

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY
DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY**

ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO PARA VIVIENDAS EN MÉXICO

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERIA Y ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION
ESPECIALIDAD EN ESTRUCTURAS**

POR

MATHIEU BAUDOIN

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE 2008

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY**

CAMPUS MONTERREY
DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY**

ANÁLISIS DE RIESGO SISMICO PARA VIVIENDAS EN MEXICO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERIA Y ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION
ESPECIALIDAD EN ESTRUCTURAS

POR

MATHIEU BAUDOIN

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE 2008

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

**CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

ANALISIS DE RIESGO SISMICO PARA VIVIENDAS EN MEXICO

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
ACADEMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERIA Y ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION
ESPECIALIDAD EN ESTRUCTURAS**

POR:

MATHIEU BAUDOIN

MONTERREY, N.L.

DICIEMBRE 2008

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

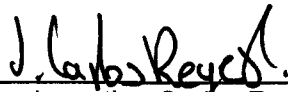
CAMPUS MONTERREY

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**

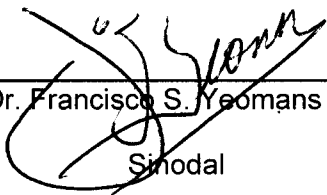
Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por el Ing. Mathieu Baudouin sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERIA Y ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION
ESPECIALIDAD EN ESTRUCTURAS**

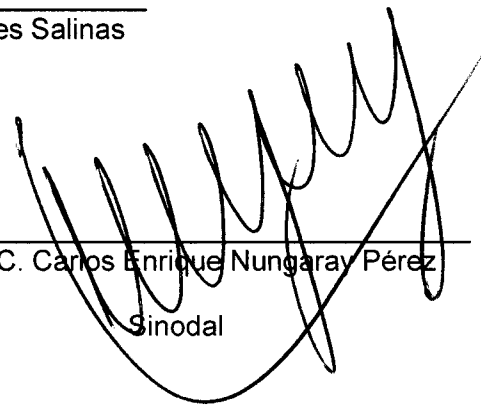
Comité de Tesis:



Dr. Juventino Carlos Reyes Salinas
Asesor

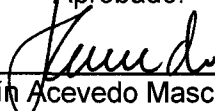


Dr. Francisco S. Yeomans Reyna
Sinodal



M.C. Carlos Enrique Nungaray Pérez
Sinodal

Aprobado:



Dr. Joaquín Acevedo Mascarúa, Ph. D.
Director del Programa de Graduados en Ingeniería
Diciembre, 2008

Agradecimientos:

Quisiera primero agradecer mis padres los cuales me han dado la oportunidad de viajar en varios países, aprender y conocer diferentes culturas e idiomas, pero sobre todo me han ofrecido el gusto del extranjero. Los agradezco también por siempre haber creído en mi y mis proyectos, sin ellos mis sueños no serían realidad.

Quisiera además agradecer la persona que ha tenido el valor y el entusiasmo de seguir mis sueños y proyectos acompañándome durante toda mi estancia en México, es decir Sandra Gagnet. Le doy las gracias por su apoyo, amor y cariño los cuales me han ayudado a cumplir y realizar mi sueño. El mejor sentimiento de uno es poder compartir un sueño, y aun más con una persona tan especial como tu, por eso gracias.

Ahora quisiera agradecer al Dr. Yeomans, el cual me ha transmitido parte de su conocimiento y placer por la dinámica de las estructuras del cual se ha traducido por un entusiasmo en conocer y aprender más de lo que esperaba sobre sismos y estructuras.

Sin olvidar por supuesto al Dr. Reyes por haber compartido conmigo su conocimiento y pasión durante la realización de la tesis de maestría. Sin su estimada ayuda la presente investigación no hubiera podido ser realizada a tiempo. Además lo agradezco por sus avisos los cuales me han guiado durante la realización del trabajo y para mi futuro.

Quisiera además agradecer al Ing. Nungaray por su apoyo y avisos durante la realización de la presente tesis de maestría.

Agradezco a Eli por su amistad, gran generosidad e ideas, el cual ofreció su ayuda y participación en los momentos más críticos de la realización de mi tesis y la de Sandra. Espero verte pronto mi amigo.

Agradezco igualmente a mis compañeros de clase y los alumnos del CDC por su apoyo, avisos y amistad que me han ofrecido durante esta última prueba. Fue un placer conocerlos y espero verlos pronto.

Y finalmente a mis rumies, Joel, Pablo y Stefano, les dedico la presente investigación por el apoyo y amistad.

Capitulo I-	3
Generalidades	3
A. En el mundo:	4
B. Latino América y los Caribes	12
C. En México	13
II. La problemática de vivienda	15
A. En el mundo	15
B. En México	16
III. Línea de investigación	17
IV. Objetivos de la investigación	18
V. Objetivos específicos	18
A. Revisión de literatura	18
B. Metodología	18
C. Aplicación y resultados	18
Capitulo II-	19
Revisión de Literatura	19
I. Conceptos básicos de sismicidad	19
D. Definiciones	19
a) Terremotos	19
b) Ondas sísmicas	20
c) Fallas	22
d) Magnitud e Intensidad	23
II. Conceptos del riesgo	25
III. Metodologías utilizadas	26
E. Revisión de literatura I:	26
a) Recabar la información:	27
b) Metodología:	27
c) Conceptos importantes:	30
F. Revisión de literatura II:	30
b) Evaluación de la vulnerabilidad	32
c) Conceptos importantes:	35
G. Revisión de literatura III:	36
a) Resumen de literatura:	36
b) Conceptos importantes:	37
IV. Comentarios de revisión de literatura:	38
Capitulo III-	39
Metodología de análisis	39
I. Tipología:	40
II. Metodología:	47
B. Propuesta arquitectónica de viviendas:	50
C. Relación daño-costos:	54
D. Espectros de aceleración:	56
E. Función de vulnerabilidad:	61
F. Características de los materiales de construcción:	63
b) Material ligero:	65
c) Adobe:	66
G. Hipótesis de análisis	66
H. Construcción de la función de vulnerabilidad:	67
d) Densidad de muros y densidad de muros efectiva:	68
e) Carga vertical:	68
f) Esfuerzo vertical:	69
g) Esfuerzo de corte:	69
h) Esfuerzo de agrietamiento	71
i) Esfuerzo máximo y último:	71
j) Rigidez del muro más largo y de entrepiso:	72

k)	<i>Distorsión de agrietamiento y máxima:</i>	74
l)	<i>Modelo elastoplastico equivalente:</i>	77
m)	<i>Periodo natural de vibración:</i>	79
n)	<i>Seudo-aceleraciones espectrales:</i>	80
o)	<i>Coefficientes vulnerabilidad:</i>	81
p)	<i>Función de vulnerabilidad:</i>	81
III.	Resumen de metodología	82
IV.	Comentarios de la metodología:	83
Capitulo IV-		85
Análisis de riesgo sísmico		85
I.	Curvas de vulnerabilidad:	85
II.	Probabilidad de daño asociado:	90
III.	Numero de viviendas:	96
IV.	Costo de reparación:	98
V.	Conclusiones del análisis de riesgo:	105
A.	Funciones de vulnerabilidad:	105
B.	Probabilidad de daño:	105
C.	Numero de viviendas:	106
D.	Costo de reparación:	106
E.	Comparación con el sismo histórico de 1985:	106
Capitulo V-		107
Recomendaciones		107
I.	Tipología:	107
II.	Peligro sísmico:	108
III.	Vulnerabilidad:	108

