumulación de niveles extraordinarios de agua, sobre terrenos normalmente planos y de poca elevación con respecto al nivel medio de agua presente en los receptáculos naturales y artificiales circundantes a una región.
- *Irregularidades topográficas*. Cambios importantes en altura o forma de los rasgos naturales existentes, como la presencia de un valle redondo de cadenas montañosas.
- *Inseguridad*. Se conoce como inseguridad a la sensación o percepción de ausencia de seguridad que percibe un individuo o un conjunto social respecto de su imagen, de su integridad física y/o mental y en su relación con el mundo.
- *Ladera*. Costado de un terraplén o de una montaña.
- *Licuaación de suelos*. Consiste en la pérdida de resistencia de suelos arenosos, con partículas de tamaño uniforme y que se encuentren saturados, como consecuencia de las vibraciones del terreno natural que origina el paso de ondas sísmicas, durante la ocurrencia de un temblor.
- *Límite elástico*. Esfuerzo máximo que puede soportar un sólido sin sufrir deformación permanente, sea por flujo plástico o por ruptura.
- *Litosfera*. Cubierta rígida de la Tierra. Está constituida por la corteza y la parte superior del manto; su espesor promedio no excede 100 km. Se encuentra dividida en grandes porciones móviles llamadas placas tectónicas.
- *Litología*. Es la parte de la geología que estudia las características de las rocas.
- *Longitud de onda*. Distancia entre dos puntos o fases sucesivos de una onda, por ejemplo crestas o valles.

## APÉNDICES

- *Magnitud (de un sismo)*. Valor relacionado con la cantidad de energía liberada por el sismo. Dicho valor no depende, como la intensidad, de la presencia de pobladores que observen y describan los múltiples efectos del sismo en una localidad dada. Para determinar la magnitud se utilizan, necesariamente, uno o varios registros de sismógrafos y una escala estrictamente cuantitativa, sin límites superior ni inferior. Una de las escalas más conocidas es la de Richter, aunque en la actualidad frecuentemente se utilizan otras como la de ondas superficiales (Ms) o de momento sísmico (Mw).
- *Manto terrestre*. Porción intermedia de la Tierra, cubierta por la corteza y que descansa sobre el núcleo. Su espesor es de unos 2,850 kilómetros; está compuesto por rocas densas y divididas en varias capas concéntricas.
- *Mapa de intensidades sísmicas*. Mapa que muestra la distribución geográfica de los efectos de un sismo de magnitud considerable, generada por un sistema automático, poco después de ocurrido el evento. Los efectos pueden estar representados por valores de aceleración del terreno (intensidad instrumental) que permiten identificar las zonas más afectadas y optimizar la respuesta por parte de los cuerpos de auxilio y la atención de la emergencia.
- *Mapeo (geológico)*. Representación gráfica que intenta dar una idea general de la geología de la zona; debe incluir todos los rasgos geológicos–estructurales presentes. Generalmente, hay dos fases en la preparación de mapas para estructuras específicas. En la primera se hace una investigación de reconocimiento. En ésta el geólogo utiliza la brújula, tipo Brunton, o semejante para medir ángulos horizontales, pendientes de laderas, rumbos y buzamientos. En la segunda fase, para más detalle, utiliza generalmente una mesa plana y una alidada (plancheta). Con éstas puede establecer la situación de los contactos entre formaciones y los rasgos geológicos estructurales de la zona, con un grado de exactitud razonable.
- *Material cohesivo*. Material coherente, se refiere a suelos en los cuales el agua absorbida y la atracción entre las partículas actúan conjuntamente para producir una masa que se mantiene unida y se deforma plásticamente con cantidades de agua variables. Se les conoce como suelos cohesivos o arcillas.
- *Material explosivo*. Compuesto químico que tiene la capacidad de ser utilizada como fuente de energía para la generación de ondas sísmicas que se transmiten a través del subsuelo.
- *Material térreo*. Material que en conjunto puede estar integrado por arcilla, limo, arena y fragmentos de roca. Generalmente se hace una distinción entre suelo y roca por el hecho de que el suelo es una masa formada por diminutas partículas que se encuentran acomodadas en la naturaleza formando una estructura esquelética, mientras que la roca es una estructura densa con las partículas unidas justamente entre sí.
- *Mecánica de suelos*. Es la ciencia que estudia la estabilidad de las formaciones geológicas conformadas por sedimentos no consolidados (material térreo), el flujo de agua desde, hacia y a través de una masa de suelo, y permite evaluar si los riesgos asociados son tolerables en términos económicos y de seguridad para la población. Geológicamente, la mecánica de suelos está relacionada con los materiales térreos, no consolidados, producto de la desintegración de formaciones de roca, este material normalmente sobreyace a las formaciones geológicas de roca originales.
- *Microtremores*. Metodología que forma parte de los métodos pasivos unidimensionales. Consiste en determinar la distribución de los valores de velocidad de propagación de las ondas sísmicas de corte u onda S bajo el subsuelo, a partir del análisis espectral de los ruidos sísmicos del ambiente

