



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN
ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA

**“UBICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE
AMORTIGUAMIENTO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS, CASO DE ESTUDIO ZONA
METROPOLITANA DE TOLUCA”**

TESIS

PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

PRESENTA:

ING. MOISÉS CÉRON RÍOS

TUTOR ACADÉMICO:

MTRO. LEONARDO ALFONSO RAMOS CORONA

TUTORES ADJUNTOS:

DR. ALEXIS ORDAZ HERNÁNDEZ

DR. JUAN CAMPOS ALANÍS

Toluca de Lerdo, 24 de noviembre del 2020

Resumen

La Geografía permite el almacenamiento, edición, gestión y análisis del medio natural además de las dinámicas sociales presentes en el territorio, entre los objetivos de esta ciencia se encuentran el desarrollo cartografía descriptiva; generación de modelos analíticos del medio físico, entorno social, desarrollo económico y gestión como la urbanización y la planificación territorial.

Actualmente los asentamientos humanos han provocado un incremento en las zonas urbanas del país rebasando, en su mayoría, las capacidades de disponibilidad de recursos naturales, la disponibilidad de suelo con aptitud urbana, la capacidad administrativa del Estado para controlar las condiciones de habitabilidad y la disposición de infraestructura eficiente ante los desastres naturales ocurridos en territorio mexicano. El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta orientadora para la planificación territorial es indispensable dado a factores ambientales, socioeconómicos y normativos inherentes del desarrollo urbano.

El Estado de México sufre una cantidad importante de sismos anualmente dada a las características geológicas del país; esto lleva a la evaluación continua de políticas que reduzcan la vulnerabilidad, aumenten la resistencia, y la capacidad de respuesta ante los peligros naturales y antropogénicos.

La presente investigación busca identificar las zonas potenciales para la implementación de sistemas de amortiguamiento sísmico en zonas urbanas para la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), utilizando la cartografía, bases de datos, información estadística y planes de desarrollo urbano disponibles a nivel federal y municipal con el propósito de generar una serie de recomendaciones para la implementación de amortiguadores sísmicos utilizando herramientas SIG y la Superposición Ponderada de capas como métodos para la evaluación de estos sitios potenciales.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica (SIG), Riesgos Naturales, Sistemas de amortiguamiento sísmico, Sismos, Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), Superposición Ponderada.

Abstract

Geography allows the storage, editing, management and analysis of the natural environment in addition to the social dynamics present in the territory, among the objectives of this science are the development of descriptive cartography; generation of analytical models of the physical environment, social environment, economic development and management such as urbanization and territorial planning.

Currently, human settlements have caused an increase in urban areas of the country, exceeding, for the most part, the availability of natural resources, the availability of land with urban aptitude, the administrative capacity of the State to control habitability conditions and the provision of efficient infrastructure in the face of natural disasters in Mexican territory. The use of GIS as a guiding tool for territorial planning is essential given environmental, socioeconomic and regulatory factors inherent in urban development.

The State of Mexico suffers a significant number of earthquakes annually due to the geological characteristics of the country; this leads to the continuous evaluation of policies that reduce vulnerability, increase resistance, and response capacity to natural and anthropogenic hazards.

This research seeks to identify potential areas for the implementation of seismic damping systems in urban areas for the Toluca Metropolitan Area (TMA), using cartography, databases, statistical information and urban development plans available at the federal level and municipal with the purpose of generating a series of recommendations for the implementation of seismic dampers using GIS tools and Weighted Overlay as methods for the evaluation of these potential sites.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), Natural Hazards, Seismic damping systems, Earthquakes, Toluca Metropolitan Area (TMA), Weighted Overlay.

Índice

Resumen	II
Abstract	III
Introducción	12
CAPÍTULO 1. MARCO REFERENCIAL	14
1.1 Marco Teórico	14
1.1.1 Geografía	14
1.1.1.1 Geografía física	14
1.1.1.2 Geografía para la historia	14
1.1.1.3 El espacio abstracto	15
1.1.1.4 La Geografía Radical.....	16
1.1.1.5 El espacio subjetivo.....	16
1.1.1.6 Nueva cultura de planificación y gestión	17
1.1.1.7 Avance y reconversión de las tecnologías de la información	18
1.1.1.8 Teoría General de Sistemas.....	18
1.1.1.9 Análisis Funcional Estructuralista	18
1.1.1.10 Geografía del desarrollo	19
1.1.1.11 Geografía y gestión del territorio	19
1.2.1 Introducción	22
1.2.2 Geosistema: Biosfera	22
1.2.3 Riesgos ambientales	22
1.2.3.1 Diastrofismo.....	23
1.2.3.2 Sismos	23
1.2.3.2.1 Metodología en la evaluación de sismicidad	24
1.2.3.2.2 Resiliencia sísmica.....	24

1.2.3.2.3 Mecanismo Resiliente	24
1.2.4 Conjuntos urbanos.....	25
1.2.4.1 Conjuntos habitacionales	25
1.2.4.2 Vivienda Progresiva.....	25
1.2.5 Clasificación de las construcciones según su importancia y efectos que podrían ocurrir en caso de falla	26
1.2.6 Aisladores sísmicos	27
1.2.6.1 Disipadores histeréticos metálicos	27
1.2.6.2 Riostras metálicas	28
1.2.6.3 Disipadores Viscoelásticos.....	28
1.2.6.4 Disipadores de fluidos viscosos.....	29
1.2.6.5 Disipadores de fricción	30
1.2.6.6 Amortiguadores de masas sintonizadas.....	30
1.2.7 Edificaciones sismo-resistentes.....	31
1.2.8 Sistemas para el mejoramiento de la seguridad sísmica.....	32
1.3 Marco Normativo.....	33
1.3.1 Plan Estatal de Desarrollo Urbano 2019 (PEDU)	33
1.3.2 Reglamentos, normas y códigos de diseño sismorresistente	34
1.3.3 Código de Edificación de Vivienda	35
1.3.3.1 La adopción y adaptación del CEV por los gobiernos locales	36
1.3.4 Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013	37
1.3.4.1 Edificación sustentable, criterios y requerimientos ambientales mínimos	37
1.4 Antecedentes	38
1.4.1 Sismicidad en México	38
1.4.1.1 Regiones sísmicas	38

1.4.1.2 Provincia del Eje Neovolcánico	38
1.4.1.3 Cuenca de México	39
1.4.1.4 Sismos fuertes en el Estado de México	40
1.4.1.5 Programa Nacional de Reconstrucción 2019	41
1.4.1.6 Programa de Protección Civil para sismos, 2019	41
1.4.1.7 Reglamentos, normas y códigos de diseño sismo resistente de la República Mexicana	42
1.4.1.8 Ciudad de México (CDMX)	43
1.4.1.9 Acciones para generar resiliencia sísmica, CDMX-100RC	43
1.4.1.10 Sistemas para el mejoramiento de la seguridad sísmica	44
1.4.1.10.1 Casos aplicados para la mitigación de sismos en la República Mexicana	44
1.4.1.10.1.1 Torre Latinoamericana	44
1.4.1.10.1.2 Torre Ejecutiva Pemex	45
1.4.1.10.1.3 Aislamiento Sísmico Pendular para Subestaciones Encapsuladas	45
1.5 Planteamiento del problema	46
1.6 Justificación	46
1.7 Objetivo General	47
1.7.1 Objetivos específicos	47
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	48
2.1 Introducción	48
2.2 Área de estudio: Zona Metropolitana de Toluca (ZMT)	48
2.3 Habitantes, superficie y densidad de población	49
2.4 Aptitud territorial para el desarrollo humano	50
2.4.1 Condicionantes físicas	51

2.4.1.1	Escorrentías, canales y cuerpos de agua.....	51
2.4.1.1.1	Leyes, normas y reglamentos relacionados	52
2.4.1.2	Zonas con aptitud de conservación. Áreas Naturales Protegidas (ANPS)	54
2.4.1.2.1	Leyes, normas y reglamentos relacionados	55
2.4.1.3	Peligros Naturales	55
2.4.1.3.1	Susceptibilidad de inundaciones	55
2.4.1.3.1.1	Leyes, normas y reglamentos relacionados.....	56
2.4.1.3.2	Deslizamiento de taludes y laderas.....	57
2.4.1.3.3	Deslaves	57
2.4.1.3.4	Hundimientos	57
2.4.1.3.5	Pendientes	58
2.4.1.3.5.1	Leyes, normas y reglamentos relacionados.....	59
2.4.1.3.6	Fallas y fracturas geológicas.....	60
2.4.1.3.6.1	Leyes, normas y reglamentos relacionados.....	62
2.4.1.3.7	<i>Sismos</i>	63
2.4.1.3.7.1	Leyes, normas y reglamentos relacionados.....	65
2.4.2	Condicionantes antropogénicas.....	67
2.4.2.1	Leyes, normas y reglamentos relacionados.	68
2.4.3	Factibilidad de disponer agua del subsuelo	72
2.4.4	Condiciones naturales	72
2.5	Modificación de las variables	73
2.5.1	Extracción de capas	74
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	77
3.1	Consideraciones para desarrollo urbano	84

3.2 Recomendaciones para aplicación	85
3.2.1 Estructuras en las que se recomienda el uso de aisladores	85
3.2.2 Niveles de protección del sistema de aislamiento	86
3.2.4 Diseño del edificio.....	87
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES	89
4.1 Conclusiones	89
4.2 Recomendaciones	90
Bibliografía	92

Lista de figuras

Figura 1 Modificado de Felix Pillet “El espacio abstracto” (Félix Pillet Capdepón, 2004, pág. 142)	15
Figura 2 Geografía clásica hasta el uso de los SIG. Elaboración propia.....	21
Figura 3 Tipos de Fallas (Carreto & González, 2013)	23
Figura 4 Modalidades de progresividad. (Gelabert & González, 2013)	26
Figura 5 Disipador tipo ADAS(Oviedo & Duque, 2006, Figura 9, pág. 113)	27
Figura 6 Disipador tipo riostra metálica.(Oviedo & Duque, 2006, Figura 11, pág. 114) 28	
Figura 7 Modelo de estructura de concreto armado con disipadores tipo DSSD (Lobo et al., 1993, Fig.3, pág. 426)	29
Figura 8 Disipadores viscoelásticos (Aiken et al., 1993, Figuras 4 y 5, pág. 339).....	29
Figura 9 Disipadores basados en fluidos viscoelásticos.(Oviedo & Duque, 2006)	29
Figura 10 Disipador de Fricción tipo Pall. (Aiken et al., 1993, figuras 15 y 16, pág. 346)	30
Figura 11 Fotografía de un AMS. (Montanaro, 2002, figura 9, pág. 37)	31
Figura 12 Desarrollo de sistemas para mejorar la seguridad sísmica de la vivienda económica y de técnicas de rehabilitación.(Gutiérrez, 2011, pág. 17)	32
Figura 13 Provincias Fisiográficas (EDOMÉX, 2019, figura 5, pág. 53)	39
Figura 14 Zona Metropolitana de Toluca (CONESPO & CONAPO, 2018).....	50
Figura 15 Cuerpos de agua e hidrología presentes en la ZMT. Elaboración propia.....	53
Figura 16 Cuerpos de agua e hidrología de la ZMT con la distancia recomendada por la LAN. Elaboración propia.	53
Figura 17 Áreas Naturales protegidas de la ZMT. Elaboración propia.	54
Figura 18 Susceptibilidad por inundaciones en la ZMT. Elaboración propia	56
Figura 19 Susceptibilidad de deslizamiento de laderas y hundimientos en la ZMT. Elaboración propia.	58
Figura 20 Fallas y fracturas en la ZMT. Elaboración propia.	62
Figura 21 Regionalización sísmica de la ZMT. Elaboración propia.	63
Figura 22 Regionalización sísmica de la República Mexicana basado en la Regionalización Sísmica de la República Mexicana de CFE (CFE, 2017).....	66
Figura 23 Condiciones antropogénicas de la ZMT. Elaboración propia.	68

Figura 24 Condiciones antropogénicas con distancias recomendadas. Elaboración propia.	72
Figura 25 Área propuesta para desarrollo urbano. Elaboración propia.	75
Figura 26 Escenario 1: Zonas potenciales a 1 KM de las áreas urbanas consolidadas.	78
Figura 27 Escenario 2: Zonas potenciales a 3 KM de las áreas urbanas consolidadas.	78
Figura 28 Escenario 3: Zonas potenciales a 5 KM de las áreas urbanas consolidadas.	79
Figura 29 Escenario 1: Capa reclasificada a 1 Km de las áreas urbanas.	80
Figura 30 Escenario 2: Capa reclasificada a 3 Km de las áreas urbanas	80
Figura 31 Escenario 3: Capa reclasificada a 5 Km de las áreas urbanas	81
Figura 32 Municipios y zonas urbanas con aptitud para aislamiento sísmico a una distancia de 1 km.	81
Figura 33 Municipios y zonas urbanas con aptitud para aislamiento sísmico a una distancia de 3 km.	82
Figura 34 Municipios y zonas urbanas con aptitud para aislamiento sísmico a una distancia de 5 km.	82
Figura 35 Mampostería no confinada ni reforzada (CEV, 2017, figura 1305.1, pág. 166)	88

Lista de tablas

Tabla 1 Clasificación de las estructuras según su destino (CFE, 2015)	27
Tabla 2 Eventos sísmicos registrados en el Estado de México desde 1900 hasta octubre del 2020 (Universidad Nacional Autónoma de México, I. d. G. Servicio Sismológico Nacional, 2020)	40
Tabla 3 Población al año 2019 de los municipios que integran la ZMT (CONESPO & CONAPO, 2018)	49
Tabla 4 Tabla modificada del Código de Edificación y Vivienda 2017 a partir de la Tabla 3103.2 Uso recomendable del predio según características hidrológicas. (CEV, 2017)57	

Tabla 5 Niveles de susceptibilidad potencial de peligrosidad geológico-geomorfológica por procesos de remoción de masa en México (Báro & Monroy, 2018, Tabla 5.1, pág. 106).....	59
Tabla 6 Información general: posibles consecuencias derivadas de sismos. (EDOMÉX, 2019a)	64
Tabla 7 Regionalización sísmica de la República Mexicana (CFE, 2017, tabla 1.3, pág. 25).....	66
Tabla 8 Ponderación para las distintas categorías de uso de suelo y su grado de vulnerabilidad. * A excepción del mangle, que no entra en la ponderación, por estar prohibida la construcción donde existan manglares.(SEECO, 2013, tabla 1, pág. 22) .	85
Tabla 10 Ventajas y desventajas del uso de dispositivos de disipación de energía (Genatios & Lafuente, 2016,tabla 7-1, pág. 128)	86

Introducción

La República Mexicana se encuentra ubicada sobre cinco placas tectónicas: Caribe, Cocos, Norteamérica, Pacífico y Rivera. La capa de Cocos, localizada por debajo de los estados de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, hace susceptible a la zona centro y suroeste del país de sufrir una gran cantidad de sismos de baja magnitud y algunos sismos magnitud moderada por año; aunado a la actividad sísmica registrada en las últimas décadas en el territorio mexicano se pueden destacar tres sucesos sísmicos importantes:

- El 19 de noviembre de 1912 ocurre un sismo cortical con magnitud de 6.9 localizado en Acambay, Estado de México correspondiente al movimiento intra-placa con menor profundidad. (SSN, 2018)
- El 19 de septiembre de 1985 con una magnitud de 8.1 ocurre un sismo de subducción correspondiente al movimiento que se genera entre dos placas.
- El 19 de septiembre de 2017 con una magnitud de 7.1 ocurre un sismo profundo correspondiente al movimiento intra-placa. (Campos, 2017)

En México la seguridad de las construcciones es regulada mediante la emisión de reglamentos de construcción que establecen los requisitos técnicos a los que deben sujetarse las construcciones con el fin de satisfacer condiciones de habitabilidad, seguridad, higiene, comodidad, accesibilidad y buen aspecto (Administración Pública del Distrito Federal, 2004). Sin embargo, la aplicación de dichas normas o manuales rara vez se establece como obligatoria.

El gobierno de la CDMX en conjunto con la comunidad mexicana de ingeniería estructural suma esfuerzos para la conformación de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (SMIE, 2017) en el cual se estipula lo siguiente:

“...; y b) Bajo el sismo en que se basa la revisión de la seguridad contra colapso según estas Normas, no ocurran fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque pueden presentarse daños que lleguen a afectar el funcionamiento del edificio y requerir reparaciones importantes o inclusive, su demolición”. (p. 6)

A nivel internacional se han implementado los sistemas de aislamiento sísmico y las estructuras sismorresistentes para el desarrollo de asentamientos humanos, llevando a nuevos paradigmas de construcción, generando enormes beneficios para la seguridad e integridad de los sistemas estructurales además de un ahorro sustancial de los mismos durante su vida útil.

Actualmente la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) presenta una problemática sobre la demanda de zonas habitables que representen las condiciones adecuadas de construcción y desarrollo urbano. Al mismo tiempo, no existen los estudios e investigaciones que brinden soluciones idóneas que cuenten con tecnologías sostenibles y un desempeño estructural adecuado. El crecimiento poblacional exige una alta demanda de viviendas con costo accesible, sin embargo, la escasez de estas oportunidades en el mercado promueve el desarrollo urbano informal o la construcción de complejos habitacionales de pobre calidad que por consecuencia aumentan el riesgo sísmico.

El comportamiento estructural ante los eventos sísmicos suscitados en los últimos años puede mejorar con la implementación de aisladores sísmicos, estructuras sismorresistentes y las normas técnicas complementarias para diseño por sismo orientados a los nuevos desarrollos urbanos, y de ser el caso, para los actuales desarrollos los cuales requieran de modificaciones en un futuro previniendo el colapso estructural.

CAPÍTULO 1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Marco Teórico

1.1.1 Geografía

La Geografía centra su estudio en el espacio geográfico, así como la relación hombre – naturaleza basándose en principios como: localización, extensión, comparación, actividad, causalidad y relación, siendo estos conceptos claves para el análisis de diversos sistemas ambientales y las dinámicas sociales presentes en el territorio.(Santana et al., 2018)

1.1.1.1 Geografía física

De acuerdo a (Carreto & González, 2013):

“La Geografía Física es una rama de la Geografía general, su objeto de estudio es el espacio físico-natural en relación con la actividad humana. Los elementos del medio físico corresponden en orden ascendente por capas, al basamento litológico (estrato rocoso), las formas del relieve, el suelo, agua y aire, que en conjunto permiten el desarrollo de la vida terrestre de plantas y animales, incluyendo al ser humano”. (p.65)

El proyecto de A. de Humboldt es el de la fundación de una geografía física científica. El cual corresponde con lo que él denomina Descripción física de la tierra. Ámbito en el que consideraba posible la construcción de un campo de conocimiento empírico riguroso. Proyecto que aparecía como factible en la medida en que los fenómenos y procesos que caracterizan la dinámica de la superficie terrestre, desde los geológicos a los biológicos, podían ser abordados desde postulados metódicos y teóricos acordes con las exigencias de la nueva ciencia.(José Ortega Valcárcel, 1998)

1.1.1.2 Geografía para la historia

Ritter identifica lo geográfico con el suelo. De acuerdo con una cultura geográfica arraigada, pero de perfil arcaico, lo concibe como un elemento puramente geométrico, en la tradición griega. Ritter entiende la geografía como la ciencia del globo, y concibe este como un gran organismo y los continentes como los órganos básicos del mismo.

Ritter comparte una concepción organicista del espacio, cuyos componentes básicos son las individualidades geográficas. Estas corresponden con las áreas terrestres, continentes, islas, penínsulas, entre otras.

La Geografía de Ritter reposa, por tanto, en una concepción organicista, que recuerda las formulaciones de Kircher en el siglo XVII, cuyas imágenes y metáforas convierten a la geografía en una especie de anatomía terrestre de ecos hipocráticos. Analogía que el propio Ritter utiliza. El objetivo de la Geografía General Comparada es interpretar y explicar la <<aventura humana>> a partir de los caracteres morfológicos de la superficie terrestre. De ese enfoque aborda la construcción de la geografía que propone. (José Ortega Valcárcel, 1998)

1.1.1.3 El espacio abstracto

El positivismo lógico o neopositivismo basa sus principios en: la neutralidad de la ciencia, el método hipotético-deductivo, el lenguaje científico-matemático; y el rechazo a la metafísica, al historicismo, y a los métodos cualitativos.

A partir de la necesidad de una nueva aproximación sobre los fenómenos geográficos que involucraban no solo a la caracterización de los mismos, sino la integración de las ciencias para la explicación de fenómenos, da como resultado el nacimiento de una nueva geografía o geografía neopositivista la cual aporta la analítica o teórica y la sistémica. Como parte de la evolución de la geografía, fue necesaria la puntualización del campo de análisis de la misma ciencia como lo muestra el diagrama:

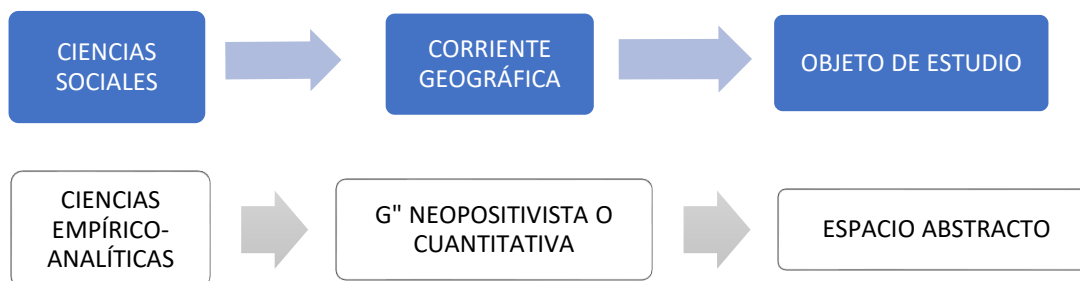


Figura 1 Modificado de Felix Pillet "El espacio abstracto" (Félix Pillet Capdepón, 2004, pág. 142)

El espacio de la geografía teórica se convierte en el eje del discurso y de la práctica geográfica, “no trata ni de fenómenos naturales ni de fenómenos culturales, si no de fenómenos espaciales”

Con la introducción de la Teoría de los Sistemas de Bertalanffy (1968) la geografía teórica dio paso a la geografía sistémica, con ella se podía definir en términos lógicos y matemáticos el análisis geográfico de los espacios regionales, pasando la región a ser contemplada como un sistema abierto o como regiones polarizadas. Con una base sistémica y estructural, pero centrada en los aspectos humanos aparece la geografía coremática, esbozada en 1967 y desarrollada en 1990 por Brunet. Se preocupa por las configuraciones espaciales que contemplaba el espacio desde una dimensión geométrica, prescindiendo de lo físico o considerándolo solo de forma secundaria.

Dada la influencia cuantitativa, se ha mostrado un interés por las técnicas instrumentales y por los Sistemas de Información Geográfica, los cuales han abierto una serie de nuevas perspectivas, un paso a la modernidad, y una evidente recuperación de las geografías positivistas o empíricas. (Félix Pillet Capdepón, 2004)

1.1.1.4 La Geografía Radical

El marxismo estructural de Althusser defendía un método donde los fenómenos son considerados de forma integrada como elemento de una estructura. Esta aportación posibilitó la aparición de un estructuralismo geográfico. A partir de los setenta, los geógrafos, en conexión con los sociólogos (Castells y Lefebvre) centraron su atención en las relaciones entre el espacio y el poder, o de manera concreta en el espacio social. (Félix Pillet Capdepón, 2004)

1.1.1.5 El espacio subjetivo

En los sesenta, Gilbert White (1961) de la Universidad de Chicago estudio la respuesta ante los riesgos naturales basándose en la idea de que el comportamiento humano estaba directamente influido por la percepción. En esta misma línea, en Suecia, Julian Wolpert (1964) adoptó el modelo de comportamiento humano al conductismo ambiental. A mediados de la década siguiente Gould y White comenzaron a trabajar en los mapas

mentales, con ellos pretendían identificar imágenes que guardaban los individuos de áreas concretas, tratando de relacionar la imagen con las características sociales y económicas que vivían los sujetos. Pretendiendo sacar a la geografía de la deshumanización cuantitativista. La percepción humana y el espacio subjetivo se oponían al espacio objetivo o abstracto de los neopositivistas.

La cronogeografía o geografía del tiempo que tuvo su origen a finales de los sesenta en Suecia de la mano de Hägerstrand. Este autor idea un modelo que combinaba las variables espacio y tiempo cronológico como limitadoras de la acción humana; propuesta que se utilizaría, una década después, para constatar la necesidad de planificar las actividades humanas en el tiempo y en el espacio, esencialmente la jornada femenina en su doble actuación laboral y familiar (García Ramon, 1985:61-63 y 109). El método positivista-conductista que había desarrollado la geografía de la percepción y del comportamiento, así como la geografía del tiempo fue evolucionando hacia planteamientos próximos al enfoque fenomenológico-humanista. (Félix Pillet Capdepón, 2004)

1.1.1.6 Nueva cultura de planificación y gestión

La misma consiste en un cambio del concepto tradicional de planificación normativa, determinista, tecno-burocrática, centralizada, para una noción de Planificación Estratégica, a través de una gestión democrática del proceso de planificación. (Falcoski, 2000) Esta nueva visión de la planificación, se basa en la participación compartida del conjunto de actores sociales; en la introducción del concepto de continuidad temporal basado en la elaboración de escenarios futuros; en el refuerzo de las relaciones entre el plan y las acciones subsecuentes a tomar en la gestión; en el cumplimiento por parte del plan estratégico de una “función señalizadora” para los responsables con la toma de decisiones; en la confección de las estrategias de planificación fundamentadas en modelos más interpretativos y menos normativos. En síntesis, de lo que se trata es de adoptar una concepción de Planificación de Sistemas Complejos, basada en pensar procesos dirigidos a una misma dirección, en torno a una meta en común, potencializando esfuerzos, generando a partir de un proceso de hetero organización el

refuerzo de la autorregulación. Eso significa inducir la modificación del comportamiento macroscópico de un sistema, mediante la introducción de un aporte de energía que genere espontáneamente la reorganización del sistema. (Mateo, 2002)

1.1.1.7 Avance y reconversión de las tecnologías de la información

A una nueva sociedad informacional, aquella que según muchos va consolidándose en los finales del Segundo Milenio, corresponde un nuevo paradigma tecnológico informacional, que representa una divisoria histórica tan importante como la que constituyo en su día, la Revolución Industrial. (Córdoba y Ordóñez, 2001). Los desarrollos logrados en el Siglo XX, obligaran a pensar en nuevos rumbos respecto a la información geoespacial. Así, la conjunción de información de diferente índole permite reconstruir un gran número de escenarios virtuales en el tiempo y en el espacio. Es este un tiempo en el que empieza a correr un mundo más informado, pero también un mundo más demandante de información cada vez más precisa, mejor concebida y estructurada y entregada con mayor oportunidad a los usuarios. La globalización de las comunicaciones y de la información, crea nuevos ambientes y obliga a la adopción de nuevos esquemas de trabajo. (Sánchez & Palacio, 2001)

1.1.1.8 Teoría General de Sistemas

Partiendo del término “sistema” el cual es entendido como el conjunto de elementos interrelacionados, entre sí y con el medio circundante, cumpliendo una función específica, ordenados jerárquicamente de acuerdo a su funcionalidad y complejidad.