Capitulo I- Generalidades

La actitud del ser humano frente a los peligros naturales ha evolucionado de la pasividad a una más activa búsqueda de mejoras en la protección. El ser humano no puede cambiar la incidencia o disminuir la intensidad de la mayoría de estos peligros naturales, pero en cambio sí puede influir en las consecuencias de estos mismos peligros. La tendencia mundial es de abordar los problemas causados por los fenómenos naturales de manera más preventiva desarrollando métodos específicos de mitigación de los riesgos naturales. Con el paso del tiempo se ha podido definir de manera precisa los diferentes peligros naturales que afectan nuestra civilización y el medio ambiente actual, dentro de estos sobresalen los peligros atmosféricos, geológicos, hidrológicos, volcánicos y sísmicos [1].

El peligro sísmico se destaca de los otros desastres naturales por ser un peligro natural imprevisible que tiene un tiempo de acción muy corto pero muy brutal. Los sismos generan estadísticamente más pérdidas en vidas humanas y pérdidas económicas. Por esta razón, la presente investigación se enfocara en el peligro sísmico y de sus consecuencias.

I.La problemática sísmica

A. En el mundo:

Los sismos suelen ser eventos devastadores y costosos que pueden generar pérdidas humanas en un par de segundos. La información de los recientes sismos es retransmitida por los medios que describen las destrucciones ocasionadas así que el trauma de las víctimas del fenómeno. La energía liberada por un sismo es equivalente al potencial de miles de bombas nucleares y las pérdidas económicas generadas pueden subir hasta billones de dólares, sin mencionar las pérdidas humanas. Los sismos suelen también ser fenómenos disparadores de otros fenómenos naturales como los tsunamis, incendios, enfermedades y deslizamiento de tierra o licuefacción del suelo.

Sin embargo, se ha definido una correlación entre los eventos sísmicos más importantes de la historia y el movimiento de las placas tectónicas.

La Tierra está compuesta de 7 capas, cada una con sus propiedades físicas respectivas. En la siguiente figura se muestran las capas terrestres:

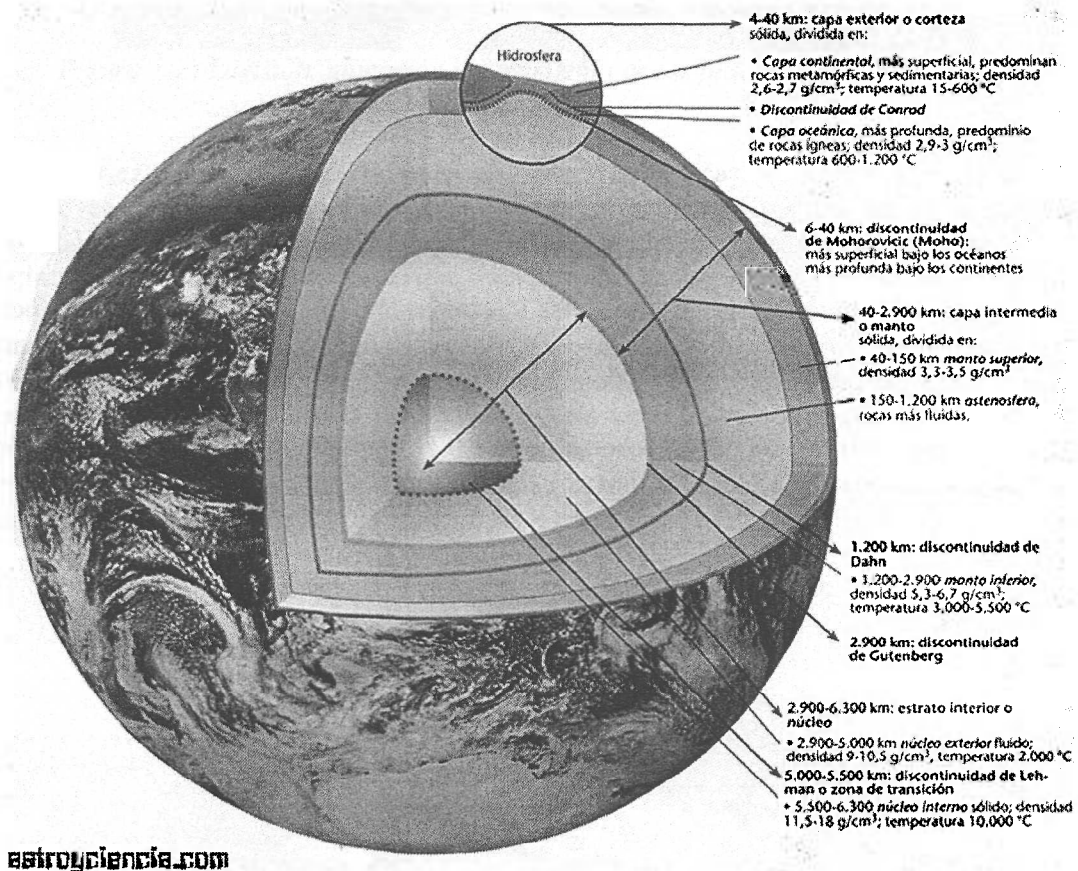


Figura 1-1: Composición de las capas terrestres de la Tierra

La corteza terrestre se divide en placas tectónicas en movimiento continuo generado por el flujo constante en la capa intermedia. Estos movimientos han forjado los continentes terrestres y sobre todo han definido las zonas de peligro sísmico. A continuación se presenta la

geometría de las placas tectónicas, la posición de cada una y la dirección de movimiento de cada una:

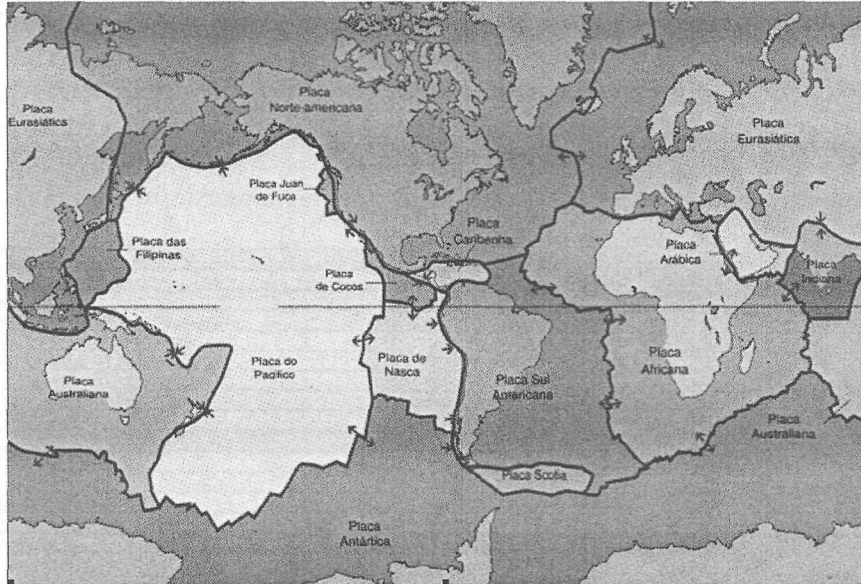


Figura 1-2: División, ubicación y movimiento de las placas tectónicas terrestres

La corteza de la tierra se compone de 7 placas tectónicas mayores y 8 placas de menor tamaño, en movimiento continuo entre ellas. La actividad sísmica en el mundo es la consecuencia directa de la actividad tectónica de la superficie terrestre, es decir el movimiento continuo de las 15 placas tectónicas que constituyen la capa terrestre (ver figura 1-1). Algunos autores afirman que cada año ocurre en la Tierra cerca de un millón de sismos, o seas dos sismos cada minuto en promedio. Sin entrar en los detalles, un sismo es una liberación brutal de energía generado por la fricción entre placas tectónicas. La magnitud del sismo puede ser medida (ver capítulo II, Escala de Richter) y esta varía de 0 a 9. Según Con respecto a la figura 1-2, se presenta a continuación la repartición del peligro sísmico en el mundo, ver figura 1-2. Las zonas en rojo del mapa de peligro sísmico global representan las zonas de alto peligro sísmico, parte de ellas se localizan en la costa pacífica de América Latina.

GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP

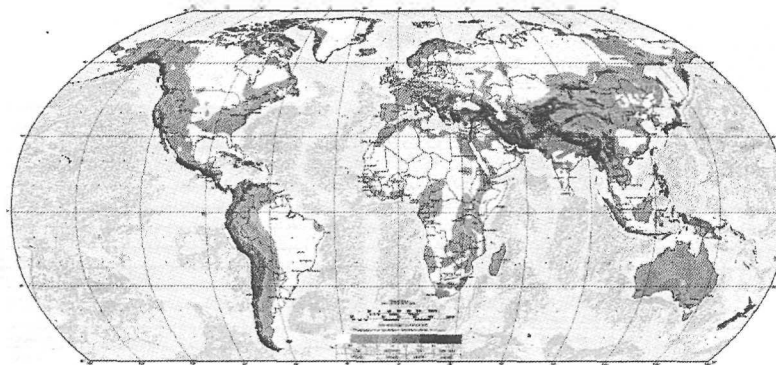


Figura 1-3: Distribución del peligro sísmico en el mundo [1]

Se muestra claramente en la figura anterior que las zonas de alta actividad sísmica se ubican en la costa pacífica del continente Sur-Americano y Norte Americano, la parte Eurasiática y el Sur de Europa, así que esencialmente en la cadena de montañas de los Himalayas y la cadena de fuego de la costa pacífica de Asia.

Esta repartición del peligro sísmico en el mundo fue apoyada por varios ejemplos históricos y modernos del poder destructivo de los eventos relacionados a sismos. A continuación se presenta unos de los sismos más devastadores de la historia del ser humano.

Tabla 1-1: Sismos históricos en el mundo por países, fecha, magnitud y pérdidas [2]