provenientes del tráfico, máquinas, fábricas, oleaje oceánico y en general todo tipo de vibraciones de distintas frecuencias.

- *Monitoreo de las vibraciones superficiales.* Actividad que consiste en la adquisición y análisis de registros de vibraciones superficiales durante la prospección sísmológica.
- *Montaña.* Cualquier porción de una masa térrea que sobresale claramente con respecto a su entorno.
- *Muestra.* En estadística, una muestra es un subconjunto de casos o individuos de una población estadística. Las muestras se obtienen con la intención de inferir propiedades de la totalidad de la población, para lo cual deben ser representativas de la misma.
- *Muros de mampostería.* Elementos estructurales que permiten construir vivienda mediante la colocación manual de los materiales que los componen. Tienen gran diversidad en sus usos y generalmente se asocian con procedimientos artesanales en la fabricación de las piezas (tabiques, bloques, piedras talladas en formas regulares u otros) acopladas entre sí por un mortero adhesivo.
- *Nivel freático.* Superficie más alta de la zona de saturación del agua subterránea. Es irregular, con pendiente y forma determinadas por la cantidad de agua freática o subterránea y por la permeabilidad de las rocas. En general, bajo lomas y cerros su profundidad es menor y mayor en los valles.
- *Ondas sísmicas.* Perturbaciones elásticas de los materiales terrestres. Se pueden clasificar en ondas de cuerpo (P y S) y superficiales (Love y Rayleigh). Las primeras se transmiten en el interior de la tierra, en todas direcciones. Las ondas S no se propagan en medios líquidos. Las ondas superficiales muestran su máxima amplitud en la interfase aire-tierra.
- *Periodo (de una onda).* Intervalo de tiempo entre, por ejemplo, dos crestas o valles sucesivos. El período es el inverso de la frecuencia.
- *Placas (tectónicas).* Porciones de la litósfera terrestre, de grandes dimensiones y espesor no mayor a 100 km, que también se caracterizan por su movilidad debido a fuerzas ejercidas desde el manto terrestre.
- *Plano de falla.* Superficie de contacto entre formaciones geológicas, iguales o diferentes, producto de fracturamiento previo del terreno natural.
- *Plegamiento.* Distorsión de una estructura geológica. Las estructuras plegadas se deben a la compresión dentro de la corteza terrestre generada por el movimiento lateral de los continentes.
- *Pozo de tiro.* Perforación que se hace en el terreno para colocar una carga de explosivo.
- *Predicción (de terremotos).* Determinación del lugar, fecha y magnitud de un terremoto, junto con los respectivos rangos de error. Hasta ahora no se cuenta con un procedimiento que defina con seguridad estos tres parámetros.
- *Presión atmosférica.* También llamada presión del aire o barométrica, es el peso de la atmósfera sobre una unidad de la superficie de la Tierra. Los cambios de temperatura suelen ir acompañados de fluctuaciones en la presión atmosférica.
- *Procesos geológicos.* Son los diversos procesos que continuamente actúan sobre la superficie de la tierra, son el aplanamiento de relieve, el diastrofismo y el vulcanismo. La gradación es la demolición de los elementos morfológicos existentes (inclusive montañas). La erosión, por ejemplo, es un caso particular del arrasamiento llevado a cabo por la acción del agua, el aire o el del hielo.