Los elementos que conforman cada sistema, deben ser asimilados de forma conjunta, infiriendo que los sistemas existen dentro de otro sistema más grande, tratándose de sistemas dinámicos abiertos que funcionan dependiendo de la estructura. (Carreto & González, 2013)

1.1.1.9 Análisis Funcional Estructuralista

Los sistemas son concebidos como conjuntos cuyos elementos aparecen sometidos a relaciones que predeterminan, en gran medida, su ubicación; determinando las

conductas poblacionales o de los grupos sociales, de acuerdo con sus necesidades, que condicionan los procesos espaciales, además de determinar la organización del espacio y las estructuras espaciales. (Ortega, 2001)

1.1.1.10 Geografía del desarrollo

La geografía debe tener un compromiso con la incorporación de la sustentabilidad a los procesos de desarrollo. Los procesos de pensar el desarrollo, sea nivel global, regional o local, necesitan de una visión de la sustentabilidad geográfica del desarrollo. Si se piensa al desarrollo como una noción que abarca la relación entre estructuras, procesos, potencialidades y finalidades, son justamente las categorías claves (espacio, región, territorio, paisaje, medio) las que pueden servir como hilo conductor para adecuar las estrategias a los contextos concretos. El rediseño de las abandonadas políticas de desarrollo regional y local, implica el diseño de los territorios de equidad, oportunidad y sostenibilidad. Es este otro de los proyectos que espera ser ejecutado en la región y en cada uno de sus países y lugares. No solo se trata de la mejor localización de las actividades productoras de bienes, sino también de la instalación óptima, desde el punto de vista de la retribución social y la deficiencia ambiental, de las infraestructuras de todo tipo. En este caso es absolutamente necesario imponer los principios de justicia geográfica, ya que los recientes procesos de globalización han contribuido a exagerar la segregación y polarización espacial y ambiental y con ello provocando profundas fracturas en el tejido social. (Sánchez & Palacio, 2001)

1.1.1.11 Geografía y gestión del territorio

De acuerdo a (Lozano, 2019):

“El territorio proporciona ambientes y espacios apropiados para desarrollar cualquier tipo de actividad humana, ya sea la producción agrícola, el crecimiento urbano o el desarrollo industrial. No obstante, la buena gestión de los espacios se erige como condición esencial para mantener dichas actividades sin comprometer la calidad ambiental de los mismos. La Geografía, como disciplina que trata de entender las interacciones entre el medio físico y el humano, constituye una herramienta clave para desarrollar una gestión

territorial adecuada, ya que permite ejercer de puente entre la conservación y el desarrollo. Dicha disciplina podría considerarse como la responsable de aplicar eficazmente una gestión de los espacios que permita proporcionar oportunidades sociales y económicas para todas las personas bajo un marco ambiental óptimo.” (p.5)

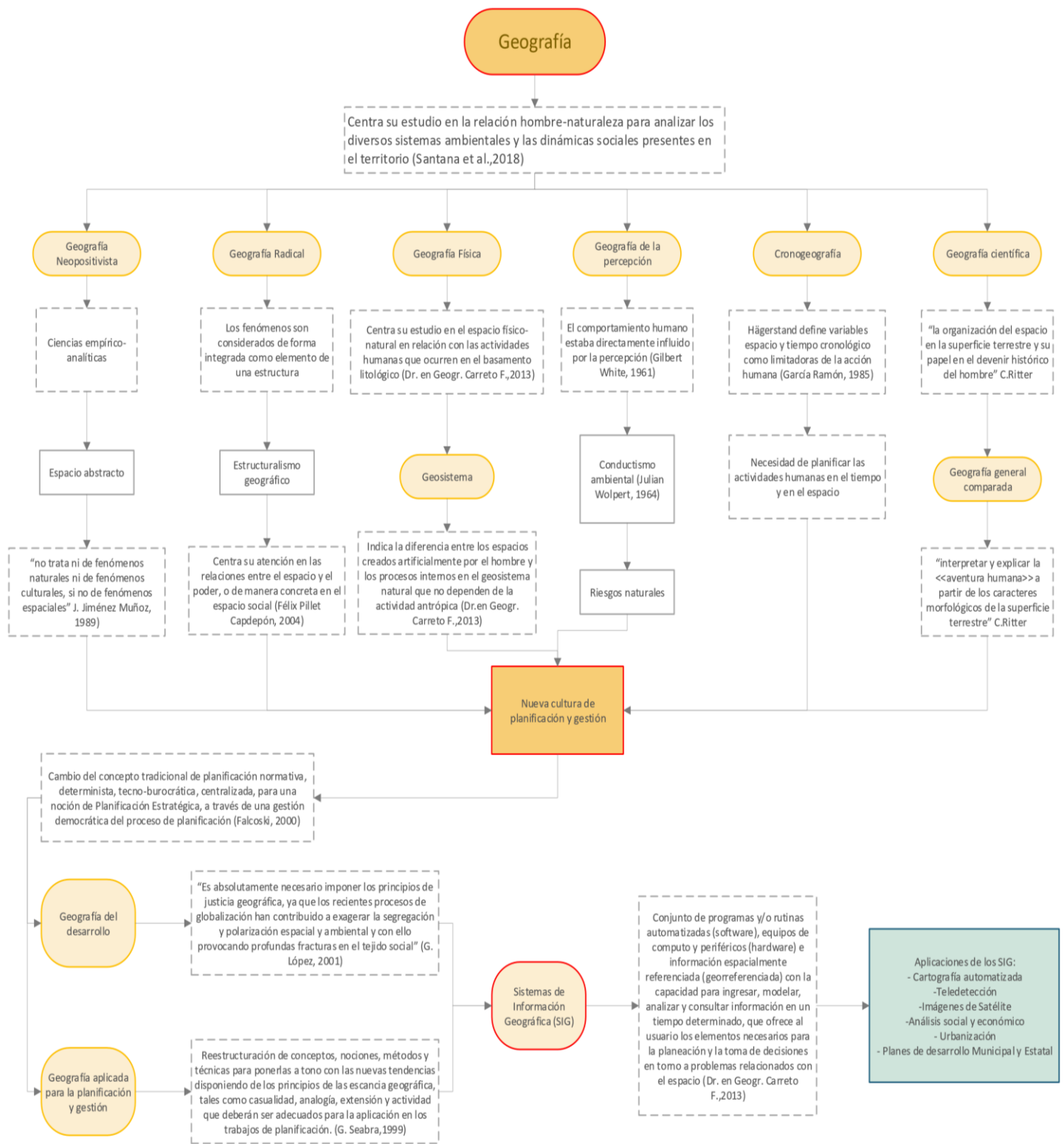


Figura 2 Geografía clásica hasta el uso de los SIG. Elaboración propia.

1.2.1 Introducción

Partiendo de la Teoría general de Sistemas, como una de las teorías de la Geografía física, se utiliza el análisis Estructural Funcionalista como forma de estudio espacial del medio físico dando origen al término de 'geosistema', el cual indica la diferencia entre los procesos internos en un geosistema natural que no dependen de la actividad antrópica de las actividades creadas por el hombre. (Carreto & González, 2013)

1.2.2 Geosistema: Biosfera

La humanidad al hacer uso del medio físico, es requerido un conocimiento en detalle de su estructura con el fin de utilizar los recursos disponibles de forma controlada y racional.

El desarrollo de las actividades humanas dentro de este geosistema propicia a la generación de factores de riesgo afectando negativamente a los asentamientos humanos, esto genera serias alteraciones al medio ambiente dado a una mala planeación territorial o la falta de programas de prevención que mitiguen tales efectos adversos.(Carreto & González, 2013)

1.2.3 Riesgos ambientales

Las tres visiones del riesgo que propone (Sanahuja, 1999) son:

- Riesgo como amenaza; la probabilidad de un evento físico extremo cartografiable que ocurre en un lugar y periodo determinado.
- Riesgo como probabilidad de perdida; se puede medir el impacto del fenómeno en el medio ambiente, la sociedad o económicamente. Estableciendo un modelo conceptual del riesgo:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad.}$$

- El riesgo tiene que ver con la capacidad de absorber y recuperarse de las perdidas, donde la vulnerabilidad asume un carácter dinámico a diferencia del enfoque de las ciencias aplicadas que la considera para determinar las perdidas.
(p.16)

El desarrollo urbano irregular, propiciado por el desarrollo de espacios no aptos para uso residencial, ha incrementado el nivel de riesgo natural causando pérdidas de vidas

humanas, económicas, de infraestructura como también la alteración del equilibrio ambiental. (Carreto & González, 2013)

1.2.3.1 Diastrofismo

Causa deformaciones, plegamientos o fracturas a la corteza terrestre por medio de esfuerzos mecánicos de diferentes intensidades y magnitudes; este proceso puede ser categorizado en dos grupos: la Epirogénesis y la Orogénesis. (Rojas, 2006)

Estos procesos transformadores del relieve pueden llegar a formar:

- *Plegamientos*: originados por la compresión horizontal entre placas, arrugando o plegando los estratos de la corteza formando ondulaciones simétricas, asimétricas o recumbente.
- *Fracturas*: es la ruptura de la corteza terrestre o de la roca, por tensión y compresión, sin desplazamiento de ninguno de sus bloques.
- *Fallas*: fractura de la corteza terrestre a lo largo de la cual se ha producido un desplazamiento, existiendo dos tipos:
 - Desplazamiento vertical: Fallas Normales e Inversas, causando un cabalgamiento, graben y horst.
 - Desplazamiento horizontal: Fallas transformantes. (Carreto & González, 2013)

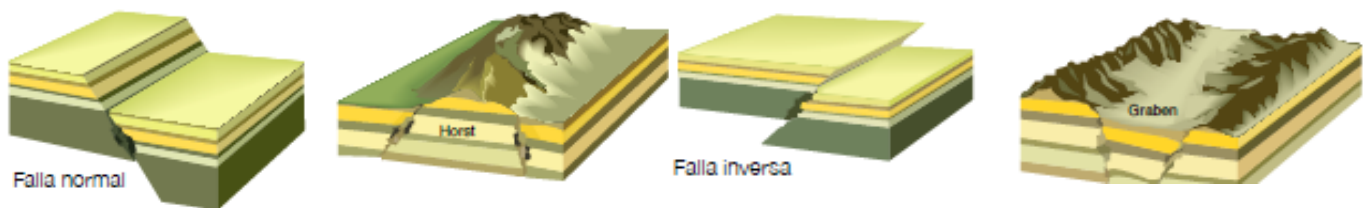


Figura 3 Tipos de Fallas (Carreto & González, 2013)

1.2.3.2 Sismos

Son fenómenos causados por movimientos de la corteza terrestre y como resultado de esto, se producen vibraciones que se propagan en todas direcciones y que la población percibe como sacudidas o balanceos. (Carreto & González, 2013)

En el caso de un evento sísmico futuro, se deben establecer protocolos para todas las etapas de la emergencia como: mitigación y prevención; preparación; respuesta y recuperación.

Los protocolos de emergencia deben ser ejecutados por en un orden predeterminado contando con la capacidad operativa, conocimiento legal y conocimiento técnico para llevar a cabo estas acciones para la toma de decisiones en colaboración con las instituciones y los terceros privados involucrados.

1.2.3.2.1 Metodología en la evaluación de sismicidad

La ingeniería sísmica evalúa los eventos sísmicos partiendo de criterios objetivos que lleven a la correcta toma de decisiones para el diseño y reforzamiento de estructuras capaces de resistir las cargas durante un sismo.

Bajo este contexto es necesaria la descripción de criterios evaluadores de sismicidad, lo cual se puede dividir en dos aproximaciones:

- Sismicidad local: determina la frecuencia de los sismos de diferentes magnitudes en una fuente sismogénica cuyo riesgo es de interés para estudio.
- Sismicidad regional: determina las intensidades que se pueden presentar en un sitio por efecto de temblores generados en diferentes fuentes con relación a la frecuencia de los niveles intensidad sísmica, siendo estos alcanzados o rebasados. (BAIN & COMPANY, 2017)

1.2.3.2.2 Resiliencia sísmica

Descrita como la capacidad de las autoridades ciudadanas con el apoyo de organizaciones privadas y civiles con el fin de responder a las emergencias suscitadas a partir de un evento sísmico con una magnitud y aceleración tal que provoque daño o destrucción; restablecimiento las condiciones que permitan a los habitantes a desarrollar sus actividades cotidianas. (BAIN & COMPANY, 2017)

1.2.3.2.3 Mecanismo Resiliente

Se define como el mecanismo capaz de alcanzar la ductilidad objetivo en conjunto de disipadores de energía, dando como resultado que los demás elementos estructurales permanecieran esencialmente elásticos, siendo de importancia los elementos de soporte

y columnas que pudieran hacer frente a acciones extremas que superen las capacidades mecánicas de diseño del propio sistema.

La resiliencia del mecanismo se define e implementa como una estrategia efectiva de reestructuración capaz de prolongar su vida útil, en contraste con el criterio de mecanismo de prevención de colapso fomentando por muchos reglamentos de diseño sismorresistente del mundo, que básicamente promueven como aceptable que una estructura quede muy dañada y prácticamente inservible después del sismo de diseño, o esta no se pueda utilizar por meses o años.(Hernández & Tena, 2018)

1.2.4 Conjuntos urbanos

Los conjuntos urbanos, son formas de vivienda colectiva implementados entre la década de los cuarenta y finales de los setenta, que solucionan la carencia de vivienda para clases medias trabajadoras.(Toscana, 2017)

1.2.4.1 Conjuntos habitacionales

Se define como Conjunto Habitacional a un grupo de viviendas planificado y dispuesto en forma integral, con la dotación e instalación necesarias y adecuadas de los servicios urbanos: vialidad, infraestructura, espacios verdes o abiertos, educación, comercio, servicios asistenciales y de salud. (CEV,2017)

1.2.4.2 Vivienda Progresiva

De acuerdo a (Gelabert & González, 2013), la vivienda progresiva se define como:

“La modalidad de progresividad a la que se asocia cada caso permite valorar su potencialidad para ser insertado en diversos contextos urbanos y los requerimientos de la tecnología de construcción a emplear por lo cual resulta de interés al carácter y evaluar los ejemplos estudiados. Las modalidades de progresividad consideradas han sido: semilla, cáscara, soporte y mejorable”. (p. 51)

MODALIDADES DE VIVIENDA PROGRESIVA

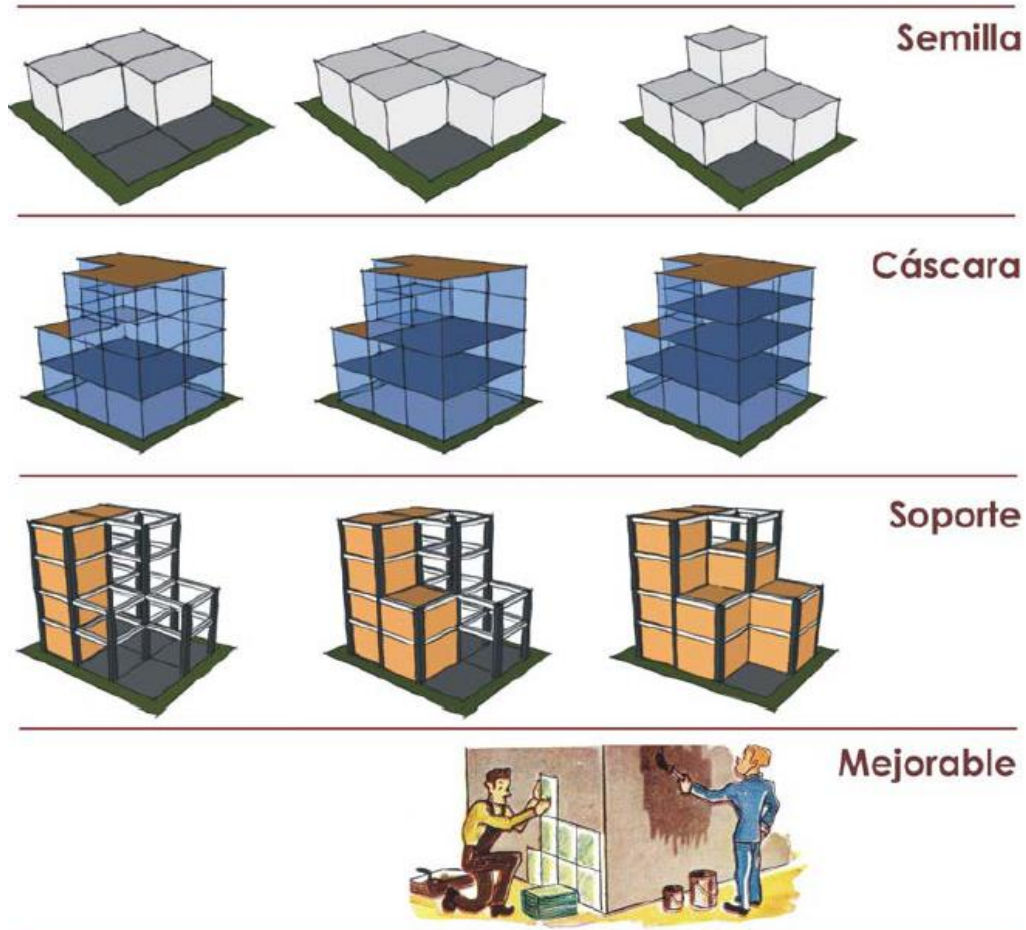


Figura 4 Modalidades de progresividad. (Gelabert & González, 2013)

1.2.5 Clasificación de las construcciones según su importancia y efectos que podrían ocurrir en caso de falla

De acuerdo a la (CFE, 2015)

“La importancia estructural se podrá definir o incrementar de acuerdo a los requisitos contractuales que el propietario o dependencia establezca, ya sea por el monto de la inversión, por los posibles daños estructurales y/o pérdidas económicas o de vidas humanas que pudieran generarse en caso de falla, o por la gravedad de los daños que podrían ocasionar a estructuras de mayor importancia”. (p. 21)

Tabla 1 Clasificación de las estructuras según su destino (CFE, 2015)

GRUPO	DESCRIPCIÓN
B	<p>Estructuras en las que se requiere un grado de seguridad convencional. Construcciones cuya falla estructural ocasionaría la pérdida de un número reducido de vidas, pérdidas económicas moderadas o pondría en peligro otras construcciones de este grupo y/o daños a las del Grupo A+ y A moderados.</p> <p>Ejemplo de ellas son las naves industriales, locales comerciales, estructuras comunes destinadas a vivienda u oficinas, salas de espectáculos, depósitos y estructuras urbanas o industriales no incluidas en los Grupos A+ y A , así como muros de retención, bodegas ordinarias y bardas.</p>

1.2.6 Aisladores sísmicos

Los aisladores sísmicos con la adición de los disipadores de energía añadidos al sistema estructural inicial, mantienen la respuesta del sistema estructural primario dentro del rango elástico durante eventos sísmicos severos. El sistema de amortiguamiento añadido actúa paralelamente con el sistema estructural original para proveer el comportamiento deseado a la hora de un sismo. (Genatios & Lafuente, 2016)

1.2.6.1 Disipadores histeréticos metálicos

Estos dispositivos aprovechan las propiedades de deformación inelástica del material del cual se construyen. Por lo general se utilizan los disipadores de acero gracias a su alta homogeneidad que permite una fácil caracterización mecánica del dispositivo.

Los disipadores tipo ADAS (Added Damping and Stiffness), son diseñados para la disipación de la energía a partir de la cedencia en flexión de las placas de acero que lo conforman. Son placas en forma de I, sometidas a flexión fuera de su plano. (Genatios & Lafuente, 2016)

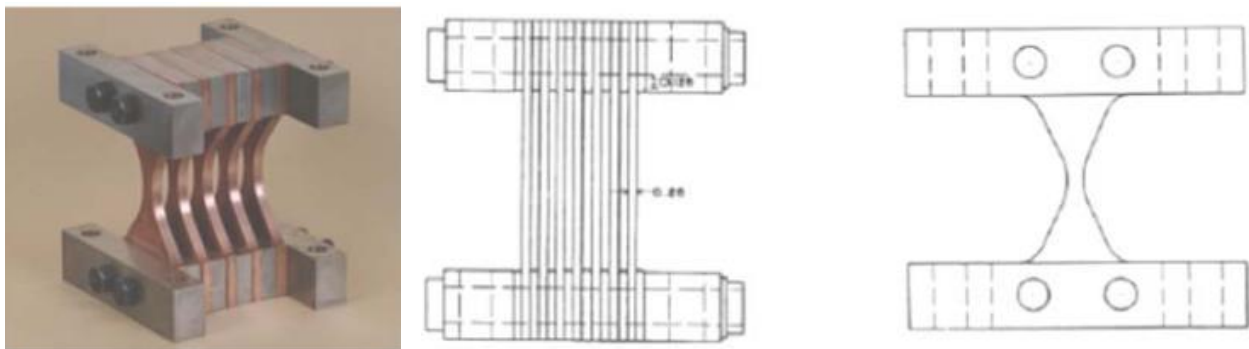


Figura 5 Disipador tipo ADAS (Oviedo & Duque, 2006, Figura 9, pág. 113)

1.2.6.2 Riostras metálicas

Es un disipador histerético elaborado con núcleo de acero y un tubo metálico externo, relleno con un mortero de cemento. La disipación de energía es soportada en su núcleo de acero al alcanzar su límite de cedencia. La riostra se instala en las columnas de la estructura primaria siendo sometida a efectos de flexión, cortante o deformación axial. Se requiere que no haya adherencia entre el núcleo de acero y el material de confinamiento. (Genatios & Lafuente, 2016)

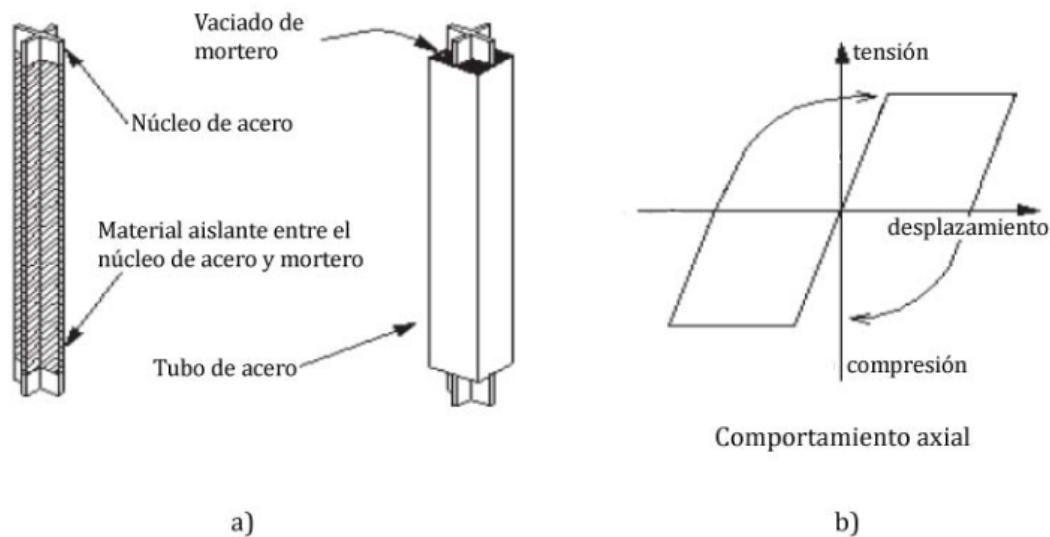


Figura 6 Disipador tipo riostra metálica. (Oviedo & Duque, 2006, Figura 11, pág. 114)

1.2.6.3 Disipadores Viscoelásticos

Son dispositivos utilizados para aumentar la capacidad de disipación de energía de las estructuras ante efectos de viento o sismo.

Se busca que sean utilizadas como una fuente adicional de disipación y no como sistemas de amortiguamiento principal; permaneciendo dentro de su rango elástico para mitigar el daño causado por sismo.

Los disipadores tipo DSSD (Direct Shear Seismic Damper) consisten en planchas de acero entre las que se coloca un material viscoelástico que se deforma bajo los esfuerzos cortantes. (Genatios & Lafuente, 2016)

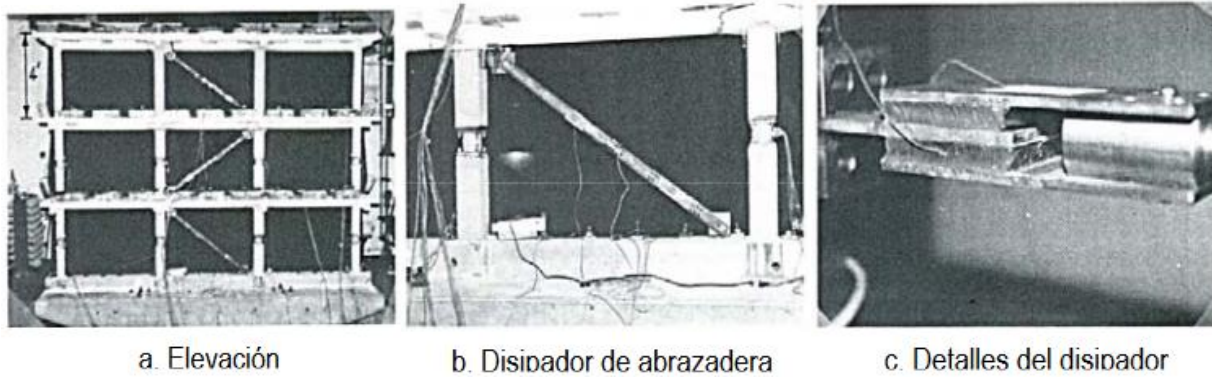


Figura 7 Modelo de estructura de concreto armado con disipadores tipo DSSD (Lobo et al., 1993, Fig.3, pág. 426)

Los cambios fuertes de temperatura, deformaciones excesivas y frecuencia de vibración, son considerados factores importantes de diseño ya que pueden modificar el comportamiento calculado del dispositivo. (Genatios & Lafuente, 2016)

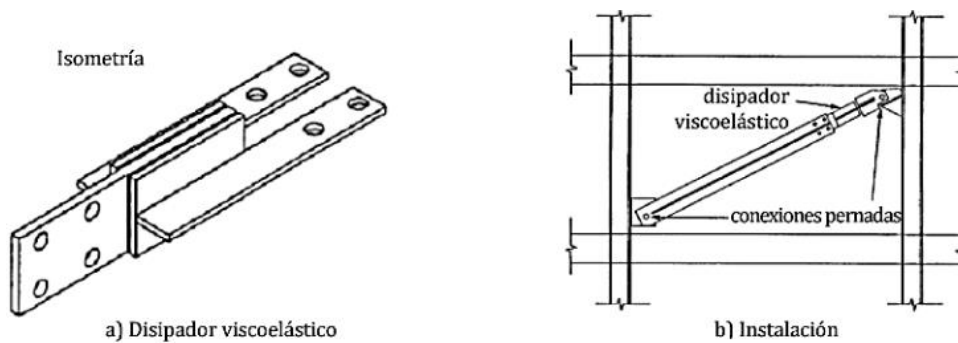


Figura 8 Disipadores viscoelásticos (Aiken et al., 1993, Figuras 4 y 5, pág. 339)

1.2.6.4 Disipadores de fluidos viscosos

Consisten, por lo general, en cilindros en el que se desplaza un pistón embebido en el fluido. Al desplazarse el pistón, el fluido contenido pasa por pequeños orificios de manera controlada, produciéndose la disipación de energía. (Genatios & Lafuente, 2016)

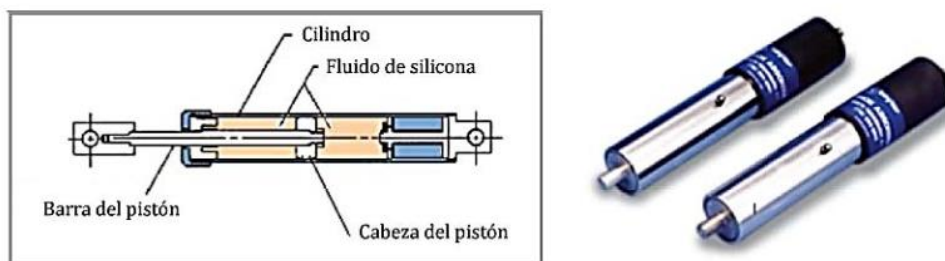


Figura 9 Disipadores basados en fluidos viscoelásticos. (Oviedo & Duque, 2006)

1.2.6.5 Disipadores de fricción

Estos dispositivos disipan energía cuando se produce fricción entre dos o más superficies en contacto; activándose solamente a un nivel límite de carga determinado de lo contrario permanece inactivo.