Afghanistan	
* 1965 03 14 - Hindu Kush, Afghanistan - M 7.8	
* 1998 02 04 - Afghanistan-Tajikistan Border Region - M 5.9 Fatalities 2,323	
* 1998 05 30 - Afghanistan-Tajikistan Border Region - M 6.6 Fatalities 4,000	
* 2002 03 03 - Hindu Kush Region, Afghanistan - M 7.4 Fatalities 166	
* 2002 03 25 - Hindu Kush Region, Afghanistan - M 6.1 Fatalities 1,000	
* 2004 04 05 - Hindu Kush Region, Afghanistan - M 6.6 Fatalities 3	
* 2005 12 12 - Hindu Kush Region, Afghanistan - M 6.5 Fatalities 5	
Algeria	
	* 1954 09 09 - Orleansville, Algeria - M 6.8 Fatalities 1,250
	* 1965 01 01 - M'Sila, Algeria - M 5.5 Fatalities 4
	* 1980 10 10 - El Aenam (formerly Orleansville), Algeria - M 7.7 Fatalities 5,000
	* 2003 05 21 - Northern Algeria - M 6.8 Fatalities 2,266
	* 2003 05 27 - Northern Algeria - M 5.8 Fatalities 9
Argentina	
* 1922 11 11 - Chile-Argentina Border - M 8.5	
* 1944 01 15 - San Juan, Argentina - M 7.4 Fatalities 8,000	
* 1977 11 23 - San Juan, Argentina - M 7.4	
* 1985 01 26 - Mendoza, Argentina - M 6.0	
* 2002 06 18 - Chile-Argentina Border Region - M 6.6	
* 2006 11 13 - Santiago del Estero, Argentina - M 6.8	
Armenia	
	* 1931 04 27 - Zangezur Mountains, Armenia - Azerbaijan border - M 5.7 Fatalities 2,800
	* 1988 12 07 - Spitak, Armenia - M 6.8 Fatalities 25,000
Asia Minor	
	* 1268 - Silicia, Asia Minor Fatalities 60,000
Atlantic Ocean	
* 1969 02 28 - Portugal-Morocco area - M 7.8 Fatalities 13	
* 2003 08 04 - Scotia Sea - M 7.6	
* 2006 01 02 - East of South Sandwich Islands - M 7.4	
* 2006 08 20 - Scotia Sea - M 7.0	
* 2008 02 08 - Northern Mid-Atlantic Ridge - M 6.9	
* 2008 02 10 - South Sandwich Islands region - M 6.6	
Australia	
	* 1941 04 29 - Meeberrie, Australia - M 7.2
	* 1968 10 14 - Meckering, Australia - M 6.9
	* 1988 01 22 - Tennant Creek, Australia - M 6.6
	* 1989 12 27 - Newcastle, Australia - M 5.5 Fatalities 13
Canada	
	* 1638 06 11 - St. Lawrence region
	* 1663 02 05 - St. Lawrence Valley region, Quebec, Canada - M 7.0
	* 1700 01 26 - Cascadia Subduction Zone - M 9.0
	* 1918 12 06 - Vancouver Island, British Columbia, Canada - M 7.0
	* 1925 03 01 - Charlevoix, Quebec, Canada - M 6.3
	* 1929 05 26 - South of Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada - M 7.0
	* 1929 11 18 - Grand Banks, Nova Scotia, Canada - M 7.3
	* 1933 11 20 - Baffin Bay, Canada - M 7.4
	* 1935 11 01 - Timiskaming, Quebec, Canada - M 6.2
	* 1944 09 05 - Between Massena, New York and Cornwall, Ontario, Canada - M 5.8
	* 1946 06 23 - Vancouver Island, British Columbia, Canada - M 7.3
	* 1949 08 22 - Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada - M 8.1
	* 1970 06 24 - South of Queen Charlotte Islands, British Columbia, Canada - M 7.0
	* 1985 12 23 - Nahanni region, Northwest Territories, Canada - M 6.8
	* 1988 11 25 - Saguenay, Quebec, Canada - M 5.9
	* 1989 12 25 - Ungava, Quebec, Canada - M 6.0
	* 2004 11 02 - Vancouver Island, Canada Region - M 6.7
	* 2005 03 06 - St. Lawrence Valley Reg., Quebec, Canada - M 4.9
	* 2008 01 05 - Queen Charlotte Islands region - M 6.6
Chile	
	* 1730 07 08 - Valparaiso, Chile - M 8.7
	* 1835 02 20 - Concepcion, Chile - M 8.2 Fatalities 500
	* 1868 08 13 - Arica, Peru (now Chile) - M 9.0 Fatalities 25,000
	* 1877 05 10 - Offshore Tarapaca, Chile - M 8.3 Fatalities 34
	* 1906 08 17 - Valparaiso, Chile - M 8.2 Fatalities 20,000
	* 1922 11 11 - Chile-Argentina Border - M 8.5
	* 1928 12 01 - Talca, Chile - M 7.6 Fatalities 225
	* 1939 01 25 - Chillan, Chile - M 7.8 Fatalities 28,000
	* 1943 04 06 - Illapel - Salamanca, Chile - M 8.2 Fatalities 25
	* 1960 05 21 - Arauco Peninsula, Chile - M 7.9
	* 1960 05 22 - Chile - M 9.5 Fatalities 1,655
	* 1965 02 23 - Taltal, Chile - M 7.0 Fatalities 1
	* 1965 03 28 - La Ligua, Chile - M 7.4 Fatalities 400
	* 1971 07 09 - Valparaiso region, Chile - M 7.5 Fatalities 90
	* 1985 03 03 - offshore Valparaiso, Chile - M 7.8 Fatalities 177
	* 1998 01 30 - Near Coast of Northern Chile - M 7.1
	* 2002 06 18 - Chile-Argentina Border Region - M 6.6
	* 2003 06 20 - Near the Coast of Central Chile - M 6.8
	* 2004 05 03 - Bio-Bio, Chile - M 6.6
	* 2005 06 13 - Tarapaca, Chile - M 7.8 Fatalities 11
	* 2007 11 14 - Antofagasta, Chile - M 7.7 Fatalities 2
	* 2007 12 16 - Antofagasta, Chile - M 6.7
	* 2008 02 04 - Tarapaca, Chile - M 6.3
Caribbean Sea	
* 1692 06 07 - Jamaica Fatalities 2,000	
* 1787 05 02 - Puerto Rico - M 8.0	
* 1843 02 08 - Leeward Islands - M 8.3 Fatalities 5,000	
* 1867 11 18 - Puerto Rico Region	
* 1907 01 14 - Kingston, Jamaica - M 6.5 Fatalities 1,000	
* 1918 10 11 - Mona Passage - M 7.5 Fatalities 116	
* 1946 08 04 - Samana, Dominican Republic - M 8.0 Fatalities 100	
* 1969 12 25 - Guadeloupe, Leeward Islands - M 7.2	
* 1974 10 08 - Leeward Islands - M 7.5	
* 2004 11 21 - Leeward Islands - M 6.3 Fatalities 1	
* 2004 12 14 - Cayman Islands Region - M 6.8	
* 2006 09 10 - Gulf of Mexico - M 5.8	
* 2007 11 29 - Martinique Region, Windward Islands - M 7.4 Fatalities 1	
Caucasia	
* 1667 11 - Shemakha, Caucasia Fatalities 80,000	