## APÉNDICES

- *Red de observación sísmica.* Grupo de instrumentos de registro sísmico distribuidos en un área determinada y que funcionan bajo una base de tiempo común. Se habla de una red local cuando ésta cubre un área de pocos kilómetros cuadrados, usualmente para monitorear objetivos específicos (p. ej. presas, zonas con enjambres sísmicos, etc.) Por otra parte, una red regional permite estudiar grandes extensiones territoriales como es el caso de aquella utilizada por el Servicio Sismológico Nacional.
- *Remodelación.* Modificación de espacios sin ampliar superficie cubierta.
- *Réplicas.* Sismos menores que siguen a uno de magnitud grande o moderada. Se concentran en un volumen restringido de la litósfera y decrecen en tamaño y número a medida que pasa el tiempo.
- *Residuo.* Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.
- *Resistencia.* Fuerza necesaria para que ocurra la ruptura o para que comience la deformación plástica.
- *Restauración.* Conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución continuidad de los procesos naturales.
- *Riesgo sísmico.* Producto de tres factores. El valor de los bienes expuestos (C), tales como vidas humanas, edificios, carreteras, puertos, tuberías, etc; la vulnerabilidad (V), que es un indicador de la susceptibilidad a sufrir daño, y el peligro (P) que es la probabilidad de que ocurra un sismo de cierta intensidad en un lugar determinado; así  $R = C \times V \times P$ . El grado de preparación de una sociedad determina la disminución de la vulnerabilidad y, en consecuencia, del riesgo.
- *Roca.* Agregado de minerales de diferentes especies en proporciones variables.
- *Región.* Se define como el área geográfica que se puede identificar por una o más características.
- *Región geográfica.* Es una porción del territorio con características homogéneas o complementarias.
- *Resiliencia.* Término adaptado a las ciencias sociales para caracterizar aquellas personas que, a pesar de nacer y vivir en situaciones de alto riesgo, se desarrollan psicológicamente sanos y exitosos.
- *Riesgo.* Se define como el número esperado de pérdidas debido a la ocurrencia de un fenómeno particular, y en consecuencia el producto de amenaza y riesgo específico.
- *Riesgo antrópico.* Son los riesgos producidos por actividades humanas que se han ido desarrollando a lo largo del tiempo. Están directamente relacionados con la actividad y el comportamiento del hombre.
- *Riesgo específico.* Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función tanto de las amenazas naturales y la vulnerabilidad.
- *Sedimentación.* Proceso mediante el cual se asienta la materia orgánica y la mineral.
- *Sedimentos no consolidados.* Material producto de la desintegración de rocas. Según el grado de desintegración y degradación física y/o química de los sedimentos en orden descendente del tamaño de sus partículas, éstos pueden ser: fragmentos de roca, cantos rodados, grava, arena, limo, arcilla o materia orgánica. Comúnmente los depósitos de sedimentos no consolidados están formados por

la combinación de partículas de una amplia gama de tamaños, que en ocasiones incluyen hasta fragmentos de roca, con dimensiones y proporciones diversas.