El dispositivo tipo Pall (Aiken et al., 1993) consiste en dos elementos diagonales con una interface de fricción en el punto de intersección asegurando la fuerza normal necesaria para producir la fricción. Las diagonales están conectadas a elementos verticales y horizontales de modo que el elemento par se desplace en dirección opuesta. (Genatios & Lafuente, 2016)

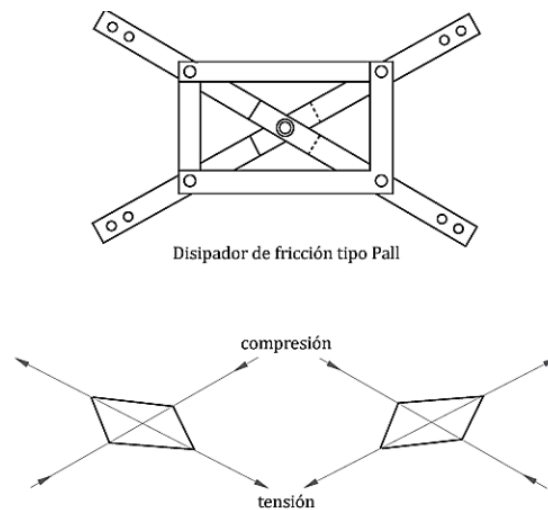


Figura 10 Disipador de Fricción tipo Pall. (Aiken et al., 1993, figuras 15 y 16, pág. 346)

1.2.6.6 Amortiguadores de masas sintonizadas

El amortiguador de masa sintonizado (AMS) consiste en un sistema masa/resorte/amortiguador que se coloca en la estructura principal la cual interactúa a la misma o cercana frecuencia dominante del sistema principal para que vibre en resonancia. El sistema sólo puede ser sintonizado con una sola frecuencia de vibración del sistema estructural primario ya que por lo general se ubican en el techo de las edificaciones que se encuentran apoyadas sobre aisladores y deslizadores.

En ciertas ocasiones es necesario colocar varios AMS que cubran las frecuencias de la estructura para una mitigación a la vibración. (Genatios & Lafuente, 2016)

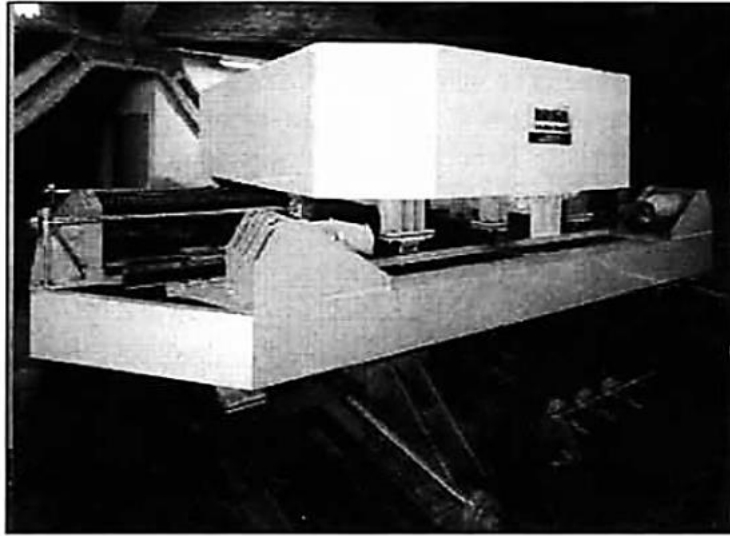


Figura 11 Fotografía de un AMS. (Montanaro, 2002, figura 9, pág. 37)

1.2.7 Edificaciones sismo-resistentes

El diseño sismorresistente en edificaciones marca un parámetro de referencia cercana a 50 años de vida útil bajo la acción de sismos de intensidades baja, mediana y gran intensidad con ocurrencias frecuente, probable y poco probable respectivamente.

Como objetivos de su desempeño (Genatios & Lafuente, 2016) enlista lo siguiente:

- Para sismos frecuentes, de baja intensidad, las estructuras no deben sufrir daños, ni en los elementos estructurales ni los no estructurales y deben continuar operativas.
- Para sismos intermedios, poco frecuentes, la estructura puede sufrir daños que deben ser reparables.
- Para sismos severos, se permite que la estructura sufra daños generalizados y hasta puede llegar a quedar inservible, pero sin que ocurra el colapso estructural, a fin de preservar las vidas humanas. (p.12)

El uso de los mecanismos de aislamiento se debe utilizar bajo el análisis previo de falla de diseño de los elementos contenidos en la estructura para disipar la energía.

La sencillez de funcionamiento y nivel de efectividad demuestran ser una alternativa confiable para el diseño sismorresistente y en los proyectos de readecuación sísmica, vista la necesidad de reducir daños en edificaciones, garantizar la seguridad de las vidas

humanas, disminuir la ocurrencia de pérdidas económicas y contribuir con la resiliencia de las ciudades.(Genatios & Lafuente, 2016)

1.2.8 Sistemas para el mejoramiento de la seguridad sísmica

La seguridad sísmica según (Oviedo & Duque, 2006) son:

Las técnicas convencionales estipuladas por la reglamentación actual para mitigar y controlar la respuesta de una edificación ante un evento sísmico se basan en la combinación de resistencia, rigidez y capacidad de disipación de energía en el rango inelástico de la estructura, tomando como condición su ductilidad. (p. 106)

Por otro lado, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) propone normatividades de construcción y seguridad sísmica orientados a viviendas económicas por medio de técnicas de rehabilitación:

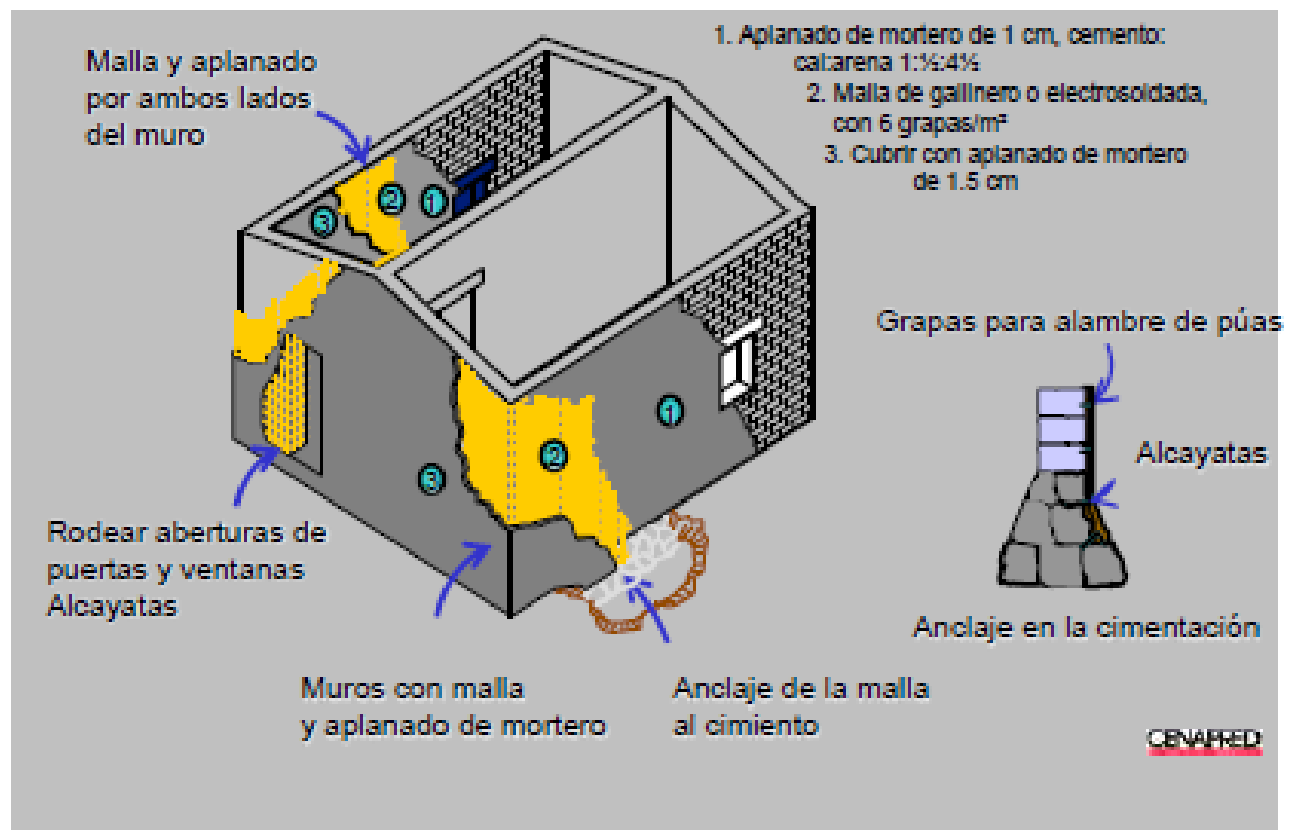


Figura 12 Desarrollo de sistemas para mejorar la seguridad sísmica de la vivienda económica y de técnicas de rehabilitación.(Gutiérrez, 2011, pág. 17)

1.3 Marco Normativo

1.3.1 Plan Estatal de Desarrollo Urbano 2019 (PEDU)

El Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023 (PDEM) tiene como finalidad establecer políticas, estrategias y objetivos de desarrollo urbano acordes a la dinámica social y económica de los asentamientos humanos del Estado de México mediante un modelo de ordenamiento territorial que identifica las vocaciones del territorio de acuerdo a sus características metropolitanas, urbanas y rurales, para generar políticas que impulsen y aseguren las condiciones necesarias para lograr ciudades más equitativas e incluyentes. Elaborado como un instrumento estratégico para equilibrar y potencializar el desarrollo, generar certidumbre normativa y jurídica, atraer el capital productivo nacional y extranjero, fortalecer la gobernanza urbana, la inclusión social y la sustentabilidad ambiental.(EDOMÉX, 2019b)

La creciente importancia de las ciudades se ve reflejada en la inclusión del tema urbano como eje central en la agenda política de los gobiernos, especialmente en razón de los Objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, refiriendo particularmente, al ODS 11 *“Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”*, cuyos preceptos se han materializado en la Nueva Agenda Urbana, como directriz global para la conducción del desarrollo urbano sostenible adoptada en la pasada Conferencia de Hábitat III. (EDOMÉX, 2019b)

La Nueva Agenda Urbana (Naciones Unidas, 2016) y Nueva Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2019), ya reconocidas en las últimas reformas a la legislación estatal (2018), consideran que los gobiernos y por consiguiente sus Planes y programas, deben impulsar acciones en los siguientes rubros:

- *Movilidad sostenible*: con una planificación basada en la edad y el género e inversiones para una movilidad urbana sostenible, segura y accesible para todos, así como sistemas de transporte de pasajeros y de carga que hagan uso eficiente de los recursos y busquen un vínculo efectivo entre las personas, los lugares, los bienes, los servicios y las oportunidades económicas.

- *Resiliencia*: para que la planificación ponga en práctica políticas de reducción y gestión de los riesgos naturales, que reduzcan la vulnerabilidad, aumenten la resistencia, y la capacidad de respuesta ante los peligros naturales y antropogénicos, y fomenten la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos.
- *Densificación*: para alentar la formulación de estrategias de desarrollo espacial que tengan en cuenta, según corresponda, la necesidad de orientar la ampliación urbana dando prioridad a la renovación urbana mediante la planificación de la provisión de infraestructuras y servicios accesibles y bien conectados, el logro de densidades demográficas sostenibles, el diseño compacto y la integración de nuevos barrios en el entramado urbano, impidiendo con ello el crecimiento urbano controlado y la marginación. (EDOMÉX, 2019b)

1.3.2 Reglamentos, normas y códigos de diseño sismorresistente

Existen diferentes observaciones en los reglamentos o normas de construcción mundiales para tomar en cuenta los efectos debidos al componente sísmico vertical. En México, a la fecha, tres reglamentos sugieren considerar el componente sísmico vertical para fines de diseño; estos son: el Reglamento de Construcciones para los Municipios del Estado de Guerrero (Gobierno del Estado de Guerrero, 2008), el capítulo 3 del Manual del Diseño de Obras Civiles, Diseño por sismo, publicado por la Comisión Federal de Electricidad y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (CFE, 2017), y el Reglamento de Construcciones para el Municipio de Puebla (H. Congreso Local, 2010).

En los Estados Unidos, los códigos del UBC desde 1991 (ICBO, 1967), AASTHO desde 1990 (AASHTO, 1973) e IBC desde 2000 (IBC, 2014) incorporan las recomendaciones para el uso y restricción de los sistemas de aislamiento. En Japón, el Instituto de Arquitectura del Japón (AIJ) provee algunas recomendaciones para el diseño de estructuras con aislamiento sísmico desde 1986. En la Unión Europea se tiene el Eurocódigo (EUROCODE, 2005), existiendo un apartado para el diseño de estructuras con aislamiento sísmico desde 2002, el cual ha sido aplicado en el reglamento de construcción en Italia. (Gómez et al., 2005)

Únicamente los reglamentos del Eurocodigo (EUROCODE, 2005) y de Grecia (OASP, 2003) han propuesto un coeficiente sísmico dependiente del periodo de vibración vertical para estimar la demanda sísmica vertical. Adicionalmente, el código de diseño sismorresistente de Grecia (OASP, 2003) refiere al uso de la fórmula de Rayleigh para estimar el periodo fundamental de vibración vertical, y a partir de él, estimar la demanda correspondiente. (Gómez et al., 2005)

1.3.3 Código de Edificación de Vivienda (CEV)

El Artículo 72 de la Ley de Vivienda establece que la Comisión formule un modelo normativo voluntario que promueva que las autoridades competentes, expidan, apliquen y mantengan en vigor y permanentemente actualizadas, disposiciones legales, normas oficiales mexicanas, códigos de procesos de edificación y/o reglamentos de construcción.

En respuesta a esta disposición, la CONAVI ha publicado y actualizado el Código de Edificación de la Vivienda (CEV), aplicable a la vivienda de hasta 5 niveles de todos los estratos socioeconómicos, el cual puede ser adoptado en cualquier municipio.

El CEV establece una línea base para el diseño y la edificación de viviendas seguras, habitables, accesibles y sustentables en un contexto urbano ordenado y equilibrado; a través de la inclusión de los criterios técnicos más actuales contemplados en las Normas Oficiales Mexicanas, Normas Mexicanas y en las mejores prácticas aplicadas en el país.

Asimismo, el CEV establece las obligaciones y responsabilidades de las autoridades y de los involucrados en la edificación de vivienda para asegurar la correcta aplicación y vigilancia del cumplimiento de la normatividad.

El diseño del CEV contempla variantes en sus requisitos acordes a las características físicas y climáticas de las distintas regiones del país, a modo de proveer todos los elementos necesarios para su fácil adopción, pero de igual manera prevé la posibilidad de que sus requisitos sean adaptados técnicamente de acuerdo a las necesidades identificadas en cada una de ellas.

La continua actualización del CEV y de la normatividad local basándose en él, permitirá consolidar y fortalecer un marco normativo nacional con criterios homologados, en beneficio de los involucrados en la edificación de viviendas y de las personas que las habitan. (CEV, 2017)

1.3.3.1 La adopción y adaptación del CEV por los gobiernos locales

El CEV es un Código Modelo que al adoptarse normativamente provee a los gobiernos locales de México un instrumento actualizado y armonizado con los ordenamientos jurídicos que rigen la edificación en el ámbito nacional. Asimismo, permite su adaptación técnica en función de las características físicas, climatológicas, de riesgo y del uso de materiales de la región, así como las prácticas de construcción aceptables.

De manera específica mediante la adopción del CEV se busca lograr que las autoridades:

- Cuenten con una herramienta con criterios básicos nacionales homologados para normar y hacer más eficientes los procesos de edificación.
- Actualicen con facilidad sus instrumentos normativos considerando los avances tecnológicos y la efectividad de su aplicación.
- Establezcan y promuevan la calidad y la seguridad física de las construcciones a través de la utilización de productos y servicios normalizados y certificados.
- Generen una mayor competitividad en el mercado, considerando el desarrollo tecnológico en la construcción y la normalización de productos.
- Promuevan la edificación de vivienda sustentable, estableciendo criterios mínimos, con la finalidad de reducir los impactos negativos en el medio ambiente.
- Fomenten la participación de todos los agentes involucrados en la edificación, en el límite de cada una de sus responsabilidades, y
- Impulsen la profesionalización de los servicios implícitos en la edificación.(CEV, 2017)

1.3.4 Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013

1.3.4.1 Edificación sustentable, criterios y requerimientos ambientales mínimos

Norma mexicana es de aplicación voluntaria para todas las edificaciones que se ubiquen dentro del territorio nacional, públicas y privadas, destinadas en su totalidad o en uso mixto a diferentes actividades de índole habitacional, comercial, de servicios o industrial.

Aplica a las edificaciones y sus obras exteriores. Ya sea individuales o en conjuntos de edificios, nuevas o existentes, sobre uno o varios predios, en arrendamiento o propias. Se aplica a una o varias fases: diseño, construcción, operación, mantenimiento y demolición, incluyendo proyectos de remodelación, renovación o reacondicionamiento del edificio.

1.4 Antecedentes

1.4.1 Sismicidad en México

1.4.1.1 Regiones sísmicas

El Manual de Protección Civil (CENAPRED, 2014a) considera al Cinturón de Fuego del Pacífico, la zona sísmica más activa del mundo, debido a la ubicación de cuatro placas tectónicas: Norteamericana, Cocos, Rivera y del Pacífico. Dichas capas concentran el 80% de la actividad volcánica y tectónica que afecta a estados como Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Colima, Jalisco y Chiapas, y en menor medida, en el Estado de México, Puebla, Veracruz y la CDMX.

Este manual indica la presencia dos movimientos de placa importantes presentes en territorio mexicano:

- Subducción, que se da a lo largo de la porción costera de Jalisco y Chiapas, donde las placas Rivera y Cocos penetran por debajo de la Norteamericana.
- Deslizamiento lateral entre la placa del Pacífico y la Norteamericana, que es visible en la superficie del terreno, esto se comprueba en la parte norte de la península de Baja California y a lo largo del Estado de California, en los Estados Unidos de América. (p. 8)

1.4.1.2 Provincia del Eje Neovolcánico

El 75.5% de la superficie del Estado de México corresponde a la provincia del Eje Neovolcánico. Las principales sierras son: Ajusco – Chichinautzin, Las Cruces y Monte Alto(EDOMÉX, 2019b). La primera se extiende desde el oriente de Toluca de Lerdo hasta el pie de la Sierra Nevada y constituye el parteaguas meridional de la cuenca de la Ciudad de México; mientras las dos últimas se encuentran en el parteaguas que divide a las cuencas de la ciudad de Toluca y Ciudad de México (INEGI, 2001)

Dentro de los límites del Estado de México, a esta provincia le pertenecen fragmentos de tres subprovincias: Lagos y Volcanes de Anáhuac, Mil cumbres y Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo (EDOMÉX, 2019b).



Figura 13 Provincias Fisiográficas (EDOMÉX, 2019, figura 5, pág. 53)

1.4.1.3 Cuenca de México

A mediados del siglo XX se llevaron a cabo estudios sobre el subsuelo de la Ciudad de México bajo la dirección del Dr. Nabor Carrillo Flores, con el objetivo de entender la problemática del hundimiento regional y ofrecer medidas atenuadoras. Como resultado del estudio, se propuso en 1948 una zonificación geotécnica que contemplaba tres zonas: de lomas, de transición y del lago. En el Reglamento de Construcciones para el

Distrito Federal de 1966 ya se distinguen en el subsuelo zonas de baja y alta compresibilidad. Hacia 1978, Raúl J. Marshal presentó una zonificación que distingue tres áreas (lacustre, aluvial y pétreo), y que contempla zonas de transición ubicadas en las fronteras de estas. Distinguió además entre transiciones progresivas, interestratificada y abruptas. A partir de los sismos de 1985, se estableció un mapa que delimitaba con mayor claridad las 3 zonas que se consideraban con fines de diseño sísmico: a) Zona I o de Lomas; b) Zona II o de Transición; y c) Zona III o del Lago. (Wagner, 2017)

A través del tiempo se ha podido observar que diversos tipos de temblores afectan el medio construido ubicado en el Valle de México (Rosenblueth et al., 1987). En particular, los temblores locales llegan a afectar las Zonas de Loma y Transición, y los movimientos que generan tienden a amplificarse en superficies convexas como las puntas de los cerros. Temblores como los de Acambay, ocurrido en 1912, alertan sobre la posibilidad de la ocurrencia de eventos sísmicos intensos con epicentros en las cercanías del valle. Los temblores de profundidad están asociados a una falla normal causada por el rompimiento de la placa de Cocos debajo del Valle de México. (Wagner, 2017)

1.4.1.4 Sismos fuertes en el Estado de México

Desde el año 1974 de acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional (SSN) los sismos se consideran fuertes aquellos que alcanzan una magnitud ≥ 6.0 (SSN, 2019).

En el Estado de México se han registrado un total de 606 eventos sísmicos hasta el mes de octubre del 2020 donde:

Tabla 2 *Eventos sísmicos registrados en el Estado de México desde 1900 hasta octubre del 2020 (Universidad Nacional Autónoma de México, I. d. G. Servicio Sismológico Nacional, 2020)*

Sismos Fuertes en el Estado de México		
	Eventos Sísmicos Registrados	Eventos Sísmicos Registrados (%)
No calculable*	473	71.88
Mayor a 3.4°	133	28.12
Mayor a 5.4°	1	0.21
Total	606	100

* **Magnitud no calculable:** en algunos eventos sísmicos localizados (en general, de magnitud pequeña), no es posible establecer con precisión la magnitud con los datos disponibles hasta el momento.

1.4.1.5 Programa Nacional de Reconstrucción 2019

Los daños materiales ocasionados por los sismos provocaron afectaciones sociales y económicas a la comunidad, mismas que al no haber sido atendidas con oportunidad en muchos casos, impiden el retorno a la normalidad de su vida cotidiana.

Debido a lo anterior, el Programa Nacional de Reconstrucción, coordinado por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano y ejecutado por las Secretarías de Educación Pública, por conducto del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED), Salud, Cultura y la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), en el ámbito de sus respectivas competencias, y en colaboración con gobiernos estatales, municipales, otros actores de la sociedad y la iniciativa privada en los sectores de educación, salud, vivienda y cultura, se incorporó en el Presupuesto de Egresos de la Federación para el ejercicio fiscal 2019 con el objeto de retomar la responsabilidad del Estado en la protección de los derechos humanos de las personas y de las comunidades afectadas por los eventos anteriormente mencionados, alineándose para su operación con los “Lineamientos para la entrega de información para la elaboración del Plan Nacional de Desarrollo 2019 – 2024” a través del Eje 3 Desarrollo Económico. (SEDATU, 2020)

Su objetivo es atender a la población afectada por los sismos de septiembre de 2017 y febrero de 2018, con un enfoque de derechos humanos, que pretende contribuir a proteger y garantizar la realización de los derechos a recibir educación, a la salud, a disfrutar de una vivienda adecuada y al acceso a la cultura y al disfrute de bienes y servicios culturales, mediante un conjunto de instrumentos presupuestarios y regulatorios para el impulso de proyectos y acciones de reconstrucción de viviendas, infraestructura física educativa, infraestructura de salud, así como para la restauración, rehabilitación, mantenimiento y capacitación para la prevención y la conservación de bienes culturales, históricos, arqueológicos y artísticos. (SEDATU, 2020)

1.4.1.6 Programa de Protección Civil para sismos, 2019

De acuerdo al Programa de Protección Civil para sismos 2019 (EDOMÉX, 2019a) como estrategia general estipula:

Dar prioridad a las acciones de prevención para contribuir a disminuir y/o mitigar el impacto destructivo y violento de los sismos, a la población en general, infraestructura al medio ambiente; sin omitir las actividades de auxilio y recuperación en caso de presentarse un fenómeno perturbador de este tipo.

De las cuales define como acciones específicas:

- Hacer partícipes a las Unidades Municipales de Protección Civil y a las Instancias de los Sistema Federal y Estatal de Protección Civil para que se lleven a cabo acciones preventivas, auxilio y recuperación.
- Contribuir con la generación de la Cultura de la Protección Civil, con las Dependencias Públicas participantes a través de la implementación de los Programas Internos y específicos de Protección Civil y la realización de simulacros con la población y en los Centros de Concentración Masiva de Población.
- Fomentar en los municipios, las actitudes y medidas de carácter preventivo como la autoprotección, auto preparación y la realización de simulacros para contribuir al desarrollo de la Cultura de prevención, ante la presencia de sismos.
- Que las Unidades Médicas de Protección Civil respectivas, lleven a cabo la vigilancia y monitoreo de riesgos dando prioridad a las localidades o lugares, donde se tenga un alto o muy alto grado de marginación y mayor número de habitantes.
- Enriquecer los vínculos con los medios de comunicación, a efecto de establecer una cultura de la prevención, autoprotección y auto preparación en la sociedad para fomentar la información formal ante los sismos. (pp.18)

1.4.1.7 Reglamentos, normas y códigos de diseño sismo resistente de la República Mexicana

En México se han realizado reglamentos y normas de construcción referentes al efecto por componente sísmico vertical de los cuales tres de ellos consideran este componente como un factor de diseño esencial, estos son:

- Reglamento de Construcciones para los Municipios del Estado de Guerrero.

- El capítulo 3 del Manual del Diseño de Obras Civiles, Diseño por sismo publicado por la Comisión Federal de Electricidad junto con el Instituto de Investigaciones Eléctricas
- Reglamento de Construcciones para el Municipio de Puebla. (Perea & Esteva, 2005)

1.4.1.8 Ciudad de México (CDMX)

La actividad sísmica recurrente en la CDMX ha llevado a plantear estrategias que permitan mitigar los daños ocasionados a la infraestructura vulnerable, inseguridad y desigualdad social; es por ello que desde 2014, la CDMX forma parte del programa 100 Ciudades Resilientes de la Fundación Rockefeller que busca apoyar a las ciudades para hacer frente a los impactos y tensiones crónicas que las afectan, para hacerlas más fuertes y capaces de adaptarse y sobrevivir de la mejor manera (CDMX et al., 2018).

El Gobierno de la CDMX crea el día 18 de septiembre del 2017 la Agencia de Resiliencia, siendo esta la entidad responsable del diseño de políticas públicas con el fin de fortalecer la resiliencia a largo plazo, además de mejorar la capacidad de la estructura ciudadana a sobrevivir, resistir, recuperarse, adaptarse y generar bienestar.(CDMX et al., 2018)

1.4.1.9 Acciones para generar resiliencia sísmica, CDMX-100RC

Cada una de estas líneas de acción corresponde a las prioridades establecidas por la Comisión de Reconstrucción y se fundamenta en los Ejes de la Estrategia de Resiliencia de la CDMX así como en la disposición de la Ley de Reconstrucción (CDMX et al., 2018).