China	
* 1290 09 27 - Chihli, China Fatalities 100,000	
* 1556 01 23 - Shensi, China - M 8.0 Fatalities 830,000	
* 1917 07 30 - Yunnan, China - M 7.5 Fatalities 1,800	
* 1918 02 13 - Nan'ao, Guangdong, (Kwangtung), China - M 7.3 Fatalities 1,000	
* 1920 12 16 - Haiyuan, Ningxia, China - M 7.8 Fatalities 200,000	
* 1923 03 24 - Near Luhuo, Sichuan, China - M 7.3 Fatalities 3,500	
* 1925 03 16 - Yunnan, China - M 7.1 Fatalities 5,800	
* 1927 05 22 - Tsinghai, China - M 7.6 Fatalities 40,900	
* 1931 08 10 - Xinjiang, China - M 8.0 Fatalities 10,000	
* 1932 12 25 - Gansu, China - M 7.6 Fatalities 275	
* 1933 08 25 - Sichuan, China - M 7.4 Fatalities 9,300	
* 1948 05 25 - Sichuan, China - M 7.3 Fatalities 800	
* 1950 08 15 - Assam - Tibet - M 8.6 Fatalities 1,526	
* 1966 03 07 - Hebei, China - M 7.0 Fatalities 1,000	
* 1966 03 22 - Hebei, China - M 6.9 Fatalities 1,000	
* 1969 07 25 - Guangdong, China - M 5.9 Fatalities 3,000	
* 1970 01 04 - Yunnan Province, China - M 7.5 Fatalities 10,000	
* 1974 05 10 - China - M 6.8 Fatalities 20,000	
* 1975 02 04 - Haicheng, China - M 7.0 Fatalities 2,000	
* 1976 07 27 - Tangshan, China - M 7.5 Fatalities 255,000	
* 2002 06 28 - Pnamurye-Northeastern China border region - M 7.3	
* 2002 12 25 - Kyrgyzstan-Xinjiang border region - M 5.7	
* 2003 02 24 - Southern Xinjiang, China - M 6.3 Fatalities 261	
* 2003 07 21 - Yunnan, China - M 6.0 Fatalities 16	
* 2008 03 20 - Xinjiang-Xizang border region - M 7.2	
* 2008 05 12 - Eastern Sichuan, China - M 7.9 Fatalities 69,000	
	Colombia
	* 1875 05 18 - northern Colombia - M 7.3 Fatalities 16,000
	* 1970 07 31 - Colombia - M 8.0 Fatalities 1
	* 1974 07 13 - Panama-Colombia border region - M 7.3 Fatalities 11
	* 1987 03 06 - Colombia-Ecuador - M 7.0 Fatalities 1,000
	* 1999 01 25 - Colombia - M 6.1 Fatalities 1,185
	* 2004 11 15 - Near the West Coast of Colombia - M 7.2
	* 2007 09 10 - Near the west coast of Colombia - M 6.8
	Congo
	* 2002 10 24 - Lake Tanganyika region - M 6.2
	* 2005 12 05 - Lake Tanganyika Region, Congo-Tanzania - M 6.8 Fatalities 6
	Costa Rica
	* 1910 05 04 - Cartago, Costa Rica - M 6.4 Fatalities 700
	* 1991 04 22 - Costa Rica - M 7.6 Fatalities 47
	* 1999 08 20 - Costa Rica - M 6.9
	* 2004 11 20 - Costa Rica - M 6.4 Fatalities 8
	Democratic Republic of the Congo
	* 2008 02 03 - Lac Kivu region, Dem. Rep. of the Congo - M 5.9 Fatalities 44
	Greece
	* 1903 08 11 - Southern Greece - M 8.3
	* 1904 08 11 - Samos, Greece - M 6.2 Fatalities 4
	* 1953 08 12 - Kefalonia, Greece - M 7.1 Fatalities 455
	* 1954 04 30 - Greece - M 7.1 Fatalities 31
	* 1965 03 09 - Northern Sporades, Greece - M 6.3 Fatalities 2
	* 1965 03 31 - Central Greece - M 7.1 Fatalities 6
	* 1965 04 05 - Peloponnisos, Greece - M 6.2 Fatalities 32
	* 1965 07 06 - Central Greece - M 6.3 Fatalities 1
	* 1978 06 20 - Greece - M 6.6 Fatalities 50
	* 1981 02 24 - Greece - M 6.8 Fatalities 16
	* 1986 09 13 - Greece - M 5.7 Fatalities 20
	* 1995 05 13 - Greece - M 6.6
	* 1995 06 15 - Greece - M 6.5 Fatalities 26
	* 1999 09 07 - Greece - M 6.0 Fatalities 143
	* 2003 08 14 - Greece - M 6.3
	* 2004 08 24 - Greece - M 4.3
	* 2006 01 08 - Southern Greece - M 6.7
	* 2008 02 14 - Southern Greece - M 6.9
	* 2008 06 08 - Greece - M 6.3 Fatalities 2
Dominican Republic	
* 1946 08 04 - Samana, Dominican Republic - M 8.0 Fatalities 100	
* 1946 08 08 - Samana, Dominican Republic - M 7.6	
* 2003 09 22 - Dominican Republic Region - M 6.4 Fatalities 3	
Ecuador	
* 1906 01 31 - Off the Coast of Esmeraldas, Ecuador - M 8.8 Fatalities 1,000	
* 1949 08 05 - Ambato, Ecuador - M 6.8 Fatalities 5,050	
* 1998 08 04 - Near Coast of Ecuador - M 7.2	
* 2007 11 16 - Peru-Ecuador border region - M 6.8	
Egypt	
* 1992 10 12 - Egypt - M 5.8 Fatalities 552	
El Salvador	
* 1951 05 06 - Jucuapa, El Salvador - M 6.2 Fatalities 400	
* 1965 05 03 - La Libertad, El Salvador - M 6.3 Fatalities 125	
* 1986 10 10 - El Salvador - M 5.5 Fatalities 1,000	
* 2001 01 13 - El Salvador - M 7.7 Fatalities 852	
* 2001 02 13 - El Salvador - M 6.6 Fatalities 315	
	Guam
	* 1993 08 08 - South of the Mariana Islands - M 7.8
	* 2002 04 26 - Mariana Islands - M 7.1
	* 2008 05 09 - Guam region - M 6.7

Japan	
* 1891 10 27 - Mino-Owari, Japan - M 8.0 Fatalities 7,273	
* 1896 06 15 - Sanriku, Japan - M 8.5 Fatalities 27,000	
* 1923 09 01 - Kanto (Kwanto), Japan - M 7.9 Fatalities 143,000	
* 1927 03 07 - Tango, Japan - M 7.6 Fatalities 3,020	
* 1933 03 02 - Sanriku, Japan - M 8.4 Fatalities 2,990	
* 1943 09 10 - Tottori, Japan - M 7.4 Fatalities 1,190	
* 1944 12 07 - Tonankai, Japan - M 8.1 Fatalities 998	
* 1945 01 12 - Mikawa, Japan - M 7.1 Fatalities 1,961	
* 1946 12 20 - Nankaido, Japan - M 8.1 Fatalities 1,330	
* 1948 06 28 - Fukui, Japan - M 7.3 Fatalities 3,769	
* 1964 06 16 - Niigata, Japan - M 7.5 Fatalities 26	
* 1995 01 16 - Kobe, Japan - M 6.9 Fatalities 5,502	
* 2000 10 06 - Western Honshu, Japan - M 6.7	
* 2003 05 26 - Near the East Coast of Honshu, Japan - M 7.0	Jordan
* 2003 09 25 - Hokkaido, Japan Region - M 8.3	
* 2003 10 08 - Hokkaido, Japan Region - M 6.7	* 2004 02 11 - Dead Sea Region - M 5.3
* 2003 10 31 - Off the East Coast of Honshu, Japan - M 7.0	
* 2004 05 29 - Off the East Coast of Honshu, Japan - M 6.5	Kashmir
* 2004 09 05 - Near the South Coast of Western Honshu, Japan - M 7.2	
* 2004 09 05 - Near the South Coast of Honshu, Japan - M 7.4	* 2002 11 20 - Northwestern Kashmir - M 6.3 Fatalities 19
* 2004 09 06 - Near the South Coast of Honshu, Japan - M 6.6	
* 2004 10 23 - Near the West Coast of Honshu, Japan - M 6.6 Fatalities 40	Kazakhstan
* 2004 11 28 - Hokkaido, Japan Region - M 7.0	
* 2004 12 06 - Hokkaido, Japan Region - M 6.8	* 1887 06 08 - Almaty, Kazakhstan - M 7.3
* 2005 03 20 - Kyushu, Japan - M 6.6 Fatalities 1	
* 2005 07 23 - Near the South Coast of Honshu, Japan - M 5.9	Kyrgyzstan
* 2005 08 16 - Near the East Coast of Honshu, Japan - M 7.2	
* 2005 10 19 - Near the East Coast of Honshu, Japan - M 6.3	* 1911 01 03 - Chong-Kemin, Kyrgyzstan - M 7.8 Fatalities 450
* 2005 11 14 - Off the East Coast of Honshu, Japan - M 7.0	
* 2005 12 02 - Near the East Coast of Honshu, Japan - M 6.5	Leeward Islands
* 2006 06 11 - Kyushu, Japan - M 6.3	
* 2007 03 25 - Near the West Coast of Honshu, Japan - M 6.7 Fatalities 1	* 1843 02 08 - Leeward Islands - M 8.3 Fatalities 5,000
* 2007 07 16 - Near the west coast of Honshu, Japan - M 6.6 Fatalities 9	* 1969 12 25 - Guadeloupe, Leeward Islands - M 7.2
* 2008 05 07 - Near the East Coast of Honshu, Japan - M 6.8	* 1974 10 08 - Leeward Islands - M 7.5
* 2008 06 13 - Eastern Honshu, Japan - M 6.8 Fatalities 9	* 2004 11 21 - Leeward Islands - M 6.3 Fatalities 1
	Micronesia
	* 2005 01 16 - State of Yap, Fed. States of Micronesia - M 6.6
	* 2007 09 30 - South of the Mariana Islands - M 6.9
Mexico	Mongolia
* 1887 05 03 - Northern Sonora, Mexico - M 7.4 Fatalities 51	* 1905 07 09 - Mongolia - M 8.4
* 1907 04 15 - Guerrero, Mexico - M 7.7	* 1957 12 04 - Gobi-Altay, Mongolia - M 8.1 Fatalities 30
* 1911 06 07 - Off Guerrero, Mexico - M 7.7 Fatalities 45	
* 1931 01 15 - Oaxaca, Mexico - M 7.8 Fatalities 114	Morocco
* 1932 06 03 - Jalisco, Mexico - M 8.1 Fatalities 45	
* 1932 08 18 - Colima, Mexico - M 7.8	* 1960 02 29 - Agadir, Morocco - M 5.7 Fatalities 10,000
* 1957 07 28 - Guerrero, Mexico - M 7.9 Fatalities 68	* 2004 02 24 - Strait of Gibraltar - M 6.4 Fatalities 631
* 1959 08 26 - Vera Cruz, Mexico - M 6.8 Fatalities 20	
* 1962 05 11 - Guerrero, Mexico - M 7.0 Fatalities 4	Mozambique
* 1962 05 19 - Guerrero, Mexico - M 7.1 Fatalities 3	
* 1964 07 06 - Guerrero, Mexico - M 6.9 Fatalities 30	* 2006 02 22 - Mozambique - M 7.0 Fatalities 4
* 1965 08 23 - Oaxaca, Mexico - M 7.3 Fatalities 6	
* 1968 08 02 - Oaxaca, Mexico - M 7.1 Fatalities 18	Myanmar
* 1979 10 15 - Imperial Valley, Mexico - California Border - M 6.4	
* 1985 09 19 - Michoacan, Mexico - M 8.0 Fatalities 9,500	* 2003 09 21 - Myanmar - M 6.6
* 1999 06 15 - Central Mexico - M 7.0	
* 1999 09 30 - Oaxaca, Mexico - M 7.5	New Zealand
* 2002 02 22 - near Mexicali, Mexico - M 5.7	
* 2002 12 10 - Mexicali, Baja California, Mexico - M 4.8	* 1855 01 23 - Wellington, New Zealand - M 8.0 Fatalities 4
* 2003 01 22 - Offshore Colima, Mexico - M 7.6 Fatalities 29	* 1931 02 02 - Hawke's Bay, New Zealand - M 7.9 Fatalities 256
* 2003 09 11 - near Mexicali, Baja California, Mexico - M 3.7	* 1988 05 23 - Inangahua, New Zealand - M 7.1 Fatalities 2
* 2004 06 15 - Offshore Baja California, Mexico - M 5.1	* 2003 05 04 - Kermadec Islands, New Zealand - M 6.7
* 2006 01 04 - Gulf of California - M 6.6	* 2003 08 21 - South Island of New Zealand - M 7.2
* 2006 08 11 - Michoacan, Mexico - M 5.9	* 2004 11 22 - Off West Coast of South Island, N.Z. - M 7.1
* 2008 02 12 - Oaxaca, Mexico - M 6.4	* 2007 10 15 - South Island of New Zealand - M 6.8
	* 2007 12 20 - Off east coast of the North Island, New Zealand - M 6.6 Fatalities 1