- *Sensor sísmico*. Sistema mecánico o electromecánico, basado en un péndulo suspendido, que es excitado por el paso de las ondas sísmicas. Es utilizado en sismógrafos y acelerógrafos y se les llama sismómetros y acelerómetros, respectivamente.
- *Sequía*. Período de tiempo durante el cual hay un déficit de agua tal que llega a afectar las actividades humanas.
- *Servicios*. Instalaciones y/o locales destinados a la presentación de un beneficio o para satisfacer una necesidad pública o privada.
- *Sismo*. Fracturamiento repentino de una porción de la litósfera terrestre (cubierta rígida del planeta) como consecuencia de la acumulación de esfuerzos de deformación. La energía liberada por el rompimiento se propaga en forma de ondas sísmicas, hasta grandes distancias. Vibraciones de la Tierra ocasionadas por la propagación, en el interior o en la superficie de ésta, de varios tipos de ondas elásticas. La energía que da origen a estas ondas proviene de una fuente sísmica. Comúnmente se habla de que un sismo tiene carácter oscilatorio o trepidatorio. Ambos términos se derivan de la percepción que ciertas personas tienen del movimiento del terreno y no de un parámetro instrumental. El terreno, ante el paso de las ondas sísmicas, no se mueve exclusivamente en dirección horizontal (oscilatorio) o vertical (trepidatorio) sino más bien de una manera compleja por lo que dichos términos no son adecuados para caracterizar el movimiento del terreno.
- *Sismógrafo*. Instrumento de alta sensibilidad para registrar los movimientos del terreno ocasionados por la propagación de las ondas sísmicas. Al registro producido se le conoce como sismograma, necesario para el cálculo de la magnitud (tamaño) de un sismo.
- *Sismoscopio*. Sismógrafo elemental que sólo deja constancia de un movimiento del terreno, relativamente intenso, sin que el registro tenga marcas de tiempo.
- *Suelo*. Material que se forma en la superficie de la tierra como resultado de procesos orgánicos. El suelo varía según el clima, la vida animal y vegetal, el tiempo, la pendiente del terreno y el material (rocoso) del que se deriva.
- *Superficie total construida*. Es la suma total de las superficies parciales de todas las piezas que conforman un edificio. En el cálculo se incluye la sección horizontal, los muros y tabiques del edificio. Para el caso de edificios con más de dos plantas se considera, la sumatoria de las superficies de cada una de ellas.
- *Tabique*. Se llama tabique a una pared delgada que sirve para separar habitaciones dentro de un edificio. Generalmente se hacen de ladrillo hueco sencillo o de otros materiales (bloque de hormigón o placas de mortero aligerado) enlucido con yeso por una o dos de sus caras, según su uso. Cuando el ladrillo es del tipo llamado hueco doble, se llama tabicón.
- *Tectónica de placas*. Teoría que explica la dinámica de grandes porciones de la litósfera y su relación con la ocurrencia de sismos, volcanes y deformaciones corticales.
- *Temperatura*. Es la condición que determina la transmisión del calor de un cuerpo a otro: del más caliente al más frío.
- *Termómetro*. Aparato destinado a comparar en una forma convencional la temperatura de unos cuerpos respecto de otros.

## APÉNDICES

- *Tensión*. Tipo de acción, en términos de fuerza o esfuerzo cuyos efectos se manifiestan a manera de un jalón o un tirón.
- *Tiempo*. Es la suma total de las propiedades físicas de la atmósfera, o sea de los elementos, en un período cronológico corto, o también llamado el estado momentáneo de la atmósfera.
- *Tipología*. Conjunto de características comunes de un uso o de una edificación, que las agrupan y las distinguen de otras.
- *Tsunami (maremoto)*. Ola con altura y penetración tierra adentro superiores a las ordinarias, generalmente causada por movimientos del suelo oceánico en sentido vertical, asociado a la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud con epicentro en una región oceánica.
- *Unidad vecinal*. Es la agrupación habitacional de 4,000 a 10,000 pobladores, abastecida por equipamiento primario (plaza, escuelas, centros sociales, mercados u edificios administrativos).
- *Urbanización*. Es el proceso a través del cual se concentra y densifica un territorio o terreno en forma planificada, dotándolo de vías de circulación, servicios públicos esenciales y de áreas de equipamiento.
- *Viviendas unifamiliares*. Edificación que sirve para albergar una familia. Viviendas ocupadas por una única familia, por lo que se diferencian de las viviendas colectivas en las cuales suelen vivir más familias.
- *Vulnerabilidad*. Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresado en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.
- *Velocidad de partícula*. Valor máximo de la tasa de cambio del desplazamiento de la partícula en un registro de vibración superficial, en cualquiera de los componentes.
- *Vibración*. Movimiento oscilatorio de los cuerpos sólidos respecto de una posición de equilibrio.
- *Vibrador*. Equipo mecánico e hidráulico montado en un vehículo que utiliza una placa base que es presionada contra la tierra y que vibra a intervalos regulares generando ondas sísmicas.
- *Viento*. Movimiento del aire de la atmósfera determinado, por su magnitud e intensidad, su dirección y sentido. La dirección y sentido se determina por medio de la veleta; la intensidad, por la velocidad del viento o por la presión que ejerce sobre una superficie normal.
- *Zonificación Sísmica o Microzonificación*. Clasificación de un territorio en función de diferentes niveles de peligro derivados de la actividad sísmica. La distribución geográfica de las fuentes sísmicas, sus rangos de profundidad y de magnitud así como la frecuencia de ocurrencia determinan esencialmente un cierto nivel de peligro. Una zonificación sísmica es empleada para orientar criterios de construcción sismorresistente, aunque no indica áreas con efectos de sitio. Cuando una clasificación de este tipo se lleva a cabo en un área específica, por ejemplo en un valle aluvial o área urbana, se le conoce como microzonificación sísmica. En ese caso sí se tiene una caracterización del efecto de sitio.