La Agencia de Resiliencia, dentro de su proyecto CDMX-100RC (CDMX et al., 2018), estipula 5 ejes principales de acción:

- Eje 1. Fomentar la coordinación regional
- Eje 2. Impulsar la resiliencia hídrica como nuevo paradigma para el manejo del agua en la cuenca de México
- Eje 3. Planear para la resiliencia urbana y territorial
- Eje 4. Mejorar la movilidad a través de un sistema integrado, seguro y sustentable
- Eje 5. Desarrollar la innovación y capacidad adaptativa. (p.14)

1.4.1.10 Sistemas para el mejoramiento de la seguridad sísmica

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) desarrolla un Cuaderno de Investigación con el propósito de describir las prácticas de diseño y construcción de mampostería; el estudio de las características estructurales propias de los conjuntos habitacionales de interés social; y las repercusiones para su práctica de diseño y construcción.(CENAPRED, 2014b)

Este programa sobre seguridad sísmica de la vivienda económica es creado desde el año 1990 cuyos objetivos del proyecto son:

1. Verificar experimentalmente la seguridad sísmica de estructuras mampostería diseñadas y construidas según el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en vigor.
2. Evaluar el efecto de distintas alternativas de refuerzo en el comportamiento sísmico de muros de mampostería.
3. Proponer, si es necesario, modificaciones a las prácticas de diseño y construcción de estructuras de mampostería que conduzcan a construcciones más seguras y eficientes.
4. Adecuar la seguridad sísmica de las construcciones con el peligro sísmico de diferentes regiones.
5. Valorar el desempeño de nuevos sistemas constructivos.(CENAPRED, 2014b)

1.4.1.10.1 Casos aplicados para la mitigación de sismos en la República Mexicana

1.4.1.10.1.1 Torre Latinoamericana

Marca un precedente histórico en cuestiones de cimentación y construcción para las edificaciones a nivel mundial dado que fue el primer rascacielos ubicado en una zona de alto riesgo sísmico. Previo a su construcción, el Dr. Leonardo Zeevaert elaboró un programa de investigación del subsuelo con el objetivo de conocer la vulnerabilidad sísmica a la que se enfrentaría la torre dotando de un sistema de aislamiento constituida de una losa de cimentación la cual permite al edificio sea independiente a los pilotes de sustento. El desarrollo de esta tecnología en México, fue la primera a nivel mundial y actualmente utilizada por construcciones en zonas de alto riesgo sísmico.

A menos de un año de su inauguración es puesta a prueba la mañana del 28 de Julio de 1957 a las 2:44 am, cuando un terremoto de 7.5 con duración de 90 segundos sacudió a la Ciudad de México y algunos estados de la República.

En 1985 la torre resistió el terremoto del 19 de septiembre, cuya escala fue de 8.1 con epicentro en la costa de Michoacán con una duración aproximada de 2 minutos; al día siguiente, el 20 de septiembre de 1985 soporta una réplica con escala de 7.5 con un epicentro cerca de Zihuatanejo, Guerrero.(Mario Carmona y Pardo, 2014)

Por último, esta construcción vuelve a poner a prueba su capacidad sísmica al resistir un evento sísmico ahora el 19 de septiembre de 2017 cuando un sismo de 7.1 magnitud sacude a la Ciudad de México provocando derrumbes de diferentes edificios en la misma ciudad.(Alberto Nájar, 2018)

1.4.1.10.1.2 Torre Ejecutiva Pemex

En búsqueda de la ampliación del área administrativa se crea la Torre Pemex, la misma institución destinaba la construcción de la infraestructura en sistemas de extracción. Se buscaba un edificio simple, robusto, amplio y óptica agradable, basada en módulos cuadrados conservando la misma base geométrica en las cuatro caras.

En teoría, el edificio puede soportar un sismo de 8.5 de magnitud, siendo esta misma la fuerza necesaria que podría derrumbar cualquier otro edificio del mismo tamaño de la Torre Pemex.(Mario Carmona y Pardo, 2014)

1.4.1.10.1.3 Aislamiento Sísmico Pendular para Subestaciones Encapsuladas

Como parte de la modernización de las subestaciones eléctricas de CFE, la construcción de nuevas subestaciones encapsuladas en zonas de la República Mexicana ha sido probadas donde el riesgo y peligro sísmicos son bajos dando a la posibilidad de un posterior análisis donde el riesgo y el peligro sísmicos son altos aunando la presencia de efectos de sitio importantes. Para la factibilidad de estos sistemas, se requiere que la subestación encapsulada este en operación completa y que no exista riesgo alguno de fugas de gas toxico durante un sismo intenso. (Arturo Tena Colunga, 2014)

1.5 Planteamiento del problema

La República Mexicana está situada en una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, enclavada dentro del área conocida como el Cinturón Circumpacífico donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta.

La zona B considerada para este estudio donde se registran sismos no tan frecuentes o son zonas que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo. Durante y después de un evento sísmico el daño parcial o colapso de las construcciones llevan consigo víctimas, disturbios sociales y pérdidas económicas.

La normativa actual para la construcción de inmuebles en el Estado de México nos lleva al planteamiento de una modernización capaz de adaptarse a las necesidades actuales del medio, por lo cual es necesario el rediseño de construcciones con la capacidad de resistencia a eventos sísmicos grandes que no presenten colapsos o daños estructurales además de los daños a elementos no estructurales.

1.6 Justificación

Actualmente, las técnicas convencionales de disipación de energía se han complementado con componentes adicionales a los componentes básicos estructurales para la edificación, los cuales modifican las características dinámicas de la estructura, controlando o disipando parte de la energía impuesta por el sismo.

Debido a las grandes ventajas que presenta el uso de amortiguadores sísmicos, es necesaria la difusión de este conocimiento dado a su gran importancia en la mitigación de siniestros causados por sismos, así como la revisión de los conceptos básicos de funcionamiento de estas técnicas y su utilización en los dispositivos disponibles comercialmente como también los métodos de diseño estructural sismorresistente.

1.7 Objetivo General

Ubicar las zonas potenciales para la implementación de sistemas de amortiguamiento sísmico en la Zona Metropolitana de Toluca.

1.7.1 Objetivos específicos

- Elaboración de un marco teórico, normativo y contextual de la aplicación de los sistemas de amortiguamiento sísmico.
- Desarrollo de una metodología que permita la identificación de las zonas con mayor aptitud para la aplicación de sistemas de amortiguamiento sísmico.
- Definición de un grupo de sugerencias técnicas para la aplicación de amortiguamiento sísmico en función de las características físicas, antropológicas y normativas.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1 Introducción

El desarrollo del análisis e identificación de los factores determinantes para la implementación de los sistemas de amortiguamiento sísmico, ya sean aisladores sísmicos o estructuras sismo-resistentes, contempla la información disponible en organismos e instituciones públicas como: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Plan Estatal de Desarrollo Urbano del Estado de México (PEDUEM, 2019), Servicio Sismológico Nacional (SSN), Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

La cartografía, publicaciones, encuestas y bases de datos expedidas por los organismos anteriores fueron utilizados con el fin de proveer todos los elementos necesarios para la generación de una lista de sugerencias técnicas aplicables en la ZMT en beneficio de la edificación de viviendas y de las personas que las habitan.

El Plan Estatal de Desarrollo Urbano del Estado de México 2019 (PDUEM, 2019) y el Código de Edificación de la Vivienda (CEV, 2017) establecen una línea base para el diseño y edificación de viviendas seguras, habitables, accesibles y sustentables en un contexto urbano ordenado y equilibrado; a través de la inclusión de los criterios técnicos más actuales contemplados en las Normas Oficiales Mexicanas y en las mejores prácticas aplicadas en el país para viviendas de hasta 5 niveles; escalables a cualquier estrato socioeconómico además de la adopción en cualquier municipio. (CEV, 2017)

2.2 Área de estudio: Zona Metropolitana de Toluca (ZMT)

La población concentrada en la ZMT la coloca dentro de las más importantes del país, considerada la quinta metrópoli más poblada del país la cual le anteceden la Zona Metropolitana del Valle de México, Guadalajara, Monterrey y Puebla-Tlaxcala. (SISVEM, 2020)

A partir de su configuración como zona metropolitana en los años 60, la ciudad de Toluca ha expandido su interacción con otros municipios, consolidándola como una de las zonas

metropolitanas más dinámicas a nivel nacional, de acuerdo con la información estadística del 2015, 13 de cada 100 mexiquenses radican en esta zona geográfica.

La ZMT está conformada por 16 municipios:

Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec. (CONESPO & CONAPO, 2018)

2.3 Habitantes, superficie y densidad de población

En el Estado de México, el Consejo Estatal de Población (CONESPO) con base en Proyecciones de la Población de México de los municipios de México 2015 – 2030 del Consejo Nacional de Población (CONAPO), habitan 17,245,551 habitantes para el año 2019 ocupando el primer lugar a nivel nacional de habitantes por Entidad Federativa. En la ZMT, habitan 2,347,692 para el año 2019, lo que representa el 13.6 % de la población total del Estado de México, con una tasa de crecimiento medio anual del 1.9 % y una densidad media urbana de 64.4 hab/ha. (CONESPO & CONAPO, 2018)

Tabla 3 Población al año 2019 de los municipios que integran la ZMT (CONESPO & CONAPO, 2018)

Clave municipal	Municipio	Población total	Clave municipal	Municipio	Población total	Clave municipal	Municipio	Población total
15005	Almoloya de Juárez	185,061	15062	Ocoyoacac	70,816	15090	Tenango del Valle	90,911
15018	Calimaya	59,285	15067	Otzolotepec	89,638	15106	Toluca	937,994
15027	Chapultepec	12,701	15072	Rayón	14,407	15115	Xonacatlán	54,038
15051	Lerma	157,467	15073	San Antonio la Isla	30,878	15118	Zinacantepec	198,889
15054	Metepec	243,918	15076	San Mateo Atenco	80,208			
15055	Mexicaltzingo	13,563	15087	Temoaya	107,918			

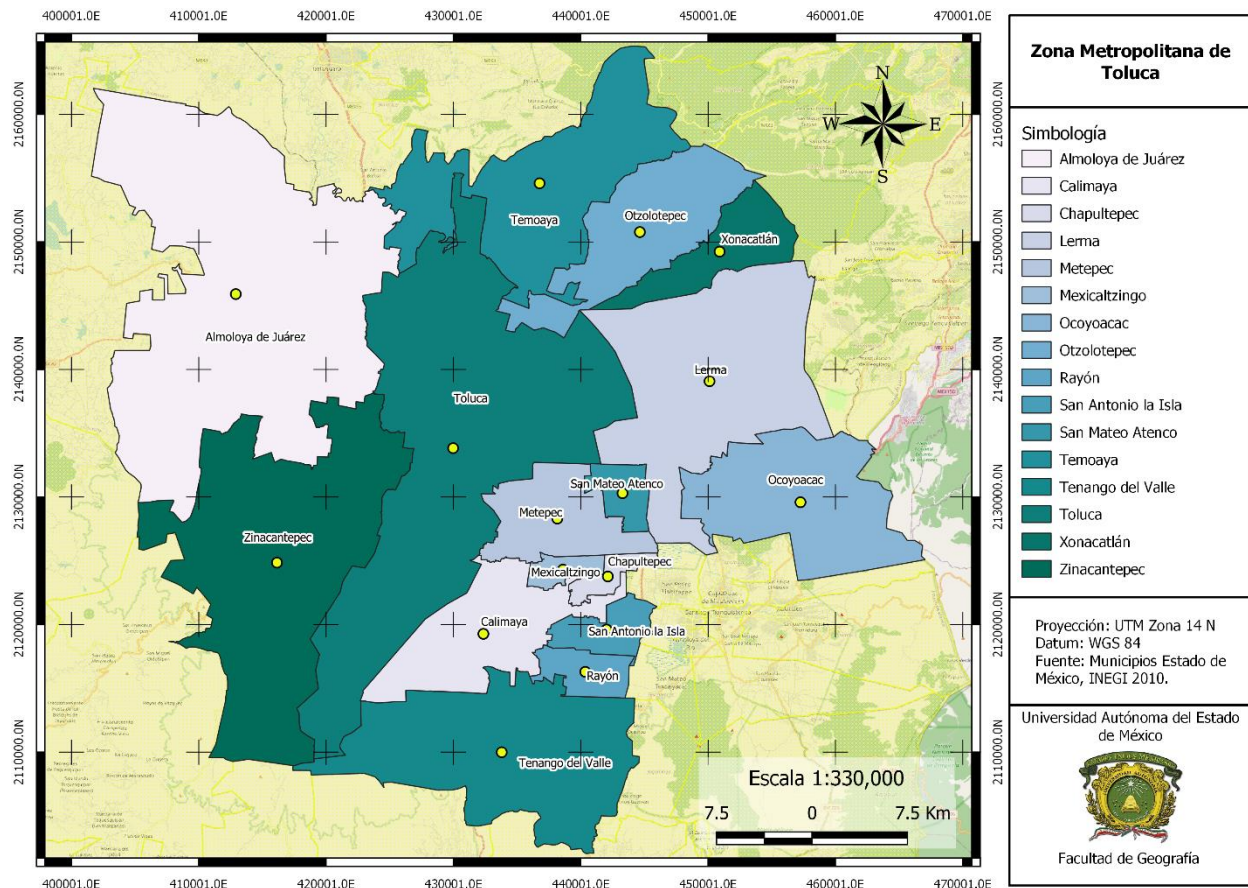


Figura 14 Zona Metropolitana de Toluca (CONESPO & CONAPO, 2018)

2.4 Aptitud territorial para el desarrollo humano

El concepto de aptitud territorial está relacionado con las características ambientales de un área y las propiedades del suelo sobre formas particulares del terreno; considera también las limitantes y restricciones físicas para desarrollar una actividad productiva particular. (Mendoza et al., 2011)

La aptitud del territorio permite identificar las potencialidades y limitaciones particulares del territorio; por lo tanto, es necesaria una visión holística que permita detectar las características idóneas para una planificación urbana orientada al aprovechamiento de los principales componentes del paisaje.

El PEDUEM (2019) propone para el desarrollo urbano una aptitud territorial basada en cuatro componentes principales:

2.4.1 Condicionantes físicas

Con el objetivo de disminuir el riesgo de desastres naturales mediante la prevención, planeación y gestión de riesgos, es necesario priorizar las infraestructuras verdes para la adaptación al cambio climático y focalizar acciones en aquellas zonas del territorio con mayor exposición a los siguientes fenómenos:

- Escorrentías, canales y cuerpos de agua
- Zonas con aptitud de conservación
- Riesgos naturales: susceptibilidad de inundaciones; de deslizamiento de taludes y laderas; hundimientos, fallas y fracturas geológicas.
- Sismos

Con base en ello, destacan la zona norte y noreste de la ZMT como áreas propicias para el desarrollo urbano.(EDOMÉX, 2018)

2.4.1.1 Escorrentías, canales y cuerpos de agua

La inundación es el evento provocado por un incremento en el nivel de la superficie libre de agua generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no hay, una vez superado dicho nivel, la velocidad y volumen de agua sobrepasa el margen de tolerancia de la zona y con ello se incrementa la vulnerabilidad de la comunidad dañando a la infraestructura. (Báro & Monroy, 2018)

Los asentamientos urbanos informales o irregulares suelen caracterizarse por una alta vulnerabilidad de las viviendas y el déficit de infraestructura para la reducción del riesgo, especialmente los asentamientos ubicados sobre los márgenes de los ríos, aumentando la frecuencia y la gravedad de las inundaciones en zonas urbanas.

Dentro del grupo de suelos que se encuentran en la ZMT los Regosoles eútricos impiden la penetración del agua hacia el subsuelo y dificulta el establecimiento de las plantas resultando en escorrentías superficiales lo cual lleva a las inundaciones.(INEGI, 2012)

2.4.1.1.1 Leyes, normas y reglamentos relacionados

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales DOF 24-03-2016 (Ley de Aguas Nacionales, 2016) del Diario Oficial de la Federación del 1° de diciembre de 1992, en su ARTÍCULO 3, fracción XLVII “Rivera o Zona Federal”:

“Las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias.” (p.7)

En cuanto las fracciones LXII, LXIII, LXIV y LXV del artículo 3 de la misma ley se establece:

“Aquellas áreas específicas de las regiones hidrológicas, cuencas hidrológicas o acuíferos, en las cuales no se autorizan aprovechamientos de agua adicionales a los establecidos legalmente y éstos se controlan mediante reglamentos específicos.” (pp. 8,9)

Por otro lado, el Código de Edificación de Vivienda 3ª Edición 2017 (CEV, 2017) en la PARTE 2 “PLANEACIÓN Y DISEÑO URBANO”, CAPÍTULO 4 – DESARROLLO URBANO, CONJUNTOS HABITACIONALES, ESTRUCTURA URBANA, LOTIFICACIÓN Y DONACIONES, sección 402.6.2 Hidrología, estipula lo siguiente:

Deben evitarse acciones de urbanización y cambio de uso de suelo en:

- a. Las franjas de zonas federal paralelas a cuerpos de agua, cauces, ribera de ríos, humedales y zonas costeras de acuerdo con lo establecido en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.
- b. Los suelos de recarga acuífera.
- c. Los sitios con lagunas y represas de regulación de canales, arroyos y ríos. (p. 66)

La Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 (SEECO, 2013) en materia de EDIFICACIÓN SUSTENTABLE – CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS recomienda en su apartado 5.2.12 Las edificaciones sustentables no deben ser ubicadas en:

“... Zonas Federales (... ,zona federal en márgenes de ríos y lagos, ...)”.

Distribución hidrológica en la ZMT

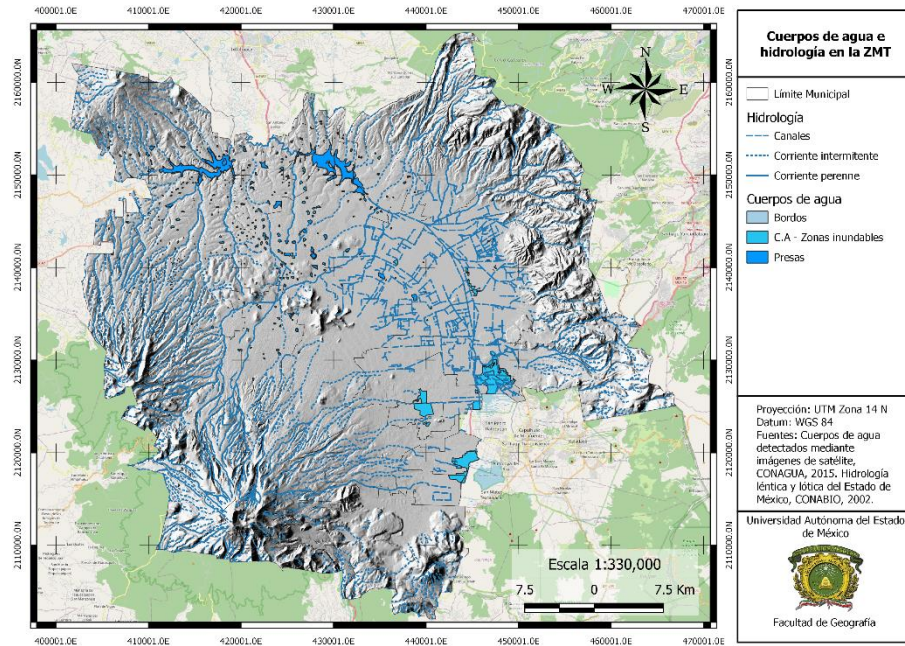


Figura 15 Cuerpos de agua e hidrología presentes en la ZMT. *Elaboración propia.*

Cómo lo indica la LAN (2016) en su ARTÍCULO 3, en la Figura 15 se muestra una distancia de 10 metros por cada cuerpo de agua partiendo de sus límites externos, considerando los límites recomendados como zonas no aptas para el desarrollo urbano.

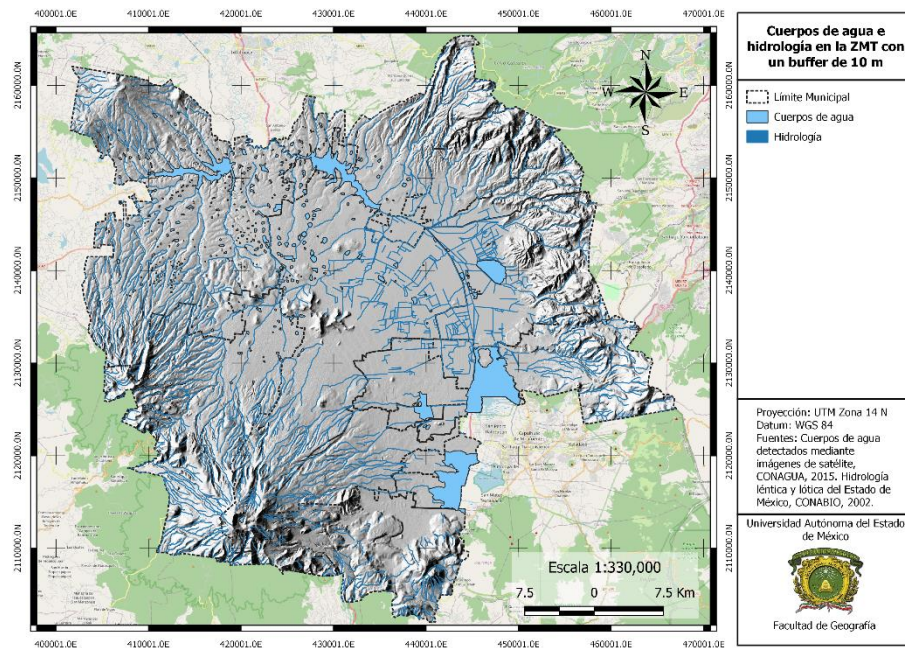


Figura 16 Cuerpos de agua e hidrología de la ZMT con la distancia recomendada por la LAN. *Elaboración propia.*

2.4.1.2 Zonas con aptitud de conservación. Áreas Naturales Protegidas (ANPS)

La LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA, 2018) DOF 05-06-2018 del Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1998, define en su ARTÍCULO 3º sección II Áreas naturales protegidas como:

“Las zonas del territorio nacional y aquéllas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y están sujetas al régimen previsto de la Ley” (p. 2)

Mientras que en el ARTÍCULO 53 se establece:

“Las áreas de protección de recursos naturales, son aquellas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales de aptitud preferentemente forestal, siempre que dichas áreas no queden comprendidas en otra de las categorías previstas en el artículo 46 de esta Ley”. (p. 40)

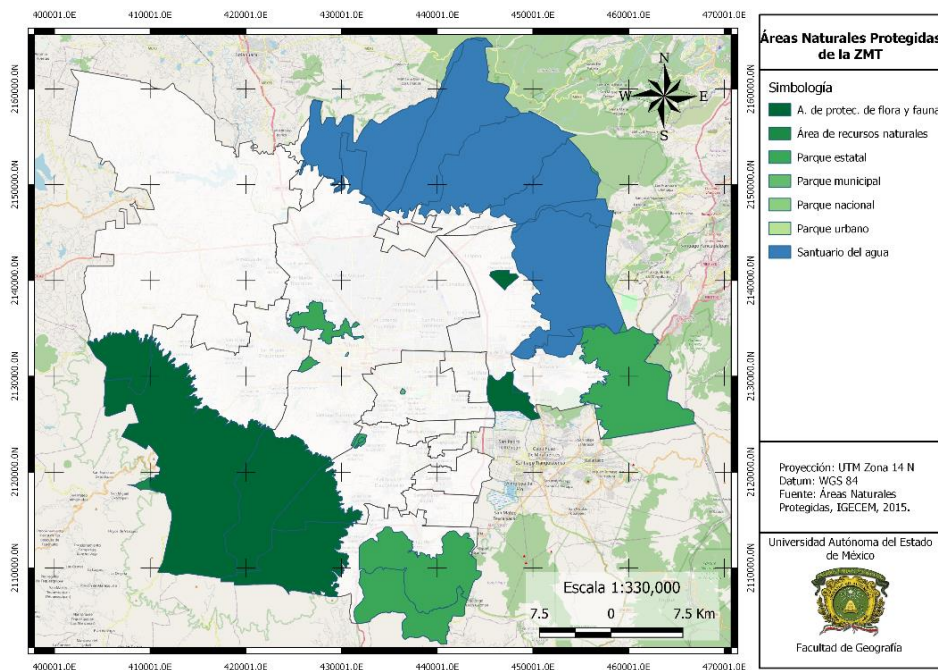


Figura 17 Áreas Naturales protegidas de la ZMT. Elaboración propia.

2.4.1.2.1 Leyes, normas y reglamentos relacionados

La NMX-AA-164-SCFI-2013 (2013) recomienda en su apartado 5.2.1.2 Las edificaciones sustentables no deben ser ubicadas en:

“La zona núcleo de Áreas Naturales Protegidas, cualquiera que sea su categoría, y en el caso de situarse en zonas de amortiguamiento deben respetarse los criterios, lineamientos y restricciones contemplados en los Planes de Manejo, el decreto que establece el Área Natural Protegida, y demás instrumentos legales vigentes que regulen las obras y actividades permitidas y que establezcan usos prohibidos ...”. (p. 23)

2.4.1.3 Peligros Naturales

2.4.1.3.1 Susceptibilidad de inundaciones

El “nivel normal” se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas.

Una primera referencia del riesgo de inundaciones lo muestra el Atlas de Riesgos Naturales del Estado de México, mismo que señala que un 9.0% de la superficie total del Estado es susceptible de inundarse, casi la totalidad de la zona metropolitana de Toluca.

Las inundaciones ocurren principalmente en áreas con pendiente menor a 5°, en planicies y en sus márgenes con los piedemontes. En el Valle de Toluca, la mayor susceptibilidad se presenta al norte de la Zona Metropolitana de Toluca, así como en los municipios de San Antonio la Isla, Rayón y Chapultepec. (EDOMÉX, 2019b)

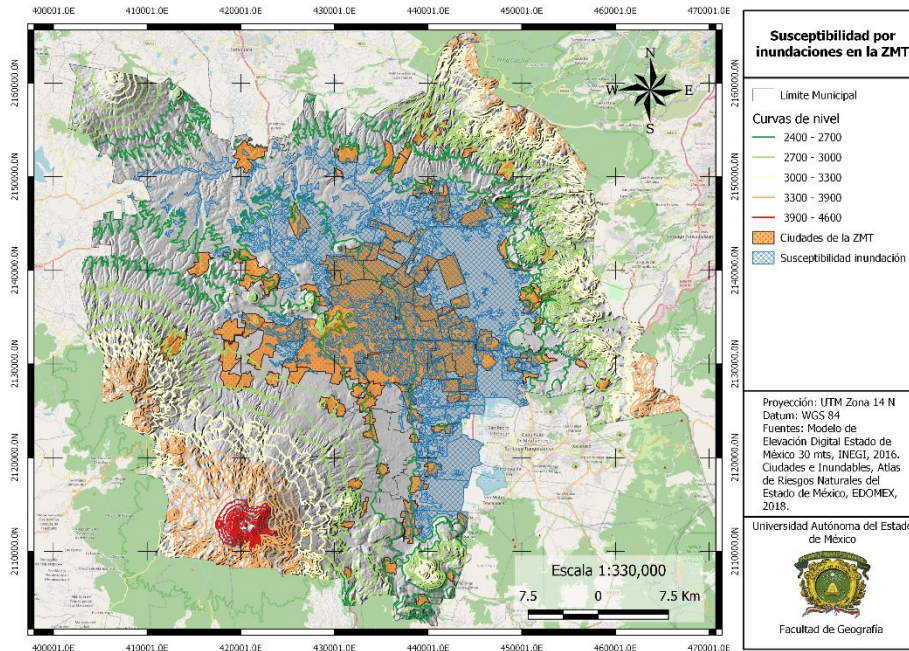


Figura 18 Susceptibilidad por inundaciones en la ZMT. *Elaboración propia*

2.4.1.3.1.1 Leyes, normas y reglamentos relacionados

El CEV (2017) estipula en la PARTE 2 “PLANEACIÓN Y DISEÑO URBANO” CAPÍTULO 4 – DESARROLLO URBANO, CONJUNTOS HABITACIONALES, ESTRUCTURA URBANA, LOTIFICACIÓN Y DONACIONES, sección 402.6.1 Topografía lo siguiente:

“En función de la pendiente y sus accesos viales deben evitarse sitios como:

- a. Los ubicados en cañadas, barrancas, cañones sujetos a erosión y a escurrimientos e inundaciones pluviales.
- b. ...” (p. 65)

En la PARTE 6 “SUSTENTABILIDAD” CAPÍTULO 31 – SUSTENTABILIDAD, sección 3103.2 Ubicación y uso de suelo del mismo código estipula lo siguiente:

“..., los predios con las características hidrológicas identificadas en la Tabla 3103.2, no son aptos para el desarrollo de vivienda y deben considerar los usos recomendables en caso de desarrollo” (p. 378)

Tabla 4 Tabla modificada del Código de Edificación y Vivienda 2017 a partir de la Tabla 3103.2 Uso recomendable del predio según características hidrológicas. (CEV, 2017)

IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS	USO RECOMENDABLE
a) zonas inundables	Zonas de valles Partes bajas de las montañas Drenes y erosión no controlada Suelo impermeable Vegetación escasa Tepetate o rocas Vados y mesetas	Zonas de recreación Zonas de preservación Zonas para hacer drenajes Almacenamiento de agua Recargas de acuíferos

La NMX-AA-164-SCFI-2013 (2013) recomienda en su apartado 5.2.1.2. Las edificaciones sustentables no deben ser ubicadas en:

“ .. zonas inundables, a menos que dispongan de las medidas necesarias para que los torrentes puedan correr sin propiciar riesgos y se hagan los ajustes necesarios al proyecto para evitar daños humanos y materiales, siempre y cuando se cuente con las autorizaciones de competencia local y federal respectivas ...” (p.23)

2.4.1.3.2 Deslizamiento de taludes y laderas

Uno de los factores externos que más contribuyen a la inestabilidad de laderas es la lluvia; por el efecto que tiene en la saturación del terreno, en el aumento del peso volumétrico del suelo y, de manera más trascendente, en la reducción de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos; para el caso del Estado de México, el riesgo por desplazamiento de taludes podría ser no menor que el de inundaciones ya que implica la pérdida de vidas. (Báro & Monroy, 2018)

2.4.1.3.3 Deslaves

Junto con las inundaciones es uno de los fenómenos más comunes y recurrentes que impactan a los asentamientos humanos, sobre todo en regiones montañosas, como a sus infraestructuras montañosas. Es indispensable determinar la distribución de aquellas zonas más susceptibles, con el propósito de prevenir y mitigar además de reducir la vulnerabilidad en sitios inestables de laderas.(Báro & Monroy, 2018)

2.4.1.3.4 Hundimientos

Los hundimientos del terreno llevan consigo otro fenómeno que puede ser detonador de un escenario de riesgo, los agrietamientos. Las grietas pueden o no estar asociadas al

hundimiento del suelo; sin embargo, hoy se sabe que el agrietamiento se hace más frecuente durante fuertes lluvias, ya que incrementa la presión de los poros lo que causa esfuerzos de tensión del agua al suelo.