Nicaragua	
* 1931 03 31 - Managua, Nicaragua - M 6.0 Fatalities 2,500	
* 1951 08 02 - Cosiguina, Nicaragua - M 5.8 Fatalities 1,000	
* 1972 12 23 - Nicaragua - M 6.2 Fatalities 5,000	
* 1992 09 02 - Nicaragua - M 7.6 Fatalities 116	
* 2004 10 09 - Near the Coast of Nicaragua - M 7.0	
* 2005 07 02 - Near the Coast of Nicaragua - M 6.6	
Pacific Ocean	
* 1997 10 14 - South of Fiji Islands - M 7.8	
* 1998 01 04 - Loyalty Islands Region - M 7.5	
* 1998 03 25 - Balleny Islands Region - M 8.1	
* 1999 02 06 - Santa Cruz Islands - M 7.3	
* 2002 08 19 - Fiji Islands - M 7.7	
* 2002 08 19 - Fiji Islands - M 7.7	
* 2003 12 27 - Southeast of the Loyalty Islands - M 7.3	
* 2005 02 05 - Celebes Sea - M 7.1 Fatalities 2	
* 2005 04 11 - Southeast of the Loyalty Islands - M 6.7	
* 2006 02 26 - South of the Fiji Islands - M 6.4	
* 2006 05 16 - Kermadec Islands Region - M 7.4	
* 2006 09 28 - Samoa Islands Region - M 6.9	
* 2007 01 31 - Kermadec Islands, New Zealand - M 6.5	
* 2007 07 16 - Sea of Japan - M 6.8	
* 2007 08 20 - Philippine Islands region - M 6.4	
* 2007 09 28 - Southeast of Loyalty Islands - M 6.5	
* 2007 09 28 - Mariana Islands region - M 7.5	
* 2007 09 30 - Auckland Islands, New Zealand region - M 7.4	
* 2007 09 30 - Auckland Islands, New Zealand region - M 6.6	
* 2007 10 31 - Pagan Region, Northern Mariana Islands - M 7.2	
* 2007 12 09 - South of the Fiji Islands - M 7.8	
* 2008 03 03 - Philippine Islands region - M 6.9	
* 2008 04 09 - Loyalty Islands - M 7.3	
Peru	
* 1619 02 14 - Trujillo, Peru - M 7.7 Fatalities 350	
* 1684 05 12 - Ica, Peru - M 7.3 Fatalities 400	
* 1687 10 20 - Lima, Peru - M 8.5 Fatalities 600	
* 1746 10 28 - Lima, Peru Fatalities 5,000	
* 1821 07 10 - Camana, Peru - M 8.2 Fatalities 162	
* 1868 08 13 - Arica, Peru (now Chile) - M 9.0 Fatalities 25,000	
* 1908 12 12 - Off the Coast of Central Peru - M 8.2	
* 1913 11 04 - Abancay, Peru Fatalities 150	
* 1940 05 24 - Callao, Peru - M 8.2 Fatalities 249	
* 1942 08 24 - Off the coast of central Peru - M 6.2 Fatalities 30	
* 1943 01 30 - Yanaoca, Peru Fatalities 200	
* 1946 11 10 - Ancash, Peru - M 7.3 Fatalities 1,400	
* 1947 11 01 - Satipo, Peru - M 7.3 Fatalities 233	
* 1948 05 11 - Moquegua, Peru - M 7.4 Fatalities 70	
* 1950 05 21 - Cusco, Peru - M 6.0 Fatalities 83	
* 1953 12 12 - Tumbes, Peru - M 7.4 Fatalities 7	
* 1958 01 15 - Arequipa, Peru - M 7.3 Fatalities 28	
* 1960 01 13 - Arequipa, Peru - M 7.5 Fatalities 57	
* 1966 10 17 - Near the Coast of Peru - M 8.1 Fatalities 125	
* 1968 06 19 - Moyobamba, Peru - M 6.9 Fatalities 46	
* 1968 10 01 - Comas region, Chile - M 6.4 Fatalities 136	
* 1970 05 31 - Chimbote, Peru - M 7.9 Fatalities 66,000	
* 1974 10 03 - Near the Coast of Central Peru - M 8.1	
* 2001 08 23 - Near the Coast of Peru - M 8.4 Fatalities 138	
* 2001 07 07 - Near the Coast of Peru - M 7.6 Fatalities 1	
* 2002 10 12 - Peru-Brazil border region - M 6.9	
* 2005 09 28 - Northern Peru - M 7.5 Fatalities 5	
* 2006 10 20 - Near the Coast of Central Peru - M 6.7	
* 2007 08 15 - Near the Coast of Central Peru - M 8.0 Fatalities 514	
* 2007 11 16 - Peru-Ecuador border region - M 6.8	
Pakistan	
* 1935 05 30 - Quetta, Pakistan - M 7.5 Fatalities 30,000	
* 1945 11 27 - Makran Coast, Pakistan - M 8.0 Fatalities 4,000	
* 1974 12 28 - Northern Pakistan - M 6.2 Fatalities 5,300	
* 2005 10 08 - Pakistan - M 7.6 Fatalities 86,000	
Panama	
* 1974 07 13 - Panama-Colombia border region - M 7.3 Fatalities 11	
Papua New Guinea	
* 1998 07 17 - Near North Coast of New Guinea, Papua New Guinea - M 7.0 Fatalities 2,183	
* 1999 05 10 - New Britain region, Papua New Guinea - M 7.1	
* 1999 05 16 - New Britain region, Papua New Guinea - M 7.1	
* 2000 11 16 - New Ireland Region, Papua New Guinea - M 8.0 Fatalities 2	
* 2000 11 16 - New Ireland Region, Papua New Guinea - M 7.8	
* 2000 11 17 - New Britain region, Papua New Guinea - M 7.8	
* 2002 09 08 - New Guinea, Papua New Guinea - M 7.6 Fatalities 4	
* 2003 01 10 - New Ireland, Papua New Guinea, region - M 6.7	
* 2003 03 11 - New Ireland Region, Papua New Guinea - M 6.8	
* 2003 06 07 - New Britain region, Papua New Guinea - M 6.6	
* 2005 09 09 - New Ireland Region, Papua New Guinea - M 7.6	
* 2005 09 28 - New Britain region, Papua New Guinea - M 6.8	
* 2005 12 11 - New Britain region, Papua New Guinea - M 6.6	
* 2006 09 01 - Bougainville Region, Papua New Guinea - M 6.8	
* 2006 10 17 - New Britain region, Papua New Guinea - M 6.7	
* 2007 06 28 - Bougainville region, Papua New Guinea - M 6.7	
* 2007 09 26 - New Ireland Region, Papua New Guinea - M 6.8	
* 2007 11 22 - Eastern New Guinea Region, Papua New Guinea - M 6.8	
Philippines	
* 1976 08 16 - Mindanao, Philippines - M 7.9 Fatalities 8,000	
* 1990 07 16 - Luzon, Philippine Islands - M 7.7 Fatalities 1,621	
* 2001 01 01 - Mindanao, Philippines - M 7.5	
* 2002 03 05 - Mindanao, Philippines - M 7.5 Fatalities 15	
* 2003 11 18 - Samar, Philippines - M 6.5 Fatalities 1	
* 2004 10 08 - Mindoro, Philippines - M 6.5	
Portugal	
* 1755 11 01 - Lisbon, Portugal - M 8.7 Fatalities 70,000	
Puerto Rico	
* 1787 05 02 - Puerto Rico - M 8.0	
* 1867 11 18 - Puerto Rico Region	
* 1919 10 11 - Mona Passage - M 7.5 Fatalities 116	
Romania	
* 1940 11 10 - Vrancea, Romania - M 7.3 Fatalities 1,000	
* 1977 03 04 - Romania - M 7.2 Fatalities 1,500	
* 2004 10 27 - Romania - M 5.9	