# APÉNDICE II

## ELEMENTOS BASE PARA EL ANÁLISIS SOCIAL

### Encuesta (E1)

1. ¿Cuánto tiempo tiene su vivienda, aproximadamente en qué año se asentó aquí?
2. ¿Cuándo cree que llegó Pemex a su población?
3. ¿Sabe si existen mapas de ubicación de los pozos petroleros encontrados?
4. ¿Sabe si existe un reglamento, norma o documento que indique los daños a cubrir en caso de siniestro?
5. ¿Considera que su población ha ido creciendo o disminuyendo? Es decir, la estadía de empresas como Pemex ha contribuido con la economía o beneficios hacia la población (oportunidades de empleo).
6. ¿Cuánto tiempo aproximado dura alguna actividad petrolera efectuada por Pemex en una zona?
7. ¿Sabe la ubicación del lugar en donde se efectúan pruebas, la población es notificada con anticipación de los estudios a realizar?
8. ¿Sabe si existen medios que alerten a la población en caso de siniestro?
9. ¿Cree que ha cambiado el nivel socio económico de la región con la presencia de Pemex?



## CUESTIONARIO E2: ENCUESTA A LA POBLACIÓN

*Objetivo: el cuestionario tiene como propósito conocer el estado y características de las viviendas, así como la satisfacción y el nivel de seguridad que les proporciona.*

*La información que proporciona será utilizada con absoluta discreción y para fines académicos-estadísticos.*

**¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!**

### 1. DATOS DE CONTROL DE LA ENTREVISTA:

1.1 FECHA/HORA: \_\_\_\_\_

1.2 POBLACIÓN: \_\_\_\_\_

1.3 CALLES COLINDANTES: \_\_\_\_\_

1.4 ENTREVISTADOR: \_\_\_\_\_

### 2. DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS:

2.1 SEXO:  masculino;  femenino

2.2 EDAD:  15-19;  20-29;  30-39;  40-49;  50-59;  60-69;  +70

2.3 ¿ES UD. EL/LA JEFE DE LA FAMILIA:  Sí;  No

2.4 SI ES JEFE (A) DE LA FAMILIA, ENTONCES, FAVOR DE INDICAR SI ES:

Padre/Madre;  Abuelo/Abuela;  Tío/Tía;  hermano/hermana mayor; \_\_\_\_\_ otro/a

2.5 ¿DE CUÁNTOS MIEMBROS SE COMPONE SU FAMILIA? \_\_\_\_\_ (número)

2.6 ¿CUÁNTOS SON ADULTOS, ADOLESCENTES Y/O NIÑOS?

\_\_\_\_\_ adultos; \_\_\_\_\_ adolescentes; \_\_\_\_\_ niños.

(\*NOTA: adulto = +18 años; adolescente = 13-18 años; niño = menores de 13 años)

2.7 ¿CUÁLES ES EL ÚLTIMO AÑO DE ESTUDIOS QUE USTED HA ALCANZADO? (marcar con un círculo).

Primaria: 1 2 3 4 5 6

Secundaria: 1 2 3

Vocacional: 1 2 3

Universidad: 1 2 3 4 5

Especialidad: \_\_\_\_\_

Posgrado: \_\_\_\_\_

2.8 ¿ACTUALMENTE SE ENCUENTRA ESTUDIANDO?  Sí;  No

2.9 ¿CUÁL ES SU HORARIO DE ESTUDIOS?  Matutino;  Vespertino;  Nocturno

2.10 ¿CUÁL ES SU PROFESIÓN? \_\_\_\_\_

2.11 ¿EN QUÉ ACTIVIDAD TRABAJA ACTUALMENTE? \_\_\_\_\_

2.12 ¿CUÁL ES SU SALARIO PROMEDIO MENSUAL?