Los hundimientos y grietas que se presentan como consecuencia de la sobreexplotación del agua del subsuelo (y de cualquier sólido y fluido) traen consigo problemas, no solo económicos por los daños que causan directamente sobre las propiedades de los particulares y en la infraestructura urbana, sino también sociales y legales por el riesgo que conlleva habitar en una zona donde los hundimientos provocan cada vez más frecuentes inundaciones, y donde la aparición de un nuevo agrietamiento es latente. Tales problemas como el rompimiento de sistemas de tubería de agua potable, drenaje y gas; rompimiento de infraestructura urbana y habitacional; inestabilidad y caída de infraestructura; generación de incendios y contaminación de mantos freáticos. (Báro & Monroy, 2018)

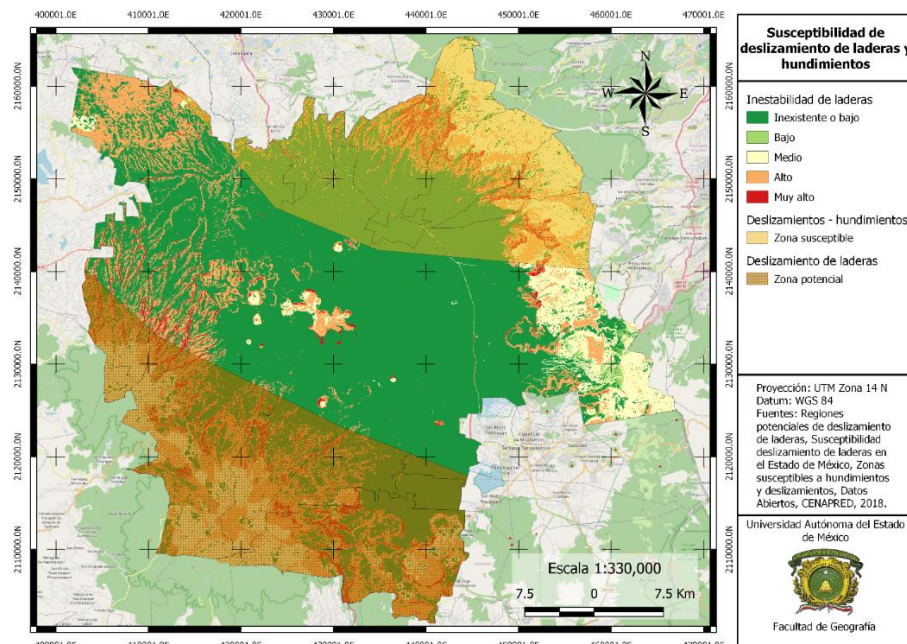


Figura 19 Susceptibilidad de deslizamiento de laderas y hundimientos en la ZMT. Elaboración propia.

2.4.1.3.5 Pendientes

De acuerdo con las condiciones litológicas del substrato geológico, con la energía del relieve y con los ángulos de inclinación de las laderas del territorio, se elaboró una matriz de valoración, que permitió distinguir los principales niveles de susceptibilidad potencial

al desarrollo de los procesos de remoción en masa y, por tanto, de escenarios de peligrosidad. Sus combinaciones determinaron una clasificación de siete niveles de peligrosidad.(Báro & Monroy, 2018)

Tabla 5 Niveles de susceptibilidad potencial de peligrosidad geológico-geomorfológica por procesos de remoción de masa en México (Báro & Monroy, 2018, Tabla 5.1, pág. 106)

Intervalo / Complejo	I Complejo metamórfico	II Complejo intrusivo	III Complejo extrusivo	IV Complejo terrígeno	V Complejo carbonatado
> 0° - 2°	MB	N	N	MB	MB
> 2° - 4°	B	MB	MB	MB	MB
> 4° - 8°	M	MB	MB	B	B
> 8° - 16°	ML	B	B	M	M
> 16° - 32°	MA	ML	A	A	ML
> 32° - 45°	MA	A	MA	MA	MA
> 45°	MA	MA	MA	MA	MA

Estos niveles de susceptibilidad presentan las siguientes características:

- *Susceptibilidad potencial muy alta (MA)*
- *Susceptibilidad potencial alta (A)*
- *Susceptibilidad potencial media-alta (ML)*
- *Susceptibilidad potencial media (M)*
- *Susceptibilidad potencial baja (B)*
- *Susceptibilidad potencial muy baja (MB)*
- *Susceptibilidad nula (N)*

2.4.1.3.5.1 Leyes, normas y reglamentos relacionados

El CEV (2017) estipula en la PARTE 2 “PLANEACIÓN Y DISEÑO URBANO”, CAPÍTULO 4 – DESARROLLO URBANO, CONJUNTOS HABITACIONALES, ESTRUCTURA URBANA, LOTIFICACIÓN Y DONACIONES, sección 402.6.1, Topografía lo siguiente:

En función de la pendiente y sus accesos viales deben evitarse sitios como:

“... c. Los que tengan posibilidad o peligro de deslizamientos del suelo en, o sobre las edificaciones y viviendas. En caso de terrenos localizados al hombro o al pie de una ladera, se debe verificar el grado y riesgo de deslizamiento mediante análisis geológicos y pruebas geotécnicas. En caso de que la ladera presente situaciones de inestabilidad,

se debe garantizar su estabilización mediante obras de corte, taludes y contención ...”.
(p. 65)

El CEV (2017) en la PARTE 2 “PLANEACIÓN Y DISEÑO URBANO” CAPÍTULO 4 – DESARROLLO URBANO, CONJUNTOS HABITACIONALES, ESTRUCTURA URBANA, LOTIFICACIÓN Y DONACIONES, sección 402.14. Evaluación y mitigación de riesgos estipula:

“Con el objetivo de identificar, prevenir y mitigar los riesgos inherentes al inmueble respectivo, los responsables de construir los conjuntos habitacionales deben presentar los estudios necesarios en ... c. Identificación de zonas sujetas a inundación ...” (p.67)

El mismo código en su PARTE 4 “ASPECTOS ESTRUCTURALES”, CAPÍTULO 4, sección 1405.1.4. Subsistencia estipula:

“Para la investigación del hundimiento se debe tomar en cuenta la información disponible respecto a la evolución del proceso de hundimiento regional que afecta la parte lacustre y se deben prever sus efectos a corto y largo plazo sobre el comportamiento de la cimentación en proyecto ...” (p. 177)

2.4.1.3.6 Fallas y fracturas geológicas

De acuerdo a (Báro & Monroy, 2018) definen:

“Los temblores pueden causar la falla del terreno (suelos y/o rocas) con inclinaciones pronunciadas, particularmente aquellos marginalmente estables. Los deslizamientos más comunes causados por eventos sísmicos incluyen: (i) caída de rocas,(ii) deslizamiento de suelos (sedimentos), y (iii) deslizamiento de rocas en pendientes relativamente pronunciadas que están cubiertas de cuerpos desagregados de rocas y suelos. Dichos materiales (rocas y suelo desagregados) producto de dichas fallas del terreno, pueden cortar carreteras y arroyos, inclusive pueden dañar puentes, edificios y otro tipo de estructuras. La pérdida de vidas a cause de deslizamientos del terreno es común que ocurra. De especial preocupación son los terrenos en pendientes en que el deslizamiento puede desarrollarse rápidamente ...” (p. 191)

La subsidencia terrestre es un fenómeno que implica el asentamiento de la superficie terrestre en un área extensa debido a la manifestación en superficie de una serie de mecanismos subsuperficiales de deformación. Frecuentemente la subsidencia genera fallamientos o agrietamientos que dañan la infraestructura humana (Báro & Monroy, 2018). Las clasificaciones para el fenómeno de subsidencia son diversas, según (Báro & Monroy, 2018) el mecanismo desencadenante, en este caso compactación, se puede clasificar en:

“... Tectónica: los descensos de la superficie terrestre producidos por las fallas producen un efecto conocido como subsidencia tectónica. Este tipo de subsidencia es, en general, muy lenta y de pequeña magnitud (de pocos mm o décimas de mm al año) frente a otros tipos de subsidencia ...”. (p. 142)

Los costos económicos ocasionados por la subsidencia son muy difíciles de evaluar y cuantificar, debido principalmente a la dificultad de mapear la totalidad de las zonas que son afectadas, además de lo difícil de identificar los daños directos e indirectos que causan hundimientos que son poco perceptibles.

Los agrietamientos asociados a la subsidencia causan grandes pérdidas económicas por la afectación a la infraestructura urbana que ha edificado sobre su traza. Uno de los grandes problemas para los encargados de la planificación del desarrollo y crecimiento urbano en zonas de subsidencia, es definir las zonas futuras de fracturamiento para evitarlas o darles otro uso dentro de los planes de desarrollo.

En la actualidad no hay una metodología para predecir las zonas de fracturamiento asociados a la subsidencia, que sea económicamente factible y que arroje elementos para la toma de decisiones en cuestiones de planificación urbana. (Báro & Monroy, 2018)

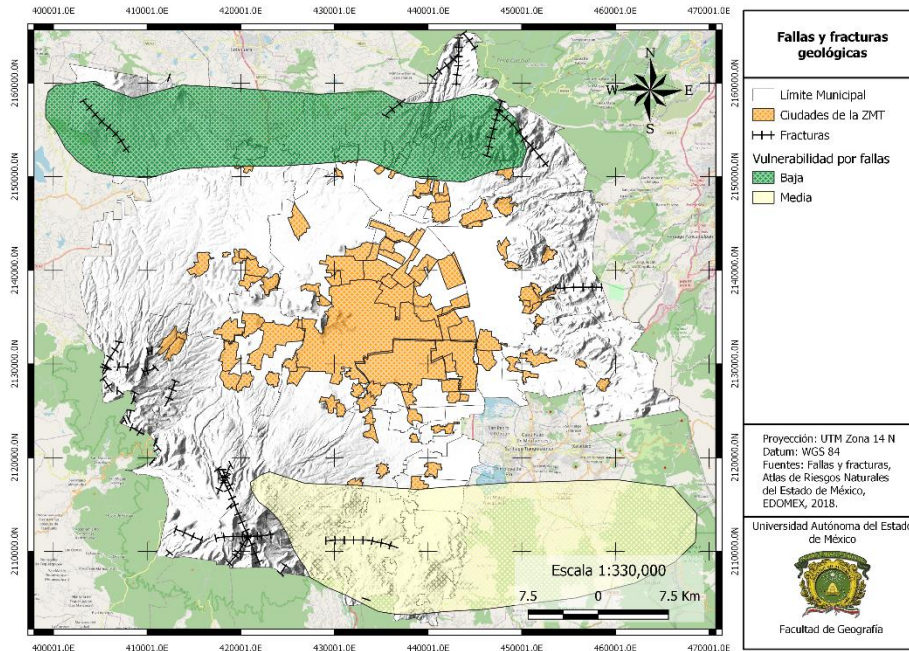


Figura 20 Fallas y fracturas en la ZMT. *Elaboración propia.*

2.4.1.3.6.1 Leyes, normas y reglamentos relacionados

El CEV (2017) en su PARTE 2 “PLANEACIÓN Y DISEÑO URBANO” CAPÍTULO 4 – DESARROLLO URBANO, CONJUNTOS HABITACIONALES, ESTRUCTURA URBANA, LOTIFICACIÓN Y DONACIONES, sección 402.6.3. Vulnerabilidad geológica estipula lo siguiente:

“Deben evitarse los sitios localizados en: a. Lugares que presenten fallas geológicas o activas ...” (p. 66)

El mismo código su sección 402.14. Evaluación y mitigación de riesgos estipula lo siguiente:

“Con el objetivo de identificar, prevenir y mitigar los riesgos inherentes al inmueble respectivo, los responsables de construir los conjuntos habitacionales deben presentar los estudios necesarios en ... c. Identificación de cuevas, meandros y fallas del subsuelo ...” (p. 67)

Por su parte la NMX-AA-164-SCFI-2013 (2013) establece en su apartado 5.2.1.2. Las edificaciones no deben ser ubicadas en:

“ ... Zonas de riesgo, tales como fallas geológicas ..” (p. 23)

2.4.1.3.7 Sismos

En el país se identifican cuatro zonas sísmicas generales, establecidas por registros de sismicidad histórica, de acuerdo al PEDUEM (2019) se dividen en:

- Zona A: no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% a causa de temblores.
- Zona B y C: se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70%.
- Zona D: se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70%.

El Estado de México se ubica dentro de las zonas sísmicas B y C; casi la totalidad del territorio está dentro de la zona de alto riesgo. (p. 65)

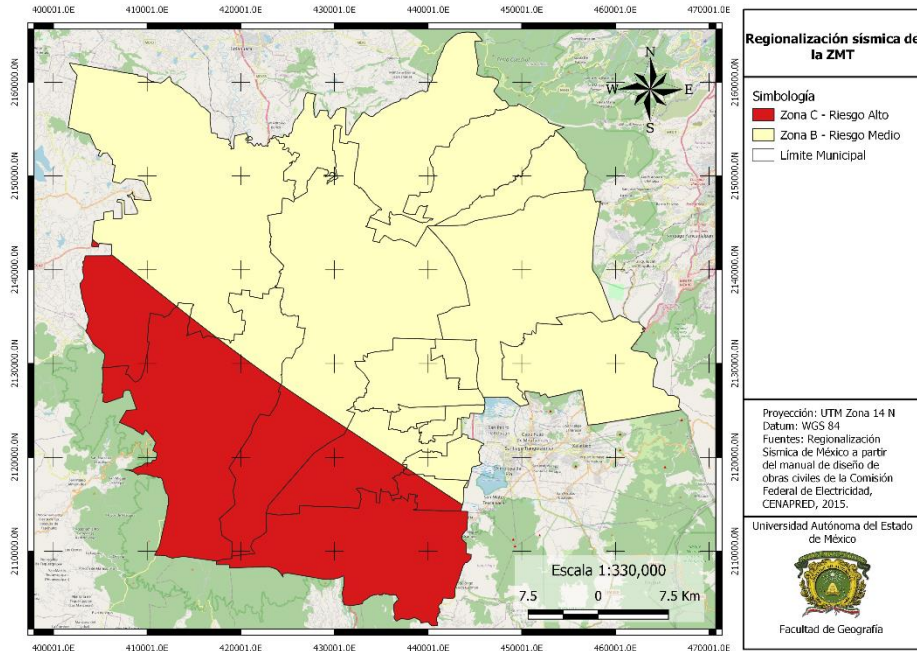


Figura 21 Regionalización sísmica de la ZMT. Elaboración propia.

El Valle de México sufre de una alta vulnerabilidad sísmica sobre las planicies aluviales en donde las ondas telúricas se magnifican. Tan solo se estima que ocho millones de habitantes viven en la zona sísmica III.

El Plan de Ordenamiento de la Zona Metropolitana del Valle de México (POZMVM) indica que se ven afectados los edificios de 2 o menos niveles de manera recurrente; para el caso de edificios de 6 pisos o más están localizados en la trinchera de Acapulco existen una cantidad importante de afectaciones, además de la presencia de sismos de gran magnitud con una frecuencia promedio de 30 años. (EDOMÉX, 2019b)

Es importante establecer usos de suelo menos riesgosos en zonas de alta intensidad sísmica. El Estado de México cuenta con un Programa de Protección Civil para sismos; el objetivo principal es dar prioridad a las acciones de prevención, para contribuir a disminuir y/o mitigar el impacto destructivo y violento de los sismos sobre la población. (EDOMÉX, 2019a)

Tabla 6 Información general: posibles consecuencias derivadas de sismos. (EDOMÉX, 2019a)

<p>Accidentes vehiculares</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lesiones graves y hasta la pérdida de la vida. • Pérdida de bienes. • Retraso en el tránsito de personas y transporte de bienes y servicios. • Destrucción o daño a las vías de comunicación. • Encadenamiento con otros agentes perturbadores: incendios, explosiones, derrames y fugas de sustancias peligrosas. • Daños y contaminación al medio ambiente. • Caos social. 	<p>Interrupción o desperfectos en la operación de los servicios vitales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Esto repercute en la paralización de la industria, comercio y los servicios; así mismo, el entorpecimiento de las actividades cotidianas de la población, las que, si se prolongan hasta límites intolerables, aparecería un estado caótico, por lo que se perdería la paz y la armonía social. Cuando las ciudades son impactadas por el efecto destructivo de terremotos, provocan daños al suministro de energía eléctrica, telecomunicaciones, abasto de productos básicos, agua potable, alcantarillado, entre otros.
<p>Inundaciones</p> <p>Los sismos o terremotos pueden ser la causa de riesgos para la población, infraestructura y medio ambiente, sobre todo cuando existen lagunas, lagos, ríos, etcétera, cerca de los asentamientos y poblaciones. Estos peligros pueden afectar la cimentación y la estructura de las presas, lagunas y obras hidráulicas, lo que genera filtraciones en el vaso y la cortina, reduciendo su capacidad de almacenamiento y en consecuencia se puede originar el derrumbe de las mismas.</p> <p>Por lo que puede generarse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la vida y lesiones graves. • Pérdida de bienes materiales y bienes inmuebles. • Interrupción de los servicios vitales: agua potable, corriente eléctrica, drenaje, etcétera. • Daños a las vías de comunicación. • Problemas viales. • Contaminación por sustancias peligrosas. • Pérdida de documentos personales. 	<p>Deslizamiento de suelos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la vida. • Pérdida de los bienes inmuebles. • Puede arrastrar vehículos, casas rodantes, carpas, rodar enormes piedras, tirar árboles, puentes, destruir carreteras y puentes viales. • Interrupción de los servicios vitales.
<p>Caída de objetos, derrumbes de edificaciones, bardas y cables de corriente de energía eléctrica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la vida. 	<p>Los accidentes son causados por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Derrumbes parciales de edificios, tales como caída de ladrillos de fachadas y cornisas de edificios, derrumbes de

<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones físicas. • Interrupción de vías de comunicación. • Quemaduras. • Daños materiales. • Problemas de tipo psicológico y afectación Social. 	<p>paredes, caída de revoques de cielos rasos, artefactos luminosos (postes y farolas), cuadros.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caída de vidrios y ventanas. Esto puede ser más peligroso cuando se trata de ventanas en estructuras elevadas. • Caída de estantes de bibliotecas, muebles y otros artefactos adosados a las paredes. • Incendios originados por chimeneas rotas, cañerías de gas dañadas y causas similares. Este peligro puede agravarse por la falta de agua debido a roturas en las cañerías públicas. • Caída de cables de energía eléctrica. • Actos humanos extremos provocados por el pánico.
<p>Incendios, explosiones y fugas de sustancias peligrosas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la vida. • Lesiones físicas. • Quemaduras. • Daños materiales. • Interrupción de las vías de comunicación. • Daños al medio ambiente. • Daños materiales. • Daños encadenados. 	<p>Personas sin control y corriendo hacia la calle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la vida. • Lesiones graves. • Atropellados por vehículos. • Caídas de personas desde las partes altas de edificaciones. • Caídas de personas en las escaleras. • Personas atrapadas en los elevadores de los edificios. • Personas quemadas por cables sueltos de energía eléctrica. • Confusión social.

2.4.1.3.7.1 Leyes, normas y reglamentos relacionados

El CEV (2017) en su PARTE 4 “ASPECTOS ESTRUCTURALES”, CAPÍTULO 12 – ANÁLISIS ESTRUCTURAL, en su sección 1203 Diseño por sismo estipula lo siguiente:

“Para determinar las fuerzas estáticas equivalentes, debidas a eventos sísmicos, se debe tomar como base lo señalado en esta sección y, además, consultar el Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo 2015, de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), para estructuras del Tipo B2 (estructuras destinadas a vivienda), estructuras que se ajustan al Tipo 1 de acuerdo con la clasificación según su estructuración (estructuras de edificios donde las fuerzas laterales se resisten en cada nivel por marcos contiguos contra ventados o no, por diafragmas rígidos o muros o combinación de éstos), y que no requieren de la especificación del terreno para la obtención de un espectro de aceleración constante, mismo que se ajusta al Capítulo 3.1.6.3 de dicho manual. Para fines de diseño sísmico se debe considerar la zona sísmica correspondiente indicada en la Figura 1203.1 ...” (p. 145)

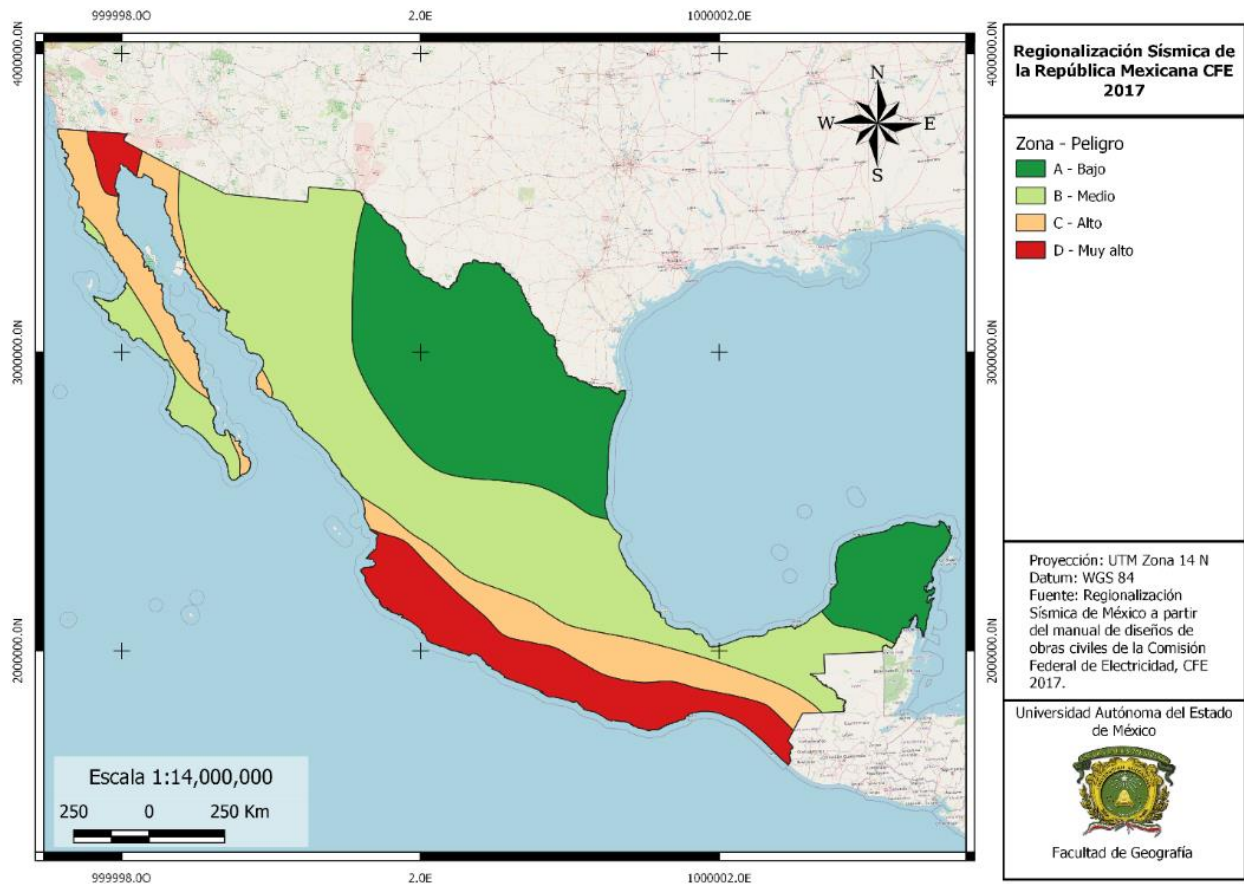


Figura 22 Regionalización sísmica de la República Mexicana basado en la Regionalización Sísmica de la República Mexicana de CFE (CFE, 2017).

Para determinar la zona sísmica basado en el valor de la aceleración máxima en roca, a_0^r , se genera la tabla siguiente de acuerdo este criterio:

Tabla 7 Regionalización sísmica de la República Mexicana (CFE, 2017, tabla 1.3, pág. 25)

Aceleración máxima en roca, a_0^r (cm/s ²), correspondiente al nivel de referencia ER	Zona	Intensidad sísmica
$a_0^r \geq 200$	D	Muy Alta
$100 \leq a_0^r < 200$	C	Alta
$50 \leq a_0^r < 100$	B	Moderada
$a_0^r < 50$	A	Baja

Por su parte la CFE crea el Manual de Diseño de Obras Civiles, Sección C: Estructuras, Tema 1: Criterios Generales de Análisis y Diseño, Capítulo C.13 Diseño por Sismo (CFE, 2017) tiene como objetivo:

1. Reducir la pérdida de vidas humanas y afectación a la población por la ocurrencia de sismos severos, así como evitar las interrupciones de los procesos de operación de las instalaciones del sector energético e industrial.
2. Establecer los niveles de intensidad sísmica y seguridad estructural para la República Mexicana.
3. Fijar los requisitos mínimos para el diseño sísmico de estructuras y obras civiles para que sean capaces de resistir:
 - a. Sismos de poca intensidad sin daño,
 - b. Sismos moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño a los elementos no estructurales y
 - c. Un sismo fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales, sin llegar al colapso. (p. 10)

2.4.2 Condicionantes antropogénicas

Mientras mayor proximidad exista a estos elementos es mayor la aptitud territorial urbana. Mientras que la presencia de líneas de conducción y vías de comunicación favorece la aptitud.