Russia	
* 1923 02 03 - Kamchatka - M 8.5	
* 1952 11 04 - Kamchatka - M 9.0	
* 1957 06 27 - Stanovoy Mountains, Russia (USSR) - M 7.6	
* 1958 11 06 - Kuril Islands - M 8.3	
* 1963 10 13 - Kuril Islands - M 8.5	
* 1995 05 27 - Sakhalin Island - M 7.1 Fatalities 1,989	
* 1997 12 05 - Near East Coast of Kamchatka - M 7.8	
* 2002 11 17 - Kuril Islands, Russia - M 7.3	
* 2003 07 27 - Primor'ye, Russia - M 6.8	South Sandwich Islands
* 2003 09 27 - Southwestern Siberia, Russia - M 7.3 Fatalities 3	
* 2003 10 01 - Southwestern Siberia, Russia - M 6.7	* 2008 02 23 - South Sandwich Islands region - M 6.7
* 2003 12 05 - Komandorskiye Ostrova, Russia Region - M 6.7	
* 2004 06 10 - Kamchatka Peninsula, Russia - M 6.9	Southern Ocean
* 2006 04 20 - Koryakia, Russia - M 7.6	
* 2006 11 15 - Kuril Islands - M 8.3	* 2004 12 23 - North of Macquarie Island - M 8.1
* 2007 01 13 - East of the Kuril Islands - M 8.1	* 2007 01 30 - West of Macquarie Island - M 6.9
	* 2007 11 10 - North of Macquarie Island - M 6.6
	* 2008 04 12 - Macquarie Island region - M 7.1
Solomon Islands	
* 2003 01 20 - Solomon Islands - M 7.3	Spain
* 2004 10 08 - Solomon Islands - M 6.8	
* 2004 11 09 - Solomon Islands - M 6.9	* 1954 03 29 - Spain - M 7.9
* 2004 11 11 - Solomon Islands - M 6.7	
* 2007 04 01 - Solomon Islands - M 8.1 Fatalities 54	Syria
* 2007 08 16 - Solomon Islands - M 6.5	
* 2007 09 02 - Santa Cruz Islands - M 7.2	* 1138 08 09 - Aleppo, Syria Fatalities 230,000
* 2007 11 27 - Solomon Islands - M 6.6	* 2004 02 11 - Dead Sea Region - M 5.3
Taiwan	
* 1906 03 16 - Chia-I, Taiwan - M 6.8 Fatalities 1,250	
* 1910 04 12 - Taiwan region - M 7.6	
* 1920 06 05 - Taiwan region - M 8.0 Fatalities 5	Tajikistan
* 1935 04 20 - Taiwan (Formosa) - M 7.1 Fatalities 3,270	
* 1935 07 16 - Taiwan (Formosa) - M 6.5 Fatalities 2,740	* 1907 10 21 - Qarateg, Tsjikistan - M 8.0 Fatalities 12,000
* 1959 04 26 - Taiwan region - M 7.5 Fatalities 2	* 1911 02 18 - Sarez, Tajikistan - M 7.4 Fatalities 90
* 1972 01 25 - Taiwan region - M 7.5 Fatalities 1	* 1949 07 10 - Khat, Tajikistan - M 7.5 Fatalities 12,000
* 1972 01 25 - Taiwan region - M 7.0	* 1998 02 04 - Afghanistan-Tajikistan Border Region - M 5.9 Fatalities 2,323
* 1972 04 24 - Taiwan region - M 7.2 Fatalities 4	* 1998 05 30 - Afghanistan-Tajikistan Border Region - M 6.6 Fatalities 4,000
* 1998 05 03 - Southeast of Taiwan - M 7.5	Tanzania
* 1999 09 20 - Taiwan - M 7.6 Fatalities 2,400	
* 2002 03 31 - Taiwan region - M 7.1 Fatalities 5	* 2002 10 24 - Lake Tanganyika region - M 6.2
* 2002 05 15 - Taiwan - M 6.2 Fatalities 1	* 2005 12 05 - Lake Tanganyika Region, Congo-Tanzania - M 6.8 Fatalities 6
* 2003 12 10 - Taiwan - M 6.8	* 2007 07 17 - Tanzania - M 5.9
* 2004 10 15 - Taiwan Region - M 6.7	
* 2004 11 08 - Taiwan Region - M 6.3	Tonga
* 2006 12 26 - Taiwan Region - M 7.1 Fatalities 2	
* 2006 12 26 - Taiwan Region - M 6.9	* 2006 05 03 - Tonga - M 8.0
* 2007 09 06 - Taiwan Region - M 6.2	