Menos de \$3,000.00

Entre \$3,000 y \$5,000.00

Entre \$5,000 y \$7,000.00

Entre \$7,000 y \$10,000.00

Entre \$10,000 y \$12,000.00

Más de \$12,000.00

2.13 ¿TIENEN ALGUNA ACTIVIDAD COMERCIAL PARTICULAR COMO FAMILIA?

Sí;  No

Si la respuesta a la pregunta número 2.13 es Sí, entonces, ¿cuáles es esa actividad? \_\_\_\_\_

2.14 ¿CUÁNTAS PERSONAS DE SU FAMILIA TRABAJAN ACTUALMENTE? \_\_\_\_\_ (número)

2.15 ¿CUÁNTOS MIEMBROS DE SU FAMILIA ESTÁN BUSCANDO TRABAJO? \_\_\_\_\_ (número)

**3. DATOS MIGRATORIOS:**

- 3.1 ¿EN QUÉ PUEBLO, MUNICIPIO O REGIÓN NACIÓ USTED? \_\_\_\_\_  
3.2 ¿DÓNDE VIVÍA HACE CINCO AÑOS? \_\_\_\_\_  
3.3 ¿EN QUÉ AÑO SE TRASLADÓ USTED O SU FAMILIA A ESTA POBLACIÓN? \_\_\_\_\_  
3.4 ¿POR CUÁNTOS AÑOS MÁS PIENSA QUEDARSE EN ESTA POBLACIÓN? \_\_\_\_\_

**4. PROBLEMAS SOCIALES:**

4.1 ¿QUÉ PROBLEMAS SOCIALES SE VEN CON MÁS FRECUENCIA EN SU POBLACIÓN?  
(marque 1-5, siendo 1 el de menor frecuencia)

- |                          |                      |                                 |
|--------------------------|----------------------|---------------------------------|
| ___ Alcoholismo          | ___ Drogadicción     | ___ Desempleo                   |
| ___ Desnutrición         | ___ Pobreza familiar | ___ Falta de servicios públicos |
| ___ Abuso de la mujer    | ___ Abuso de niños   | ___ Abuso de ancianos           |
| ___ Delincuencia juvenil | ___ Madres solteras  | ___ Niños que trabajan          |

Otro: \_\_\_\_\_

4.2 ¿LOS VECINOS SE HAN ORGANIZADO EN ALGUNAS ACTIVIDADES PARA ENFRENTAR A ESTOS PROBLEMAS Y PARA BUSCAR SOLUCIONES VIABLES? \_\_\_ Sí; \_\_\_ No; \_\_\_ No sé  
Si la respuesta a la pregunta número 4.2 es Sí, entonces, ¿cuáles son estas actividades?  
\_\_\_\_\_

4.3 ¿EXISTE UN COMITÉ VECINAL O ASOCIACIÓN DE VECINOS? \_\_\_ Sí; \_\_\_ No; \_\_\_ No sé  
Si la respuesta a la pregunta número 4.3 es Sí, entonces, ¿participa usted o alguien de su familia?  
\_\_\_ Sí; \_\_\_ No

4.4 ¿CÓMO CONSIDERA LA ATENCIÓN DE LA AUTORIDAD MUNICIPAL A LOS PROBLEMAS DE SU COMUNIDAD? \_\_\_ Oportuna; \_\_\_ Inoportuna; \_\_\_ No sabe

**5. RELIGIÓN: (respuestas opcionales)**

- 5.1 ¿CUÁL FUE SU RELIGIÓN AL NACER?  
\_\_\_ Católica \_\_\_ Protestante/Evangélica \_\_\_ Mormona Otra: \_\_\_\_\_
- 5.2 ¿CUÁL ES SU RELIGIÓN ACTUAL?  
\_\_\_ Católica \_\_\_ Protestante/Evangélica \_\_\_ Mormona Otra: \_\_\_\_\_