Las siguientes condicionantes antropogénicas se deben considerar en la evaluación territorial:

- Líneas de conducción – transmisión
- Vías de comunicación
- Proximidad a:
 - Área urbana actual, definida por las manzanas urbanas consolidadas
 - Carreteras

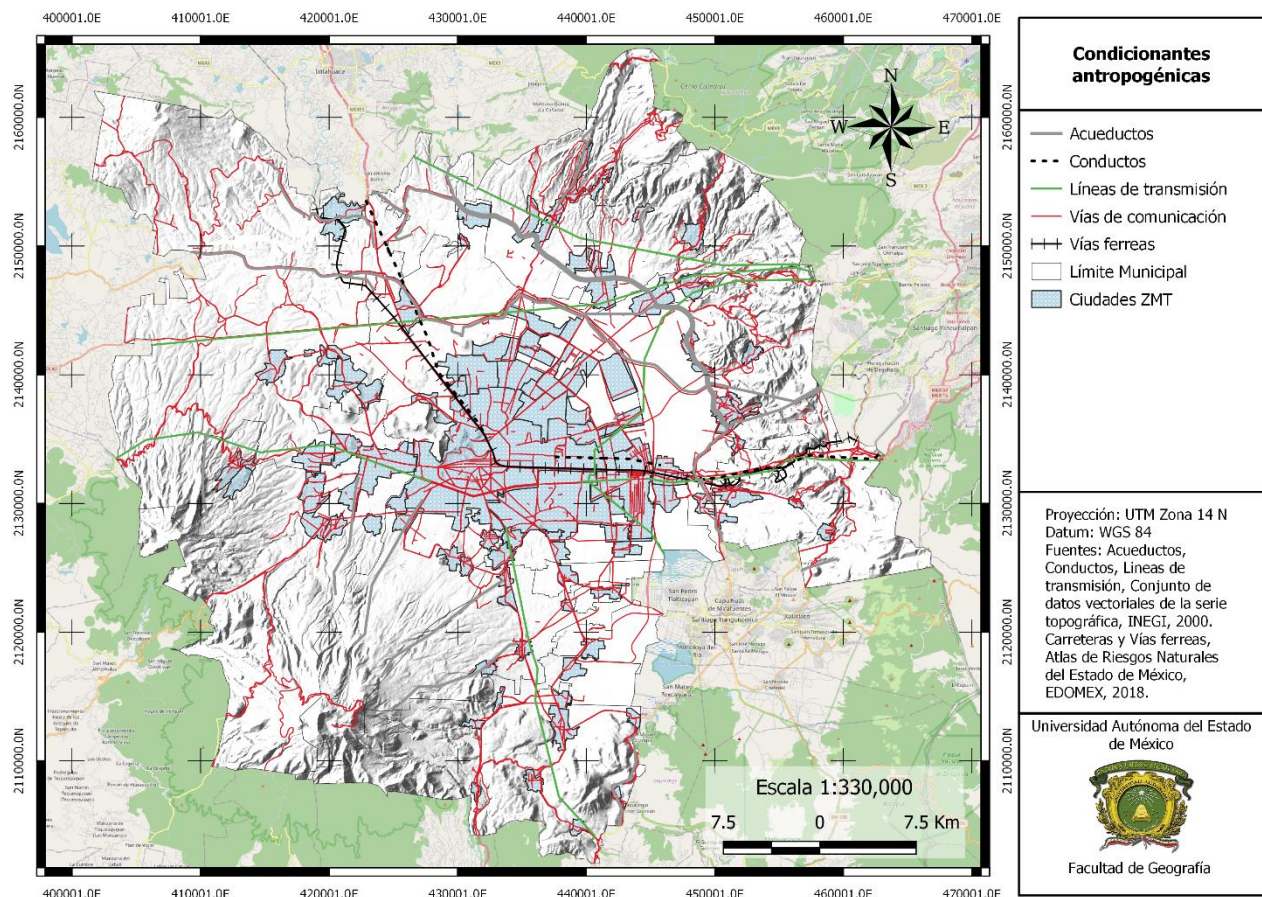


Figura 23 Condiciones antropogénicas de la ZMT. Elaboración propia.

La infraestructura localizada a las cercanías de las zonas urbanas permite el crecimiento progresivo de la misma, aunque se debe considerar la afectación y riesgos que representan, tal es el caso de los accidentes viales, volcaduras de trenes, ruptura de acueductos y conductos de gas que suelen incrementar la vulnerabilidad de los habitantes.

2.4.2.1 Leyes, normas y reglamentos relacionados.

El CEV (2017) estipula en la PARTE 2 “PLANEACIÓN Y DISEÑO URBANO” CAPÍTULO 4 – DESARROLLO URBANO, CONJUNTOS HABITACIONALES, ESTRUCTURA URBANA, LOTIFICACIÓN Y DONACIONES, sección 402.8. Infraestructura riesgosa. Ámbito urbano lo siguiente:

“Dentro del ámbito urbano deben evitarse sitios ubicados: ... c. Dentro del derecho de vías de ductos o tuberías que conduzcan materiales peligrosos, así como de caminos,

vías de ferrocarril y cuerpos superficiales de agua, por donde se transporten materiales peligrosos ...” (p. 66)

El mismo código en su sección 402.13. Factibilidades y restricciones estipula:

“Previamente a la aprobación el proyecto y ejecución de obra, todo conjunto habitacional debe contar con la aprobación de la autoridad competente en materia de: ... b. Restricciones, dimensión de cruce de derecho de vías de líneas de alta tensión, ductos de combustibles, fibra óptica, vías de ferrocarril y otros similares ...” (pp. 66,67)

En su CAPÍTULO 7 – VIALIDAD Y ESTACIONAMIENTOS, sección 701.2 Estructura jerárquica estipula:

“Las vialidades deben clasificarse en orden jerárquico y deben diseñarse de acuerdo con su función, ver Figura 701.2. Las disposiciones de esta sección son aplicables para conjuntos habitacionales y no deben relacionarse con la clasificación establecida por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes. La estructura jerárquica vial de los conjuntos habitacionales se debe realizar de acuerdo a lo siguiente: [...] 1. Vialidad nivel 1 (primaria): [...] Separación máxima de 1.2 km entre vialidades primarias, cuando menos dos carriles de circulación por sentido, el carril derecho de mínimo 3.50 m de ancho y el carril izquierdo de mínimo 3.25 m de ancho. Ambos carriles deben estar libres de maniobras y de espacios de estacionamiento, camellón central de cuando menos 3.50 m de ancho, banqueta mínima de 3.00 m considerando la guarnición ...” (p.91)

La LEY DE CAMINOS, PUENTES Y AUTOTRANSPORTE FEDERAL (CAPUFE, 2018) DOF 25-06-2018 publicado en el Diario Oficial de la Federación del 22 de diciembre de 1993 en su CAPITULO I DEL AMBITO DE APLICACIÓN DE LA LEY, Artículo 2º. Para los efectos de esta Ley, se entenderá por:

“ ... III. Derecho de vía: Franja de terreno que se requiere para la construcción, conservación, aplicación, protección y en general para el uso adecuado de una vía general de comunicación, cuya anchura y dimensiones fija la secretaria, la cual no podrá ser inferior a 20 metros a cada lado del eje del camino. Tratándose de carreteras de dos cuerpos, se permitirá a partir del eje de cada uno de ellos; ...” (pp. 40,41)

Por su parte la NMX-AA-164-SCFI-2013 (2013) estipula en su sección 5.2.1.2. Las edificaciones sustentables no deben ser ubicadas en:

“... En Zonas Federales ([...] derecho de vía pública y de FFCC, líneas de transmisión de energía y de líneas de conducción de hidrocarburos) ...”. (p.23)

La Secretaria de Comunicaciones y transportes (SCT, 1997) en su “MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL DERECHO DE VÍA EN CAMINOS Y PUENTES DE CUOTA” en su sección 5. REQUISITOS PARTICULARES apartado 5.2. Instalaciones marginales y cruzamientos de redes de telecomunicación, de líneas de transmisión eléctrica, de conductores de productos del petróleo, agua potable, etc., define lo siguiente:

“DEFINICIONES. Instalación Marginal: Obra para la instalación o tendido de ductos, cableados y similares que se construyen a 2.5 m dentro del límite del derecho de vía de una carretera, que podrá removerse por la Secretaría cuando las necesidades del servicio lo requieran. (Fracc. V. Art. 2 del Reglamento para el Aprovechamiento del Derecho de Vía de las Carreteras Federales y Zonas Aledañas)”. (p. 27)

EL REGLAMENTO DEL SERVICIO FERROVIARIO DOF 15-12-2011 (SCT, 2011) publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de enero de 2000, DE LA VÍA GENERAL DE COMUNICACIÓN FERROVIARIA, CAPÍTULO I, DISPOSICIONES GENERALES, ARTÍCULO 29 estipula lo siguiente:

“[...] deberá comprender una franja de terreno de por lo menos quince metros de cada lado de la vía férrea, medidos a partir del eje horizontal de la misma. Únicamente en casos debidamente justificados, se podrá autorizar que sean menos de quince metros ...”. (p. 7)

Considerando los reglamentos, leyes y propuestas anteriores, se recomiendan las siguientes distancias por cada condicionante antropogénica mencionada:

- Acueductos y conductos, se encuentran a 2.5 m dentro del límite de derecho de vía de las carreteras y caminos ya establecidos.

- Líneas de transmisión, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en su ESPECIFICACIÓN CFE J1000-50 “TORRES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y SUBTRANSMISIÓN DE 69 KV Y MAYORES” (CFE, 2019) cuenta con un conjunto de especificaciones adaptables como: áreas urbanas, suburbanas, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas, adaptándose al tamaño de las casas y viviendas de la zona. Se sugiere revisar el apartado A2.3 Factor de Exposición ($F\alpha$) TABLA A2 – Categoría del terreno según su rugosidad, para la construcción en zonas urbanas.
- Vías de comunicación, la distancia total del ancho por vialidad considerando 3.50 m de ancho de carril derecho, 3.25 m de ancho en carril izquierdo, camellón central de 3.50 m y 6m de banqueta mínima por ambas direcciones, se obtiene un total de 16.25m de ancho como mínimo en vialidades de tipo 1, considerando la recomendación de la Ley de caminos, puentes y autotransporte federal, se considera una distancia mínima de 20 m para al análisis posterior de zonas optimas de desarrollo urbano.
- Vías férreas con una distancia de 15 m por lado.

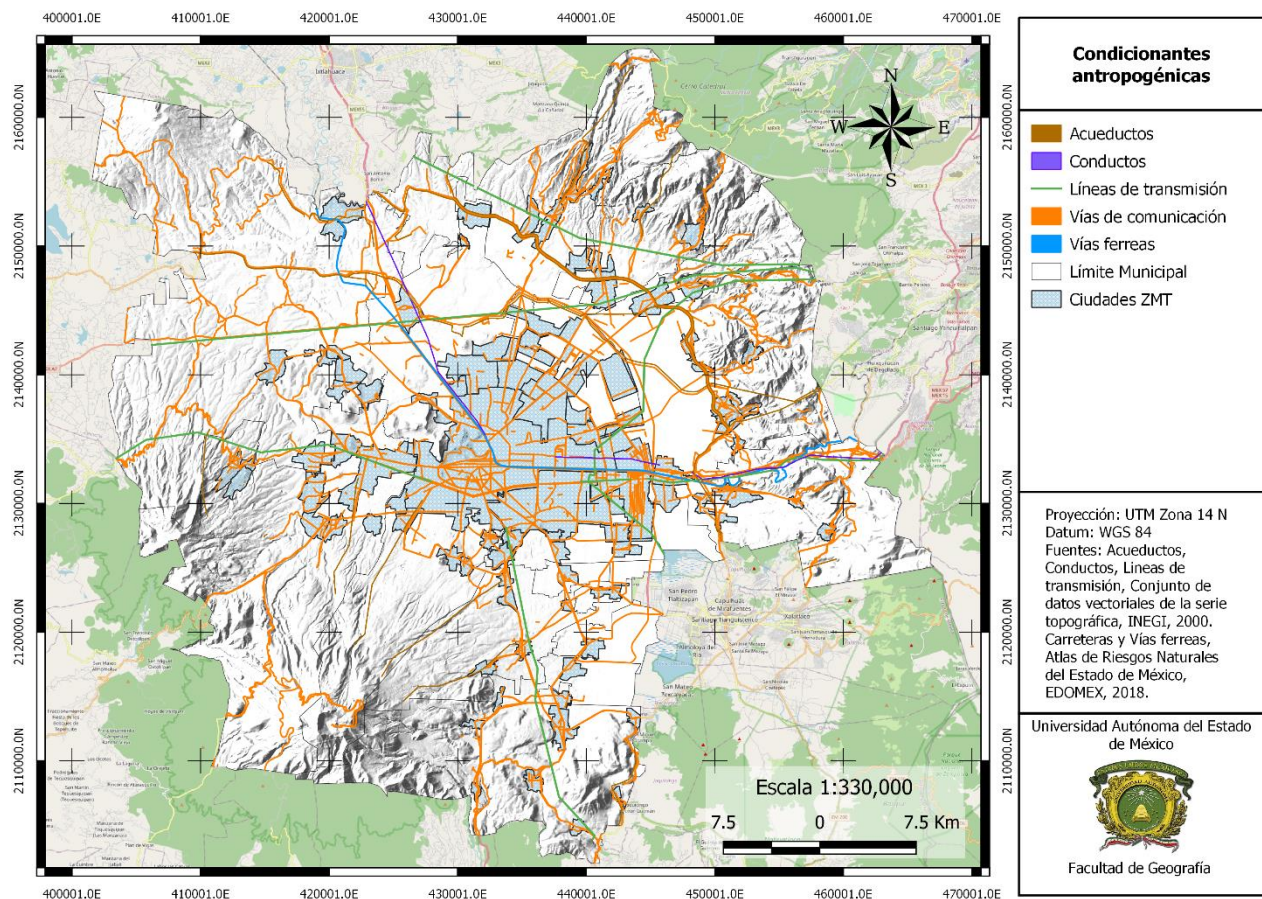


Figura 24 Condiciones antropogénicas con distancias recomendadas. Elaboración propia.

2.4.3 Factibilidad de disponer agua del subsuelo

Los mayores volúmenes de agua en las zonas metropolitanas provienen de la captación de agua de lluvia de forma superficial. Para este componente de aptitud territorial solo se considera la variable de obtención de agua del subsuelo por parte de los particulares en el desarrollo de proyectos de inversión, debido a que el incremento de caudales de las aguas superficiales requiere de una intervención de política pública desde los ámbitos federal y estatal.(EDOMÉX, 2019b)

2.4.4 Condiciones naturales

Las actividades que se llevan a cabo en las ciudades requieren de procesos de urbanización y edificación. La ingeniería puede hacer posible la construcción en casi cualquier tipo de terreno. Sin embargo, los costos de urbanización y edificación suelen variar en función del tipo de suelo, roca o de las pendientes topográficas. A su vez, estos

costos determinan la viabilidad de un proyecto de inversión. Por ello, la aptitud territorial para el desarrollo urbano se evalúa en función de la vocación económica del suelo.(EDOMÉX, 2019b)

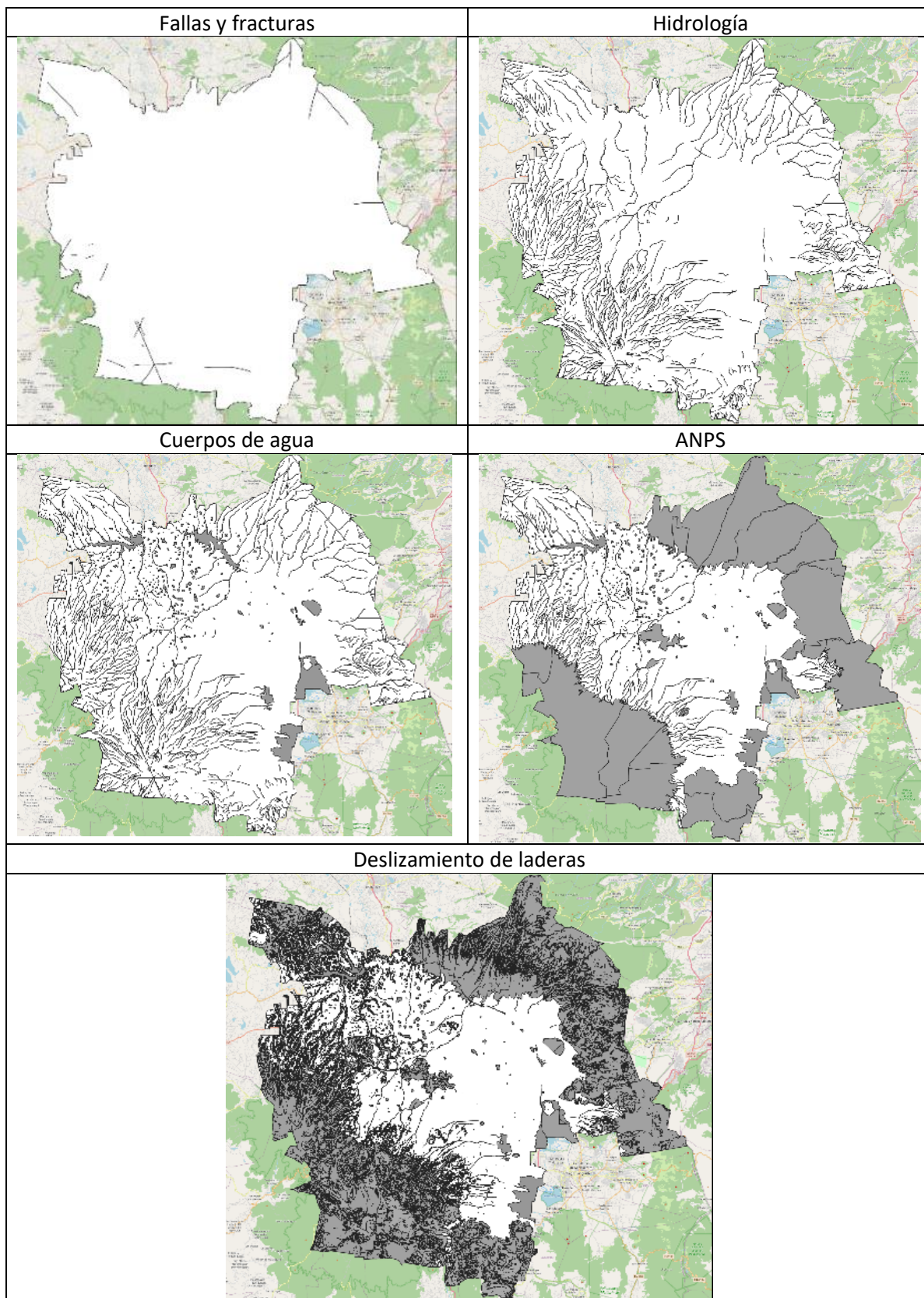
2.5 Modificación de las variables

Con el objetivo de obtener sitios potenciales para desarrollos urbanos que utilicen mecanismos aisladores sísmicos y/o mecanismos sismo-resistentes se evalúan las diferentes condicionantes físicas y antropogénicas evaluando las medidas de mitigación y prevención de riesgos planteados anteriormente.

Por medio de una operación de diferencia de capas se obtienen las áreas consideradas no aptas para el desarrollo urbano de acuerdo a las siguientes características:

- Una distancia mínima de 10 metros desde los márgenes de los cuerpos de agua de acuerdo a la sección 402.6.2 Hidrología del CEV(2017) así como el artículo 3 de la LAN (2016).
- Las ANPs de cualquier categoría de acuerdo a la NMX-AA-164-SCFI-2013 (2013) y la LGEEPA (2018).
- Las que tengan peligro alto y muy alto de deslizamientos de ladera e inestabilidad de laderas de acuerdo a la sección 402.6.1 Topografía del CEV.
- Lugares que presenten fallas geológicas o activas de acuerdo a la sección 402.6.3 Vulnerabilidad geológica, así como la NMX-AA-164-SCFI-2013 sección 5.2.1.2.

2.5.1 Extracción de capas



Posteriormente se realiza la extracción de la capa resultante para obtener las zonas aptas para el desarrollo urbano en la ZMT.

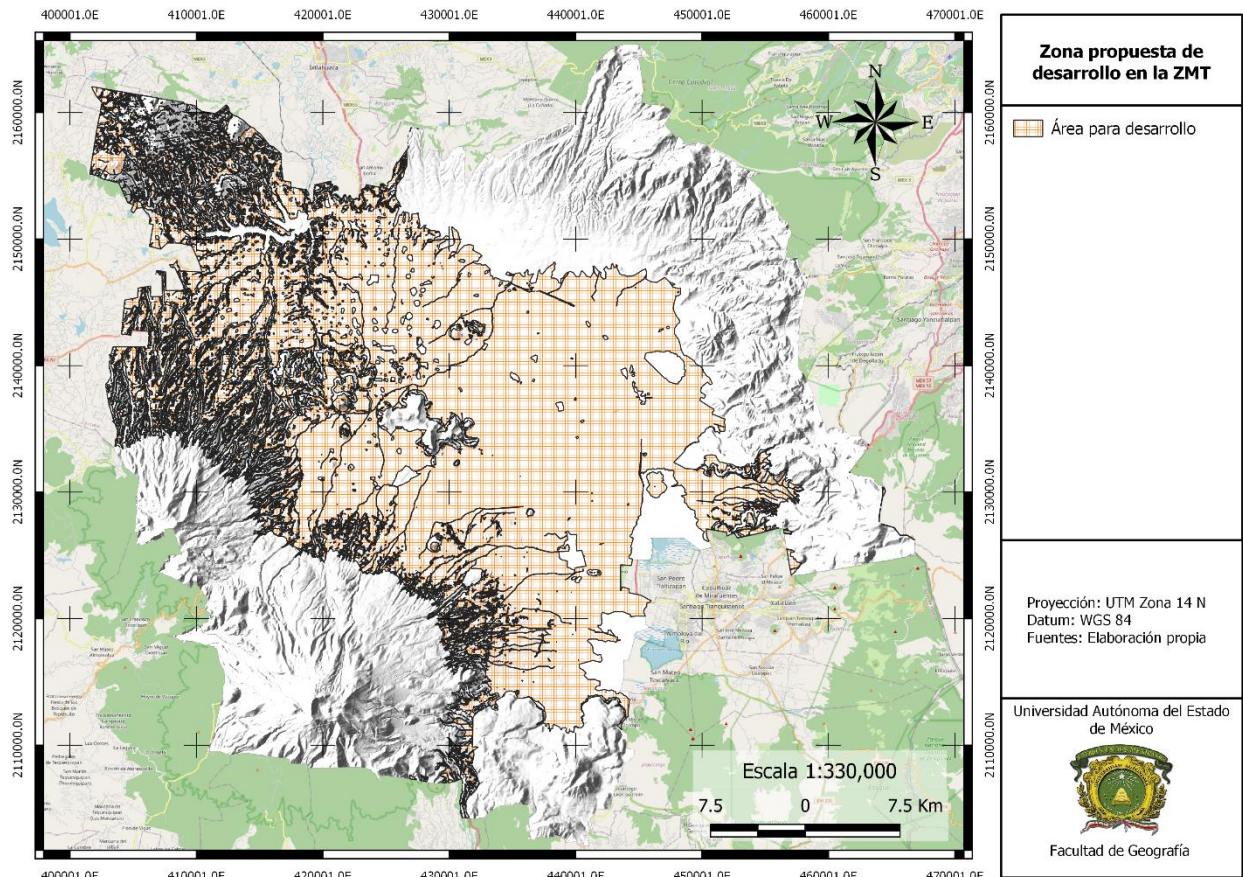


Figura 25 Área propuesta para desarrollo urbano. *Elaboración propia.*

La obtención de una zona potencial para desarrollo urbano, evaluando las recomendaciones del PEDUEM (2019), el CEV (2017), la NMX-AA-164-SCFI-2013 (2013), LAN (2016) y la LGEEPA (2018), delimitan aquellas zonas de interés que aun pueden ser consideradas de riesgo ante eventos sísmicos.

Las condicionantes físicas serán utilizadas para la Superposición Ponderada de Capas considerando los siguientes factores:

- Zonas aptas para desarrollo urbano
 - Zonas potenciales después de la identificación de zonas no aptas para el desarrollo urbano de acuerdo al PEDUEM (2019).
 - Se obtiene una capa ráster con las zonas potenciales para desarrollo urbano al que se le asigna el valor entero = 1 al reclasificar la capa.

- Zonas aptas para desarrollo urbano de acuerdo al PEDUEM (2019):
 - Proximidad a infraestructura urbana: acueductos, ductos y líneas de transmisión. líneas férreas y vías de comunicación.
 - Proximidad a vías de comunicación.
 - La proximidad a las áreas urbanas indica una mayor aptitud territorial; se consideran distancias de 1km, 3km y 5km a las áreas urbanas consolidadas de la ZMT.

- Se obtienen las capas de infraestructura, vías de comunicación y áreas urbanas ponderadas de la forma siguiente:

Distancia en km desde los márgenes de áreas urbanas consolidadas en la ZMT	Ponderación (valores enteros)
0 - 1	1
1 - 3	2
3 - 5	3

- Evitar zonas potenciales de inundación.
 - Se obtiene una capa ráster a la que se le asigna el valor entero = 1 al reclasificar la capa.
- Zonas aptas para la aplicación de sistemas sismorresistentes y/o aislamiento sísmico:

- Regionalización sísmica de acuerdo al Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE (2017).

- Se obtiene una capa ráster con la siguiente ponderación:

Zona	Ponderación (valores enteros)
B – Peligro Medio	2 (zona de menos interés)
C – Peligro Alto	1 (zona con mayor interés)

- Pendientes menores a 16° de inclinación.

- Se obtiene una capa ráster con la siguiente ponderación:

Rango de pendientes	Ponderación (valores enteros)
0° - 2°	1
2° - 4°	2
4° - 8°	3
8° - 16°	4
16° - 32°	5
32° - 45°	6
> 45°	7

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

Dadas las diferentes combinaciones de las variables al realizar la Superposición Ponderada en los 3 escenarios planteados anteriormente, se considera la siguiente clasificación para cada capa ráster obtenida:

Potencial de Aplicación	Características físicas y socioeconómicas
Muy Alto	<ul style="list-style-type: none"> Las condiciones se consideran altamente favorables para la aplicación de aisladores sísmicos y/o estructuras sismo-resistentes. La cercanía a infraestructura, vías de comunicación y áreas urbanas se consideran óptimas.
Alto	<ul style="list-style-type: none"> Las condiciones se consideran favorables para la aplicación de aisladores sísmicos y/o estructuras sismo-resistentes. La cercanía a infraestructura, vías de comunicación y áreas urbanas se consideran aceptables.
Medio	<ul style="list-style-type: none"> Las condiciones se consideran medianamente favorables para la aplicación de aisladores sísmicos y/o estructuras sismo-resistentes. Zonas donde las capas ráster demuestran un incremento en valores de capa donde sea necesario evaluar la cercanía de las áreas urbanas a la infraestructura disponible.
Bajo	<ul style="list-style-type: none"> Las condiciones se consideran poco favorables para la aplicación de aisladores sísmicos y/o estructuras sismo-resistentes. Zonas donde las capas ráster incrementan su valor por factores como distancia a infraestructura disponible y vías de comunicación a las áreas urbanas consolidadas. Se sugiere una evaluación posterior de estas zonas para la integración de desarrollos urbanos ya que presentan factores poco favorables para la planeación territorial.
Muy Bajo	<ul style="list-style-type: none"> Las condiciones se consideran desfavorables para la aplicación de aisladores sísmicos y/o estructuras sismo-resistentes. Zonas donde las capas ráster intersecan en valores máximos en factores como inundaciones, distancia de infraestructura, vías de comunicación y áreas urbanas. Se sugiere considerar estas zonas como no aptas para construcción ya que presentan factores de riesgo importantes como zonas inundables

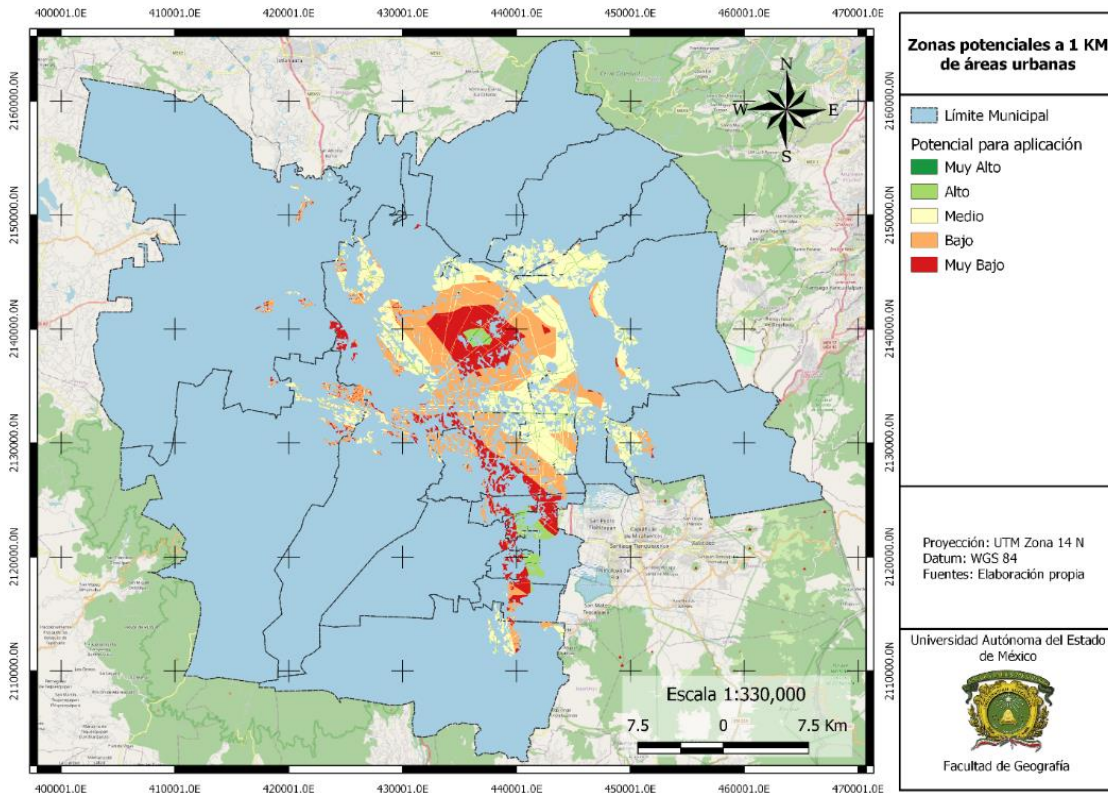


Figura 26 Escenario 1: Zonas potenciales a 1 KM de las áreas urbanas consolidadas.

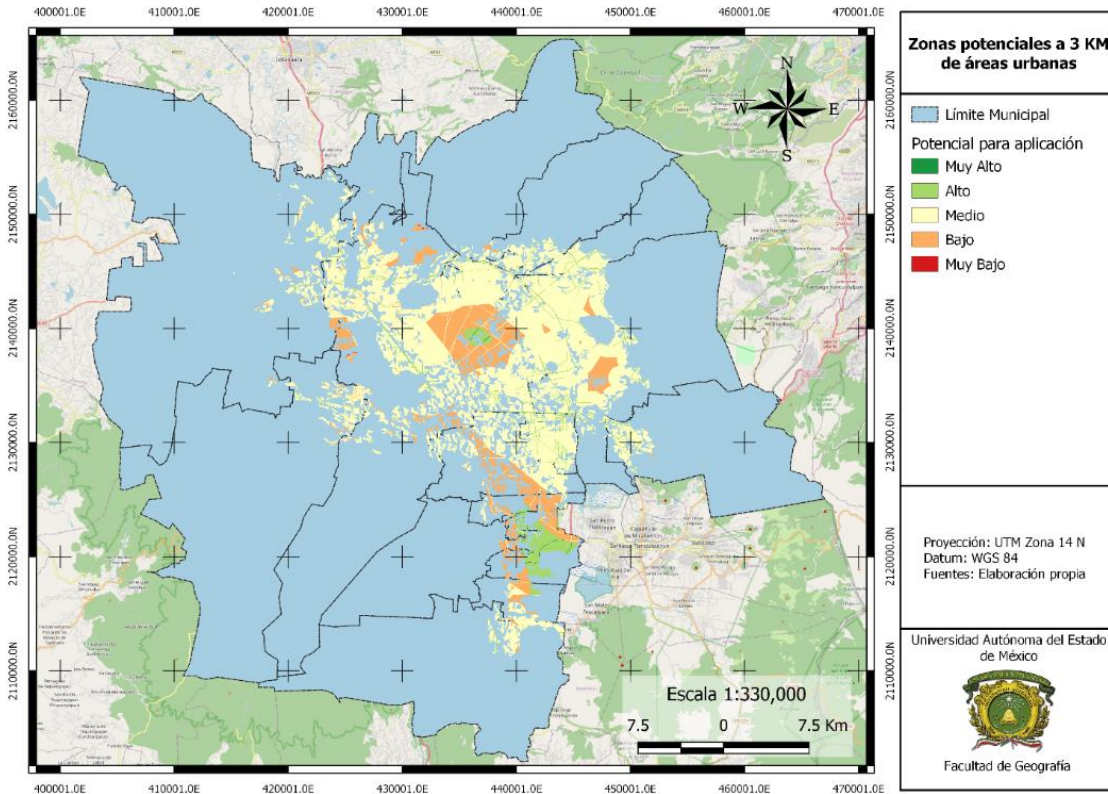


Figura 27 Escenario 2: Zonas potenciales a 3 KM de las áreas urbanas consolidadas.

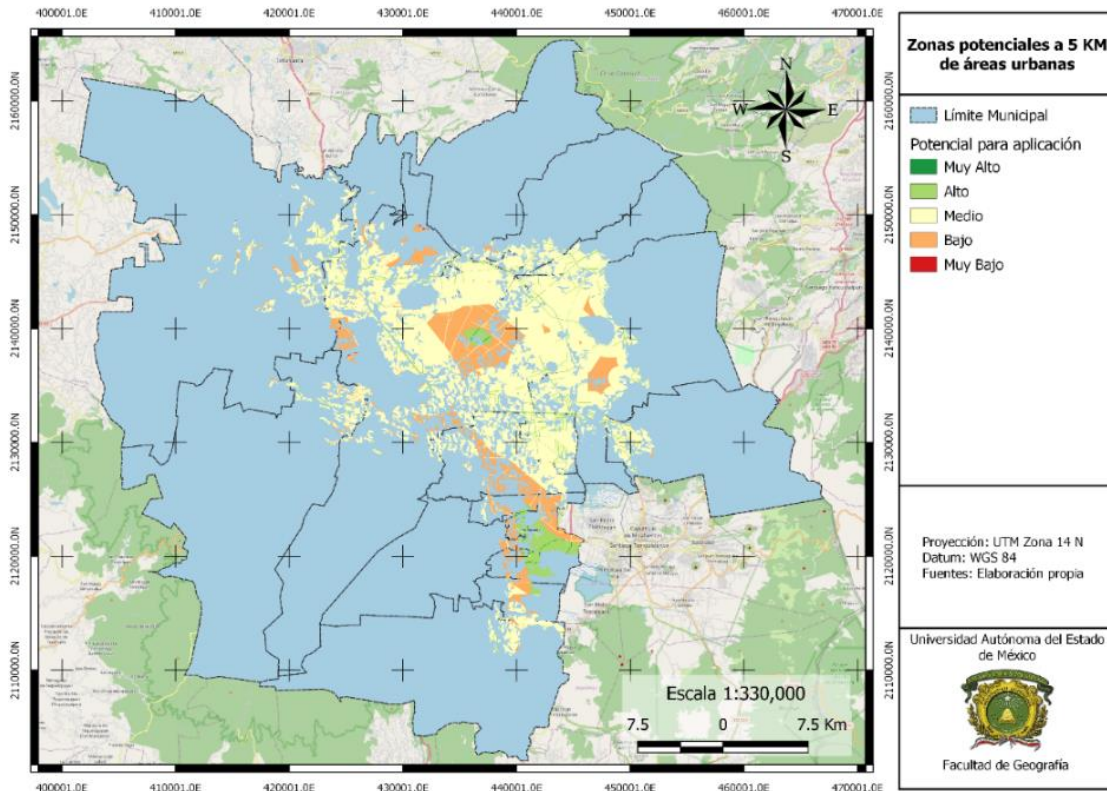


Figura 28 Escenario 3: Zonas potenciales a 5 KM de las áreas urbanas consolidadas.

La obtención de las cinco clasificaciones para la aplicación de mecanismos de amortiguamiento y estructuras sismo-resistentes se ven limitadas a una pequeña región de la ZMT, por lo que se realiza una reclasificación de las áreas potenciales descrito de en la siguiente tabla:

Consideraciones	Potencial obtenido	Reclasificación
<ul style="list-style-type: none"> Los valores obtenidos en la clasificación de potencial Muy Alto, Alto y Medio serán agrupados en la clasificación denominada "Alto". La capa asignada para la evaluación de potencial de inundación debe ser reconsiderada en aquellas áreas donde exista la infraestructura hidráulica apropiada para mitigar tales riesgos. 	Muy Alto	Alto
	Alto	
	Medio	
<ul style="list-style-type: none"> Los valores obtenidos en las clasificaciones Bajo y Muy Bajo serán agrupados en la clasificación denominada "Bajo" 	Bajo	Bajo
	Muy Bajo	

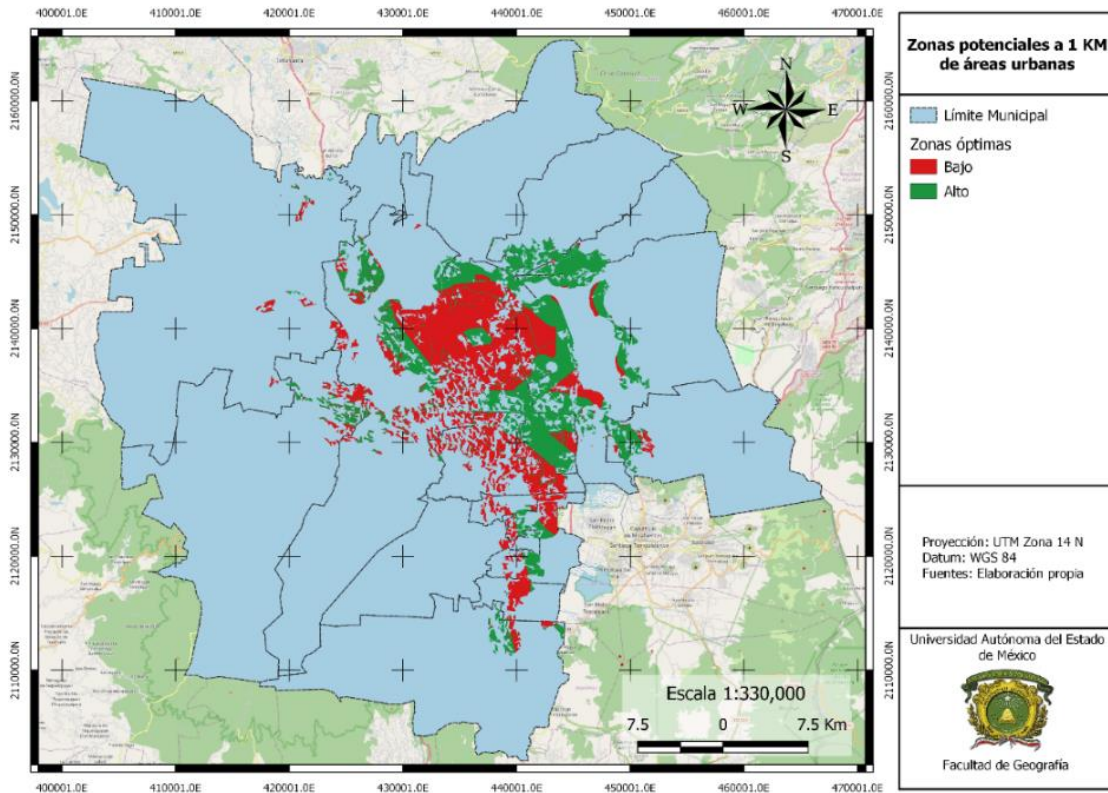


Figura 29 Escenario 1: Capa reclasificada a 1 Km de las áreas urbanas.

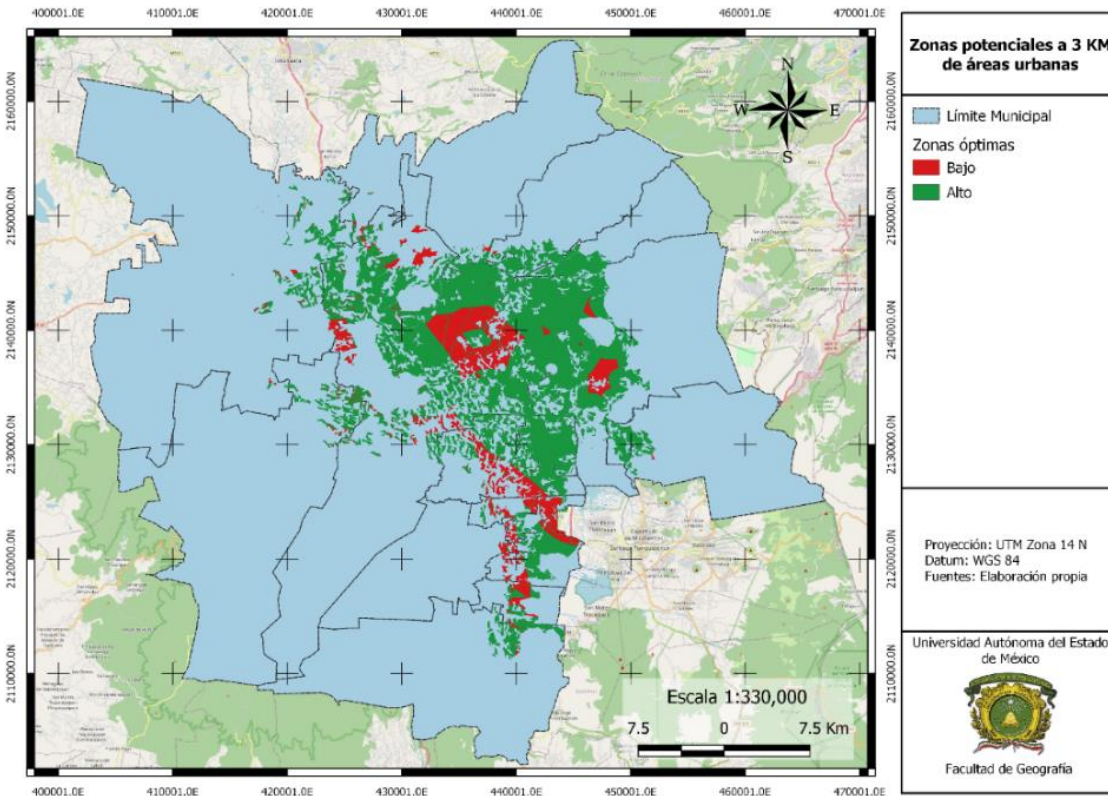


Figura 30 Escenario 2: Capa reclasificada a 3 Km de las áreas urbanas

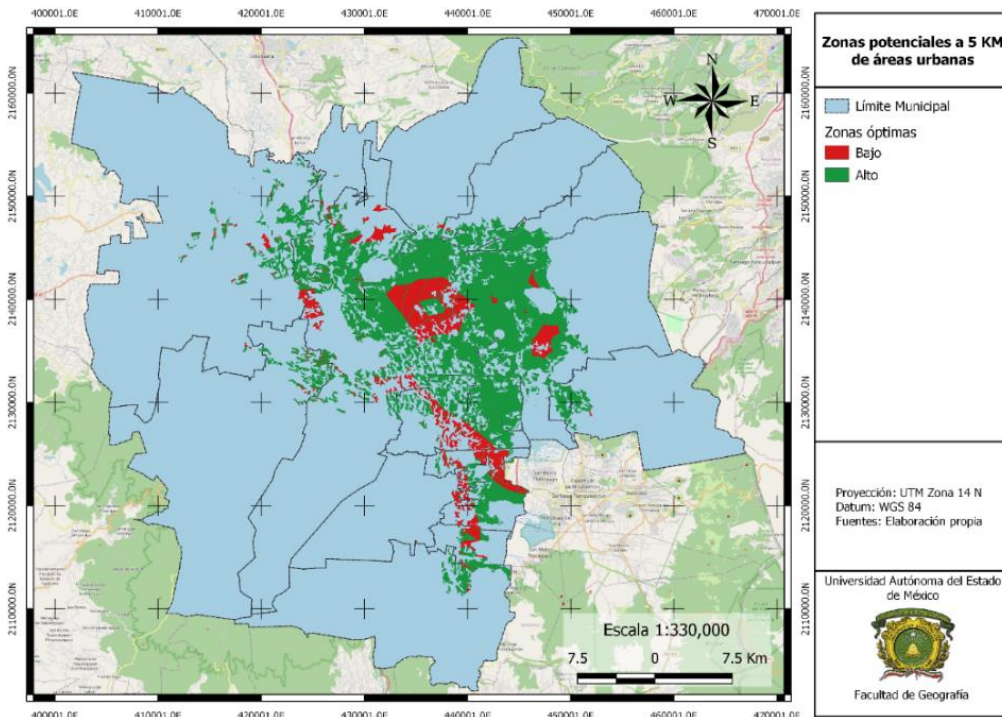


Figura 31 Escenario 3: Capa reclasificada a 5 Km de las áreas urbanas

Analizando el caso 1, el mapa muestra a los municipios de Chapultepec, Lerma, Oztolotepec, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Toluca y Xonacatlán como áreas de oportunidad para la implementación de aislamiento sísmico.

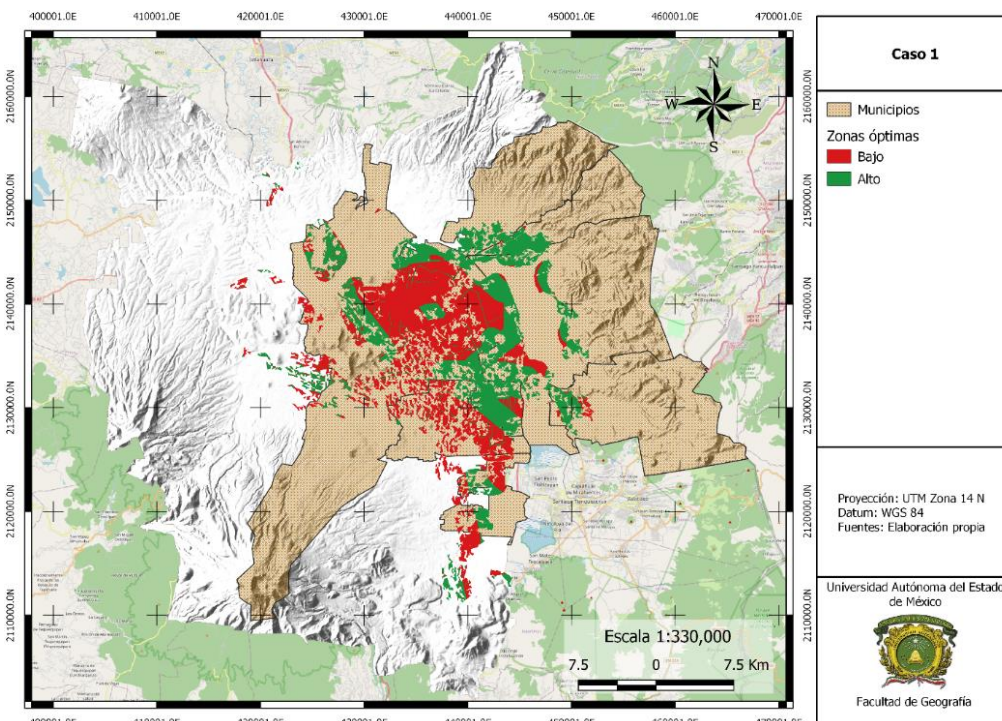


Figura 32 Municipios y zonas urbanas con aptitud para aislamiento sísmico a una distancia de 1 km.

Por su parte al analizar el caso 2 la expansión del área considerada contempla la integración de municipios como: Metepec, Rayón y Tenango del Valle. Algunas zonas de Almoloya, Temoaya, Ocoyoacac y Zinacantepec.

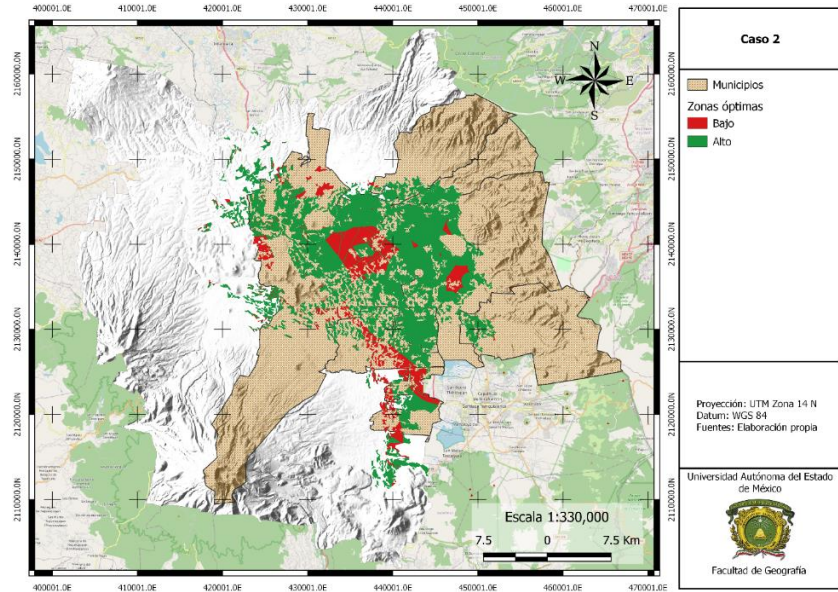


Figura 33 Municipios y zonas urbanas con aptitud para aislamiento sísmico a una distancia de 3 km.

En el caso 3 los municipios de Calimaya y Temoaya tienen una ligera presencia, aunque es posible excluirlos por sus características físicas y antropogénicas que se evaluaron en un inicio.

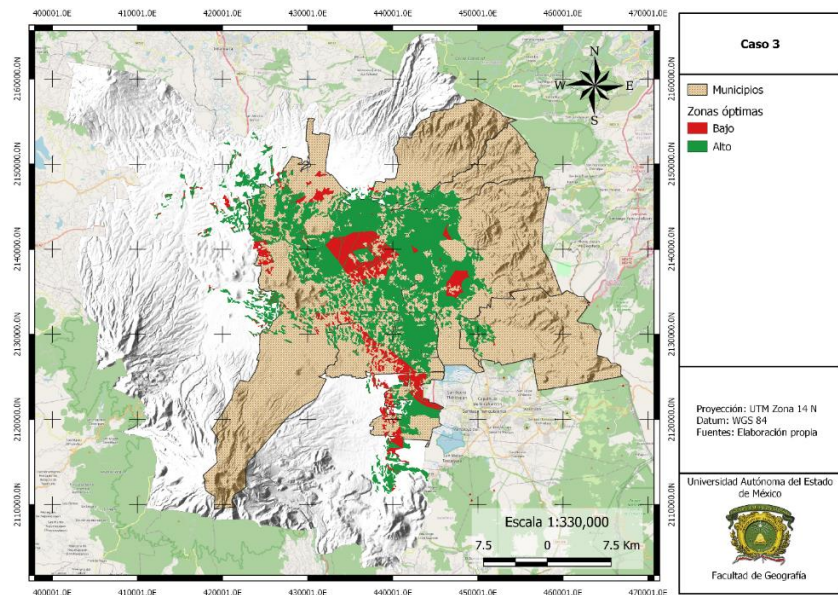


Figura 34 Municipios y zonas urbanas con aptitud para aislamiento sísmico a una distancia de 5 km.

Las diferentes combinaciones de factores para la determinación de las zonas potenciales antes mencionadas deben ser comparadas con la realidad urbana en cada municipio de acuerdo a los planes de desarrollo urbano locales.

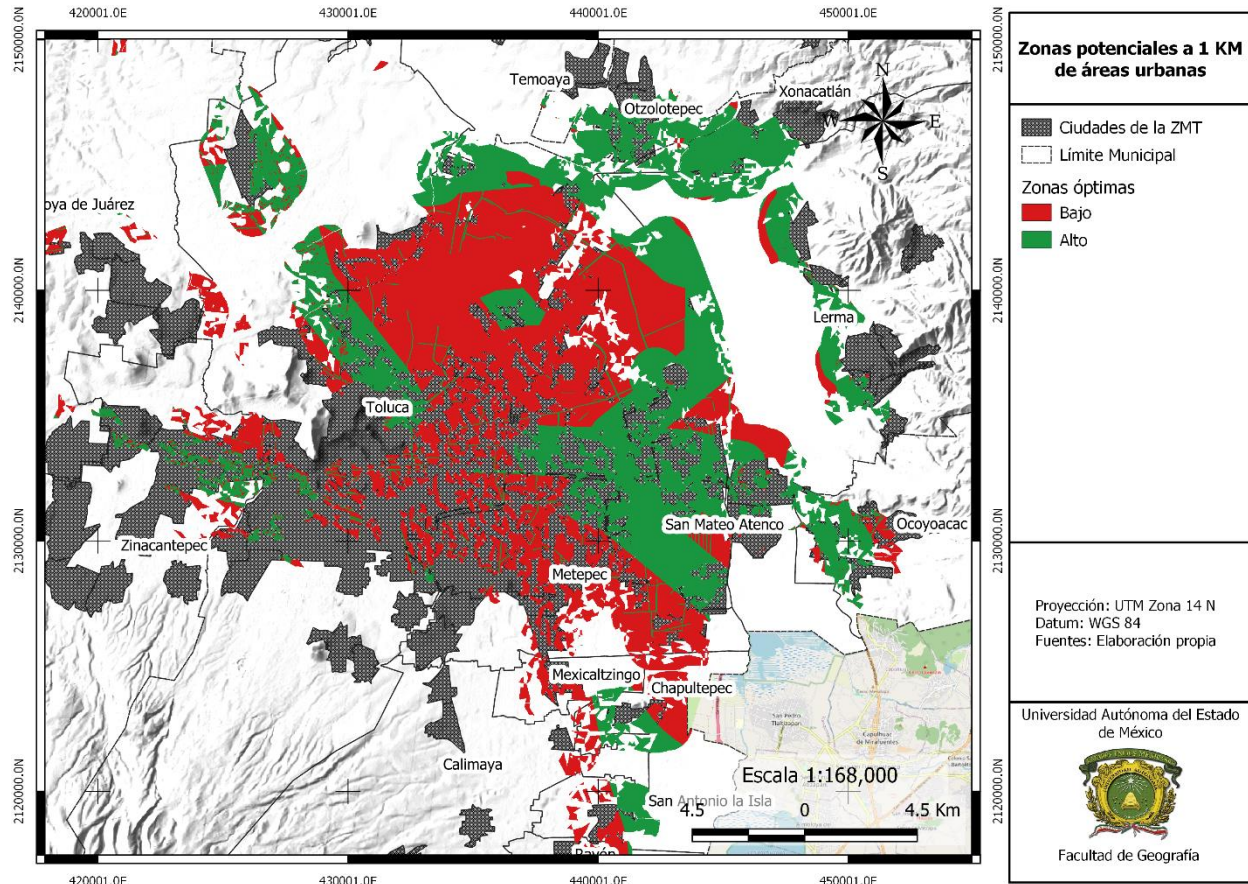


Figura 35 Zonas óptimas para la aplicación de amortiguadores sísmicos y/o estructuras sismo-resistentes. Elaboración propia.

Los municipios como Toluca, San Mateo Atenco, Lerma, Xonacatlán, Chapultepec y San Antonio la Isla presentan un gran potencial en el uso de sistemas de amortiguamiento y sismo-resistencia, aunque es necesaria la evaluación de los desarrollos urbanos existentes como también los planes catastrales y de uso de suelo.