**6. ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS VIVIENDAS:**

6.1 SU VIVIENDA ES: \_\_\_ Unifamiliar; \_\_\_ Dúplex; \_\_\_ Triplex; \_\_\_ Cuádruplex; \_\_\_ Múltiple

6.2 SU VIVIENDA ES: \_\_\_ Propia; \_\_\_ Rentada; \_\_\_ Prestada; \_\_\_ Traspasada; \_\_\_ Otro

¿Si la respuesta a la pregunta número 6.2 fue *Otro*, entonces, describir brevemente cuál es la situación: \_\_\_\_\_

6.3 FECHA DE CONSTRUCCIÓN DEL INMUEBLE: \_\_\_\_\_

6.4 ¿CONSIDERA QUE EL INMUEBLE HA SUFRIDO DAÑOS ESTRUCTURALES?

\_\_\_ Sí; \_\_\_ No; \_\_\_ No sabe

6.5 FECHA PROBABLE DE APARICIÓN DE DAÑOS \_\_\_\_\_

6.6 REPARACIONES ANTERIORES: \_\_\_ Sí; \_\_\_ No; \_\_\_ No se sabe

6.7 EXISTEN PLANOS DISPONIBLES Y SUS CÁLCULOS: \_\_\_ Sí; \_\_\_ No; \_\_\_ No sabe

6.8 ¿QUÉ LE GUSTA DE SU VIVIENDA? \_\_\_\_\_

6.9 ¿QUÉ NO LE GUSTA DE SU VIVIENDA? \_\_\_\_\_

6.10 FORMA DE CONSTRUCCIÓN

Autoconstrucción  Construcción formal  Mixta  Otra: \_\_\_\_\_

6.11 ESTRUCTURACIÓN

Marcos  Muros de carga  Mixtos  No sabe

6.12 SISTEMA DE PISO (sólo para viviendas de más de un nivel)

Losa maciza con traveses  Losa plana  Losa reticular  No aplica

6.13 SISTEMA DE TECHO

Losa maciza con traveses  Losa plana  Losa reticular  Lámina metálica  
 Lámina de cartón  Teja  Lámina de asbesto  Traveses de madera  
 Traveses metálicos  Traveses de concreto reforzado  Otro: \_\_\_\_\_

6.14 CIMENTACIÓN (indicar material) \_\_\_\_\_

Zapatas aisladas  Zapatas corridas  Apoyo directo sobre terreno  Losa corrida  
 Losa de concreto reforzado  Dala de cimentación  Otra: \_\_\_\_\_

**7. SERVICIOS, ACCESIBILIDAD, SEGURIDAD:**

7.1. ¿CUÁLES SON LOS SERVICIOS CON LOS QUE CUENTA SU POBLACIÓN?

Vigilancia;  Alumbrado público;  Recolección de basura;  
 Agua potable;  Luz domestica;  Drenaje

7.2. MENCIONE ALGUNOS SERVICIOS QUE CONSIDERA QUE HAGAN FALTA EN SU POBLACIÓN: \_\_\_\_\_

7.3 SU POBLACIÓN CUENTA CON EQUIPAMIENTO COMO:

Banquetas;  Vialidad;  Área de juegos;  
 Módulo deportivo;  Jardines exteriores;  Otro

7.4 ¿QUÉ LE GUSTARÍA QUE HUBIERA EN SU COMUNIDAD?: \_\_\_\_\_

7.5 ¿CÓMO CONSIDERA EL NIVEL DE ALUMBRADO PÚBLICO?

Muy bueno;  Bueno;  Regular;  Malo;  Muy malo;  No sabe

7.6 ¿CONSIDERA QUE LA PRESENCIA DE EMPRESAS COMO PEMEX LE GENERA DESCONFIANZA PARA HABITAR SU VIVIENDA?  Sí;  No;  Indiferente

Si la respuesta a la pregunta número 7.6 es Sí, entonces, ¿qué le gustaría que la empresa le brindara?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\*Parte del cuestionario fue enriquecido con el trabajo elaborado por Maya y Cervantes (2005).