3.1 Consideraciones para desarrollo urbano

El CEV (2017) en la PARTE 2 PLANEACIÓN Y DISEÑO URBANO, CAPÍTULO 4 - DESARROLLO URBANO, CONJUNTOS HABITACIONALES, ESTRUCTURA URBANA, LOTIFICACIÓN Y DONACIONES en su sección 402.4 Ámbito urbano, estipula lo siguiente:

“El uso del suelo del terreno elegido debe ser compatible con lo establecido en la legislación y los planes o programas de desarrollo urbano aplicables”. (p.65)

En su sección 402.10 Integración urbana del mismo capítulo se define:

“La estructura vial del conjunto habitacional debe ser congruente con la estructura vial del programa de desarrollo urbano a fin de garantizar una correcta integración del proyecto tanto con el contexto urbano inmediato como con el resto del centro de población.

Cuando el conjunto habitacional no se encuentre en una zona previamente urbanizada o en el área de crecimiento de una zona previamente urbanizada, se debe elaborar un plan maestro de movilidad urbana para la integración de dicho conjunto con la estructura vial local o regional”. (p. 66)

Por su parte la NMX-AA-164-SCFI-2013 (2013) estipula en su sección 5. REQUISITOS PARTICULARES, sección 5.2.1.1 Las edificaciones deben estar ubicadas en:

“Áreas intraurbanas en las que ya se cuente con infraestructura urbana, servicios de agua potable, drenaje, energía eléctrica, alumbrado público, vialidades, transporte público, así como equipamientos, que presenten formas de accesibilidad a través de la combinación de distintos modos de transporte (pie, bicicleta, transporte público y automotor privado).

En áreas periurbanas de manera excepcional, cuando esté plenamente justificado por el estudio de impacto ambiental y urbano o cuando el uso de suelo sea incompatible con la zona intraurbana, siempre y cuando:

- El predio esté contemplado por los Planes o Programas de Desarrollo Urbano vigentes como urbano,

- No requieran de obras nuevas de infraestructuras para su urbanización,
- No excedan la capacidad de dotación de agua y energía de la ciudad y su región,
- El índice de cambio de uso, calculado con la siguiente fórmula, sea mayor a 35

$$I = 50 - \frac{\sum_{i=1}^n M_i(p1 - p2)}{2T}$$

Donde:

- M_i es el área modificada en la parte i del predio
- $p1$ es el puntaje de ponderación del uso del suelo en los últimos 5 años
- $p2$ es el puntaje de ponderación del terreno en las condiciones finales
- T es el área total del predio

Tabla 8 Ponderación para las distintas categorías de uso de suelo y su grado de vulnerabilidad. * A excepción del mangle, que no entra en la ponderación, por estar prohibida la construcción donde existan manglares. (SEECO, 2013, tabla 1, pág. 22)

Categoría	Ponderación	Vulnerabilidad
Área urbana	0	Muy baja
Área sin vegetación aparente	10	Muy baja
Área verde urbana	20	Baja
Área pecuaria	20	Baja
Área agrícola	30	Baja
Especial	30	Baja
Pastizal	40	Media
Vegetación hidrófila*	60	Alta
Matorral	70	Alta
Bosque cultivado	80	Alta
Selva	100	Muy alta
Bosque	100	Muy alta

3.2 Recomendaciones para aplicación en la ZMT

3.2.1 Estructuras en las que se recomienda el uso de aisladores

En general, el uso de aisladores de base es más eficiente cuando se reúnen algunas de las siguientes características:

- La estructura se desplanta en suelo firme
- Los registros de aceleraciones obtenidos en el sitio donde se ubicará el sistema indican que la energía sísmica se concentra en las frecuencias altas.

- La estructura es rígida y el incremento en los desplazamientos laterales no es un inconveniente
- La estructura no se construirá en una zona afectada por sismos con efectos de campo cercano.

3.2.2 Niveles de protección del sistema de aislamiento

Se pueden proporcionar dos niveles de protección sísmica a las estructuras aisladas. El primer nivel, denominado aislamiento total, tiene como propósito conseguir que la estructura permanezca dentro del intervalo elástico con excepción del propio sistema de aislamiento. En el segundo nivel, denominado aislamiento parcial, se permite que los elementos de la estructura excedan los límites de fluencia, con valores de ductilidad limitada.

Con el criterio de aislamiento total se evitará el daño en los elementos de la estructura durante la ocurrencia del sismo de diseño, a diferencia de una estructura convencional en la que se espera que la deformación inelástica de sus miembros contribuya a disipar la energía que introduce el sismo en la estructura.

Por otra parte, con el aislamiento parcial, se permite la ocurrencia de daños durante el sismo de diseño, limitados a niveles menores que los de un diseño convencional. (CFE, 2017)

3.2.3 Ventajas y desventajas del uso de disipadores de respuesta sísmica

Tabla 9 Ventajas y desventajas del uso de dispositivos de disipación de energía (Genatios & Lafuente, 2016, tabla 7-1, pág. 128)

Dispositivo	Ventajas	Desventajas
Amortiguadores histeréticos metálicos	<ul style="list-style-type: none"> - Comportamiento histerético estable - Confiables a largo plazo - No son sensibles a cambios de temperatura ambientales - Son materiales tradicionales en la construcción, familiares para los ingenieros civiles 	<ul style="list-style-type: none"> - Deben ser reemplazados si son solicitados por un sismo - La estructura puede quedar con desplazamientos residuales después de un sismo - Se requieren análisis no lineales
Amortiguadores de fricción	<ul style="list-style-type: none"> - Disipan grandes cantidades de energía por ciclo de histéresis - No son sensibles a cambios de temperatura ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> - Las condiciones de la superficie de rozamiento pueden cambiar con el tiempo - Se requieren análisis no lineales - La estructura puede quedar con desplazamientos residuales después de un sismo
Amortiguadores de fluidos viscosos	<ul style="list-style-type: none"> - Comportamiento lineal (facilidades de modelado) - Sus propiedades son constantes en altos rangos de variación de frecuencia y temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultades de instalación - Requieren revisiones periódicas para detectar posibles fugas del fluido viscoso

	<ul style="list-style-type: none"> - Se han comercializado por su alta confiabilidad - Mínima fuerza de restauración 	
Amortiguadores viscoelásticos	<ul style="list-style-type: none"> - Polímeros de comportamiento lineal (facilidades de modelado) - Se activan para bajos niveles de desplazamiento - Comportamiento elástico (vuelven a su forma original) 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitada capacidad de deformación - Su comportamiento depende del nivel de deformación, de la temperatura y la frecuencia - Requieren revisiones periódicas para verificar posible deterioro del material viscoelástico
Amortiguadores de Masa Sintonzada	<ul style="list-style-type: none"> - Ubicación generalmente en el último piso - Facilidad de instalación y de mantenimiento - Adecuado para estructuras regulares donde domine el primer modo de vibración 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilidad a errores en la frecuencia natural de la estructura y/o la relación de amortiguamiento - Gran espacio requerido para su instalación

3.2.4 Diseño del edificio

Como recomienda el CEV (2017) en su PARTE 3 DISEÑO DEL EDIFICIO, CAPÍTULO 8 – DISEÑO DEL EDIFICIO, sección 801.8 Separación por sismo:

“Los muros colindantes entre predios vecinos deben estar separados por una distancia no menor a 5 cm, ni menor que el desplazamiento horizontal máximo calculado para el nivel que se trate, según el diseño por sismo referido en la Sección 1202.”. (p. 99)

De ser el caso de optar por el reforzamiento estructural es recomendable revisar se sugiere seguir la PARTE 4 ASPECTOS ESTRUCTURALES, CAPÍTULO 13 – DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA en sus secciones:

“1305.3 Refuerzo por integridad estructural. Con objeto de mejorar la redundancia y capacidad de deformación de la estructura, en todo muro de carga se debe disponer de refuerzo por integridad con las cuantías y características indicadas en la Secciones 1305.3.1 a 1305.3.3. El refuerzo por integridad debe estar alojado en secciones rectangulares de concreto reforzado de cuanto menos 50 mm de lado ...”. (p.165).

“1305.3.1 Refuerzo vertical. Los muros deben ser reforzados en sus extremos, en intersección de muros y a cada 4 m con al menos 2 barras o alambres de acero de refuerzo continuos en la altura de la estructura ...” (pp. 165,166)

“1305.3.2 Refuerzo horizontal. Se deben suministrar al menos dos barras o alambres de acero de refuerzo continuos en la longitud de los muros colocados en la unión de estos con los sistemas de piso y techo. El área total se calculará con la ecuación de la Sección

1305.1, multiplicando el resultado por la altura libre del muro, H, y dividiéndolo por la separación entre el refuerzo vertical, Sv.” (p. 166)

$$A_s = \frac{2 V_{mR}}{3 F_R f_y} \frac{H}{s_v}$$

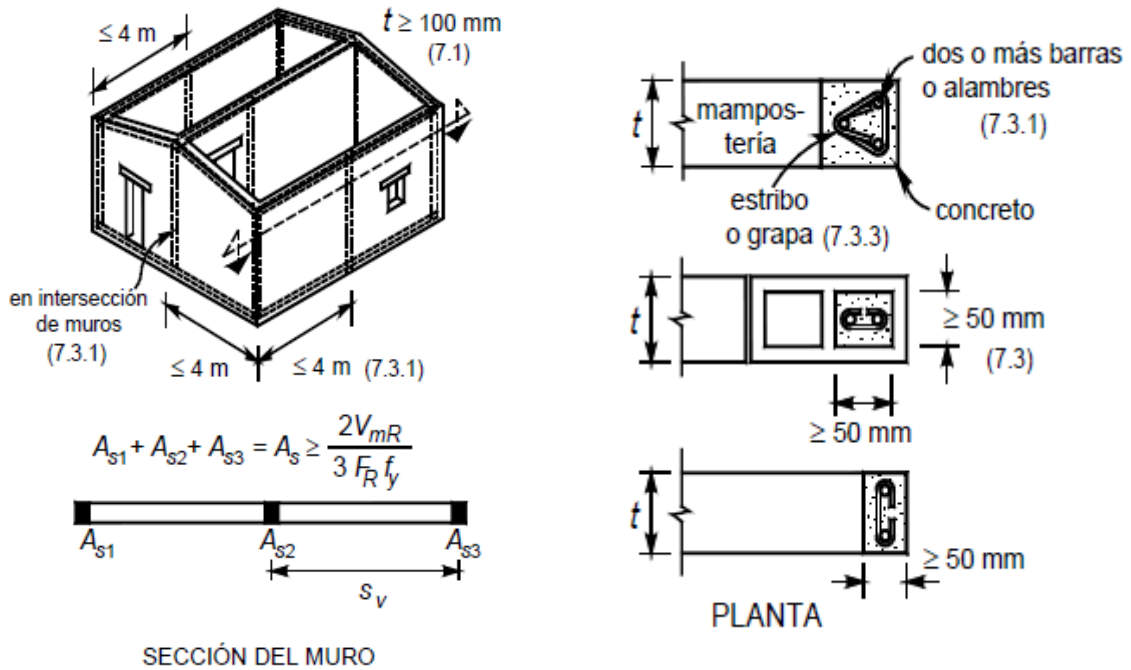


Figura 36 Mampostería no confinada ni reforzada (CEV, 2017, figura 1305.1, pág. 166)

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

La planeación urbana, así como los planes de desarrollo urbano a niveles municipales y federales requieren de una visión holística de todas aquellas áreas, las cuales, a largo plazo, puedan ocasionar factores de riesgo y que a su vez provoquen pérdidas de la vida humana, pérdidas económicas y afectaciones al medio ambiente.

El uso de herramientas SIG en la planeación territorial y urbana indica un cambio sustancial en el desarrollo de ciudades sostenibles; la portabilidad y facilidad de manipulación de cada vez mayores cantidades de información, además de su fácil accesibilidad, demuestran la necesidad de conocer nuevas técnicas de gestión para el mejoramiento de las áreas urbanas ya consolidadas como las de nueva formación.

Por otro lado, el desarrollo de materiales asequibles, de mayor duración y alto desempeño en el área de construcción ayuda al mejoramiento de los asentamientos humanos reduciendo el impacto ambiental y planteando nuevas metodologías para mitigar las afectaciones por agentes naturales, como los sismos, que aún son difíciles de prevenir o predecir.

El uso de los aisladores sísmicos y los sistemas de sismorresistencia presentan soluciones vanguardistas dadas a su flexibilidad de aplicación y actualmente su facilidad de adquisición. Su mantenimiento y remplazo después de un evento sísmico permiten recuperar la funcionalidad de las estructuras en un lapso corto de tiempo.

4.1 Conclusiones

- La homologación de las condicionantes físicas y antropogénicas fueron clave para la limitación del área asignada como potencial para uso de aisladores y mecanismos sismo-resistentes.
- La revisión de los Planes de Desarrollo Urbano y el Código de Edificación de Vivienda en la evaluación de condicionantes para el desarrollo urbano permiten visualizar áreas de oportunidad ante ciertas limitaciones en materia de mitigación sísmica.

- Los aisladores sísmicos representan una opción viable en la reducción de la respuesta sísmica en estructuras, además de ser mecanismos dinámicos y escalables a diferentes tipos de estructuras.
- Reducción de daño al patrimonio y prevención la pérdida de vidas humanas en casos aplicados, como la Torre Latinoamericana y la Torre PEMEX después de los sismos ocurridos en 1985 y 2017.
- Facilidad de aplicación de los sistemas de aislamiento y sismo-resistencia en desarrollos urbanos de nueva formación.
- Uso de materiales tradicionales en la elaboración de estos sistemas lo cual ayuda a reducir costos de producción.

4.2 Recomendaciones

- Integración de planes de aislamiento sísmico y sismo-resistencia en los Planes de Desarrollo Urbano.
- Aplicar los aisladores sísmicos como medidas de reducción de daño sísmico únicamente, ya que es necesaria la evaluación de efectos de sitio en caso de sismos y la aceleración del suelo donde las estructuras se encuentran situadas.
- El uso de amortiguadores de tipo histeréticos y de fricción deben ser considerados como las mejores opciones de aplicación en aislamiento sísmico dado a su flexibilidad de aplicación, bajo costo (en comparación con los sistemas viscoelásticos o de masa sincronizada).
- El uso de amortiguadores de tipo viscoelásticos, de fluidos viscosos y de masa sincronizada debe ser utilizada en estructuras de gran altura como condominios, centros comerciales, edificios administrativos o aquellos lugares donde se aglomeren grupos grandes de personas ya que su uso esta dirigido principalmente a estructuras prefabricadas y para soportar cantidades grandes de carga.
- El reforzamiento de muros en su componente vertical y horizontal, además del uso de mallas para el reforzamiento de muros; se recomienda su uso en lugar de los sistemas de aislamiento cuando no se puedan acceder a los mismos o las construcciones en modalidad de progresivas no admitan su uso.

- Las diferentes alternativas de aislamiento sísmico deberán ser analizados en conjunto con el Código de Edificación y Vivienda además de las especificaciones del Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo de la Comisión Federal de Electricidad ya que se deben recalculan las dimensiones de los sistemas de aislamiento en el caso de aplicarse a desarrollos urbanos o estructuras de tamaño menor.
- El análisis descrito en esta investigación es de carácter informativo y de ser utilizado como referencia se recomienda la investigación en sitio de las zonas potenciales aquí descritas con el objetivo de evitar cualquier afectación económica, ambiental y humana.

Bibliografía

- AASHTO. (1973). *AASHTO: Standar Specifications for Highway Bridges*. Association General Offices. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwiy1prc8uTeAhUDIKwKHSovBVoQFjABegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.resource.org%2Fpub%2Fus%2Fcf%2Ffibr%2F001%2Faashto.bridges.1973.pdf&usg=AOvVaw3wpmq4IzEYgu9_bKYSozsE
- Administración Pública del Distrito Federal. (2004). *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*. Jefatura de Gobierno.
- Aiken, I. D., Douglas, K. N., Andrew, S. W., & James, K. (1993). Testing of Passive Energy Dissipation Systems. *Earthquake Spectra*, Vol. 9(No, 3), 339.
- Alberto Nájar. (2018, septiembre 19). Sismo 2017 en México: Las lecciones no aprendidas que dejó el terremoto del 19 de septiembre. *BBC*, 1.
- Arturo Tena Colunga, L. F. P. R. (2014). *Estudio de factibilidad de aislamiento sísmico pendular para subestaciones encapsuladas ubicadas en terrenos blandos del Valle de Mexico*. Vol. 14 (1-2).
- BAIN & COMPANY. (2017). *Marco teórico para identificar iniciativas para incrementar la resiliencia sísmica de una ciudad—Con ejemplos de la CDMX*.
- Báro, J. E., & Monroy, F. (2018). *Enfrentando los riesgos siconaturales* (1ra ed.). CLAVE.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2019). *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano*. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU_060120.pdf

- Campos, T. (2017). *El temblor de 1985 en México liberó 32 veces más energía que el de 2017. ¿Qué significa eso?* Xataka. <https://www.xataka.com.mx/investigacion/el-temblor-de-1985-en-mexico-libero-32-veces-mas-energia-que-el-de-2017-que-significa-eso>
- CAPUFE. (2018). *Ley de caminos, puentes y autotransporte federal*. SEGOB. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/27_250618.pdf
- Carreto, Dr. F., & González, Mtro. R. (2013). *Geografía, ambiente y sociedad* (2014.^a ed.). UAEMéx.
- CDMX, Agencia de Resiliencia, & 100 Ciudades Resilientes. (2018). *Aprender del sismo para ser más resilientes*. CDMX. <https://www.resiliencia.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Publicaciones/aprender-del-sismo-para-ser-mas-resilientes.pdf>
- CENAPRED. (2014a). *Manual de Protección Civil*. Secretaria de Gobernación.
- CENAPRED. (2014b). *Seguridad sísmica de la vivienda económica*. CENAPRED. <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/204-CUADERNODEINVESTIGACIONSEGURIDADSSMICADELAVIVIENDAECONMICA.PDF>
- CFE. (2017). *Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad*. CFE. http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/region_sismica_mx.jsp
- CFE. (2019). *TORRES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y SUBTRANSMISIÓN DE 69 kV Y MAYORES. ESPECIFICACIÓN CFE J1000-50*. <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/c/J1000-50.pdf>

- *Código de Edificación de Vivienda 3a Edición 2017*. (2017). SEDATU. <https://www.gob.mx/conavi/documentos/codigo-de-edificacion-de-vivienda-3ra-edicion-2017>
- CONESPO, & CONAPO. (2018, diciembre 12). *Zonas metropolitanas del Estado de México* [Gubernamental]. Consejo Estatal de Población. https://coespo.edomex.gob.mx/zonas_metropolitanas
- EDOMÉX. (2018). *Plan de desarrollo del Estado de México 2017—2023*. EDOMÉX. <https://edomex.gob.mx/sites/edomex.gob.mx/files/files/PDEM%202017-2023%20PE.pdf>
- EDOMÉX. (2019a). *Programa de Protección Civil para sismos 2019*. <http://cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/sites/cgproteccioncivil.edomex.gob.mx/files/files/programas%20de%20Prevencion/programa%20%20sismos%202019.pdf>
- EDOMÉX. (2019b). *Plan Estatal de Desarrollo Urbano 2019*. EDOMÉX. <https://seduym.edomex.gob.mx/sites/seduym.edomex.gob.mx/files/files/PEDUEM%20Final.pdf>
- EUROCODE. (2005). *Eurocodes: Building the Future* [Eurocodes: Building the Future]. <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpage.php?id=138>
- Félix Pillet Capdepón. (2004). La Geografía y las distintas acepciones del espacio Geográfico. *Instituto Universitario de Geografía Universidad de Alicante, No. 34*, 15.
- Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *INTRODUCCIÓN AL USO DE AISLADORES Y DISIPADORES EN ESTRUCTURAS*. Corporación Andina de Fomento.

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiE47XXtpLtAhWumq0KHSc8DJsQFjAGegQICxAC&url=https%3A%2F%2Fscioteca.caf.com%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F1213%2FUse%2520de%2520aisladores%2520y%2520disipadores%2520en%2520estructuras.pdf&usg=AOvVaw2gq7GxniOVNcFNWhHcasPv>

- Gobierno del Estado de Guerrero. (2008). *Reglamento de construcción para los municipios del Estado de Guerrero*. Periódico Oficial del Gobierno del Estado. http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-gro/GRO-R-ConstMuni2008_07.pdf
- Gómez, C., Ordaz, M., & Tena, A. (2005). Leyes de atenuación en desplazamiento y aceleración para el diseño sísmico de estructuras con aislamiento en la costa del pacífico. *XV CNIS Méxicio, Art. II*, 1-18.
- Gutiérrez, Carlos. A. (2011). *Avances y acciones futuras en prevención y mitigación de riesgos en México*. CENAPRED.
- H. Congreso Local. (2010). *Reglamento de construcciones para el Estado de Puebla*. H. Ayuntamiento de Puebla. <http://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/reglamentos-construccion-mexico/puebla/puebla-reglamento-construccion-estatal-puebla-1935.pdf>
- Hernández, H., & Tena, A. (2018). *Evaluación del diseño sísmico resiliente conforme al método de las fuerzas de marcos dúctiles de acero con disipadores de energía histeréticos*. Ingeniería Sísmica.
- IBC. (2014). *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk (IBC Code)*. International Maritime Organization.

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=2ahUKEwjMmuOz9OTeAhVMWq0KHbrCDMkQFjAEegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ilent.nl%2Fbinaries%2Filt%2Fdocumenten%2Fpublicaties%2F2014%2F10%2F24%2Fibc-code-supplement---may-2014%2FIBC%2BCode%2BSupplement%2B-%2BMay%2B2014.pdf&usg=AOvVaw1KrnINDFCTNL9lh6cR9a9j>

- ICBO. (1967). *Uniform Building Code*. International Conference of Building Officials.

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=2ahUKEwjf9NCW8OTeAhULKqwkHeCqC78QFjADegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fdigitalassets.lib.berkeley.edu%2Fubc%2FUBC_1967.pdf&usg=AOvVaw2eA0XHjdPuB4QlzyYHt6Ub

- INEGI. (2001). *Síntesis Geográfica del Estado de México*. INEGI.

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220594/702825220594_1.pdf

- INEGI. (2012). *Aspectos generales del territorio mexicano. Recursos Naturales. Edafología*.

https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap3_suelos.pdf

- José Ortega Valcárcel. (1998). *Los horizontes de la geografía. Teoría de la Geografía*. Ariel, S.A.

- Ley de Aguas Nacionales, Artículo 3, Cámara de Diputados del H. Consejo de la Unión, XLVII (2016).

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjkgtno2e_sAhUKbc0KHenzA-gQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.diputados.gob.mx%2FLeyesBiblio%2Fpdf%2F16_060120.pdf&usg=AOvVaw2ZPB9HJfOC2tWEmAnzChJZ

- LGEEPA. (2018). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*.
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiRrL__j9TsAhWIB80KHYr8DucQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.diputados.gob.mx%2FLeyesBiblio%2Fpdf%2F148_050618.pdf&usg=AOvVaw1vT7Rz6wSIF_zm7-eKJGqH
- Lobo, R. F., Bracci, J. M., Shen, K. L., & Reinhorn, A. M. (1993). Inelastic Response of R/C Structures with Viscoelastic Braces. *Earthquake Spectra*, Vol. 9(n. 3), 426.
- Lozano, J. (2019). La Geografía como herramienta para una gestión del territorio adecuada. *Revista de geografía Norte Grande*, 73.
- Mario Carmona y Pardo, J. S. S. (2014). *Dos edificios de gran altura emblemáticos de la cd. De México: «torre latinoamericana y torre ejecutiva PEMEX»*. Universidad de Sevilla.
- Mateo, J. (2002). *El mundo en el siglo XXI y los desafíos para la Geografía*.
<https://repositorio.geotech.cu/xmlui/bitstream/handle/1234/2070/EI%20mundo%20en%20el%20siglo%20XXI%20y%20los%20desaf%3%ADos%20para%20la%20geograf%3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mendoza, M., Plascencia, H., Alcántara, C., Rosete, F., & Bocco, G. (2011). *Análisis de la aptitud territorial. Una perspectiva biofísica* (Primera). CIGA. https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/analisisAptitud.pdf
- Montanaro, M. I. (2002). SISTEMAS DE CONTROL DE VIBRACIONES EN ESTRUCTURAS DE GRAN ALTURA. *Informes de la Construcción*, Vol. 53(No. 477), 37.
- Naciones Unidas. (2016). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible*. Habitat III.
- OASP. (2003). *Greek code for Seismic Resistant Structures—EAK2000*. OASP. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjHqsSu4fHeAhUNUKwKHca1Cf0QFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fii.see.kenken.go.jp%2Fworldlist%2F21_Greece%2F21_Greece_Overall.pdf&usq=AOvVaw198MS2A0LNSo_F-yHi-TmG
- Ortega, J. (2001). *Los horizontes de la Geografía: Vol. No. 26*. Ariel, S.A.
- Oviedo, J. A., & Duque, M. del P. (2006). SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES. *Revista EIA*, Vol. 6, pp.105-120.
- Perea, T., & Esteva, L. (2005). Componente vertical de registros sísmicos en México y en su defecto en la respuesta sísmica no lineal de edificios. *Revista de Ingeniería Sísmica*, No. 72, pp, 51.
- Rojas, O. (2006). *Diastrofismo. Epirogénesis y Orogénesis*. <http://www2.udec.cl/~ocrojas/diastrofismo.pdf>

- Rosenblueth, E., Sánchez-Sesma, F. J., Ordaz, M., & Singh, S. K. (1987). *Espectros de diseño en el reglamento para las construcciones del Distrito Federal*. VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.
- Sanahuja, H. (1999). *El daño y la evaluación del riesgo en América Central: Una propuesta metodológica tomando como caso de estudio a Costa Rica*.
- Sánchez, M., & Palacio, J. (2001). *Geografía para el Tercer Milenio*. Vol.1, 235.
- Santana, M., Hoyos, G., Santana, G., Zepeda, F., & Calderón, J. (2018). *Vulnerabilidad, Resiliencia y Ordenamiento Territorial*. RETESyG. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94607/Libro_Vulnerabilidad_resiliencia_y_ordenamiento_%20territorial.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- SCT. (1997). *Manual de procedimientos para el aprovechamiento del derecho de vía en caminos y puentes de cuota*. SEGOB. <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGDC/Tramites/manual.pdf>
- SCT. (2011). *Reglamento del servicio ferroviario del objeto, las concesiones, permisos y autorizaciones*. SCT. http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/8_Reglamento_del_Servicio_Ferroviano.pdf
- SEDATU. (2020). *PROGRAMA NACIONAL DE RECONSTRUCCIÓN 2019*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/545751/Reglas_de_operacion_Programa_Nacional_de_Reconstruccion_2020.pdf
- SEECO. (2013). *EDIFICACIÓN SUSTENTABLE - CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS*.

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/DO3156.pdf>

- SISVEM, S. de I. de S. y V. del E. de M. (2020, mayo 17). *Descriptiva de cada zona metropolitana* [Gubernamental]. Sistema Estatal de Información Urbana, Metropolitana y Vivienda. <http://plataforma.seduym.edomex.gob.mx/SIGZonasMetropolitanas/PEIM/descriptiva.do>
- SMIE. (2017). *Normas técnicas complementarias para diseño por sismo*. SMIE. <http://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-sismo-2017.pdf>
- SSN. (2018). *Sismos Históricos. Sismo de 1912 en Acambay, Edo. De Mex, (M-6.9)*.
- SSN. (2019). *Sismos Fuertes*. <http://www2.ssn.unam.mx:8080/sismos-fuertes/>
- Toscana, A. (2017). *Vulnerabilidad y resiliencia en conjuntos urbanos de la Ciudad de México*. Quivera.
- Universidad Nacional Autónoma de México, I. d. G. Servicio Sismológico Nacional. (2020). *Catalogo de sismos*. UNAM. <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/#>
- Wagner, D. (2017). *AISLAMIENTO SÍSMICO EN EDIFICIOS PREFABRICADOS EN LA ZONA DE TRANSICIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO* [Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/12459/tesis.pdf?sequence=1>