	Turkmenistan
	* 1948 10 05 - Ashgabat, Turkmenistan - M 7.3 Fatalities 110,000
Turkey	United Kingdom
* 1668 08 17 - Anatolia, Turkey - M 8.0 Fatalities 8,000	* 1979 12 26 - Carlisle, Northern England - M 4.5
* 1899 09 20 - Menderes Valley, Turkey - M 6.9 Fatalities 1,100	* 2002 09 22 - United Kingdom - M 5.0
* 1901 12 18 - Ayvalik, Turkey (Ottoman Empire) - M 5.9	* 2008 02 27 - England, United Kingdom - M 4.8
* 1903 04 28 - Turkey - M 7.0 Fatalities 3,500	
* 1903 05 28 - Gole, Turkey (Ottoman Empire) - M 5.8 Fatalities 1,000	Uzbekistan
* 1912 08 09 - Murefte, Turkey (Ottoman Empire) - M 7.8 Fatalities 2,800	
* 1914 10 03 - Burdur, Turkey (Ottoman Empire) - M 7.0 Fatalities 4,000	* 1902 12 16 - eastern Uzbekistan (Turkestan) - M 6.4 Fatalities 4,700
* 1939 12 26 - Erzincan, Turkey - M 7.8 Fatalities 32,700	* 1966 04 25 - Tashkent, USSR - M 5.0 Fatalities 10
* 1942 11 26 - Turkey - M 7.6 Fatalities 4,000	
* 1942 12 20 - Erbaa, Turkey - M 7.3 Fatalities 1,100	Vanuatu
* 1943 11 26 - Ladik, Turkey - M 7.6 Fatalities 4,000	
* 1944 02 01 - Gerede, Turkey - M 7.4 Fatalities 2,790	* 2002 01 02 - Vanuatu Islands - M 7.2
* 1946 05 31 - Ustukran, Turkey - M 5.9 Fatalities 1,300	* 2003 11 06 - Vanuatu Islands - M 6.6
* 1949 08 17 - Erzurum, Turkey - M 6.8 Fatalities 320	* 2005 02 08 - Vanuatu - M 6.7
* 1951 08 13 - Kursunlu, Turkey - M 6.7 Fatalities 50	* 2007 03 25 - Vanuatu - M 7.1
* 1953 03 18 - Yenice-Gonen, Turkey - M 7.3 Fatalities 1,073	* 2007 08 01 - Vanuatu - M 7.2
* 1957 04 25 - Fethiye, Turkey - M 7.1 Fatalities 15	* 2008 03 12 - Vanuatu - M 6.4
* 1957 05 26 - Bolu Province, Turkey - M 7.1 Fatalities 66	
* 1964 10 06 - Western Turkey - M 7.0 Fatalities 36	Venezuela
* 1965 06 13 - Denizli, Turkey - M 5.4 Fatalities 2	
* 1966 08 19 - Varto, Turkey - M 6.8 Fatalities 2,529	* 1812 03 26 - Caracas, Venezuela - M 7.7 Fatalities 26,000
* 1967 07 22 - Mudurnu Valley, Turkey - M 7.3 Fatalities 173	* 1967 07 29 - Near the Coast of Venezuela - M 6.5
* 1968 09 03 - Bartin, Turkey - M 6.6 Fatalities 24	* 1997 07 09 - Near Coast of Venezuela - M 7.0
* 1969 03 28 - Alasehir, Turkey - M 6.4 Fatalities 11	
* 1970 03 28 - Gediz, Turkey - M 6.9 Fatalities 1,086	Windward Islands
* 1971 05 12 - Western Turkey - M 6.3	
* 1971 05 22 - Eastern Turkey - M 6.9 Fatalities 1,000	* 2007 11 29 - Martinique Region, Windward Islands - M 7.4 Fatalities 1
* 1975 09 06 - Turkey - M 6.7 Fatalities 2,000	
* 1983 10 30 - Turkey - M 6.9 Fatalities 1,342	Yemen
* 1999 08 17 - Izmit, Turkey - M 7.6 Fatalities 17,118	
* 1999 11 12 - Duzce, Turkey - M 7.2 Fatalities 894	* 1982 12 13 - Yemen - M 6.0 Fatalities 2,800
* 2002 02 03 - Turkey - M 6.5 Fatalities 44	
* 2003 01 27 - Turkey - M 6.1	Yugoslavia
* 2003 05 01 - Eastern Turkey - M 6.4 Fatalities 177	
* 2004 07 01 - Eastern Turkey - M 5.1 Fatalities 18	* 1963 07 26 - Skopje, Former Yugoslav Rep. of Macedonia - M 6.0 Fatalities 1,100

Los eventos presentados anteriormente apoyan la repartición del peligro sísmico en el mundo, la frecuencia de sismos de alta magnitud es directamente asociada a las zonas de alta actividad sísmica. De los países mencionados se destacan los países de latino América, es decir de América central, Sur América y de los Caribes.

B. Latino América y los Caribes

La actividad sísmica en América Latina es definida por la actividad des 5 placas tectónicas: placa de Cocos, placa Norteamericana, placa de Nazca, placa Escocesa y la placa Sudamericana. Los países más vulnerables al peligro sísmico son los países ubicados en la zona roja de la siguiente figura. Entre ellos se encuentra México.

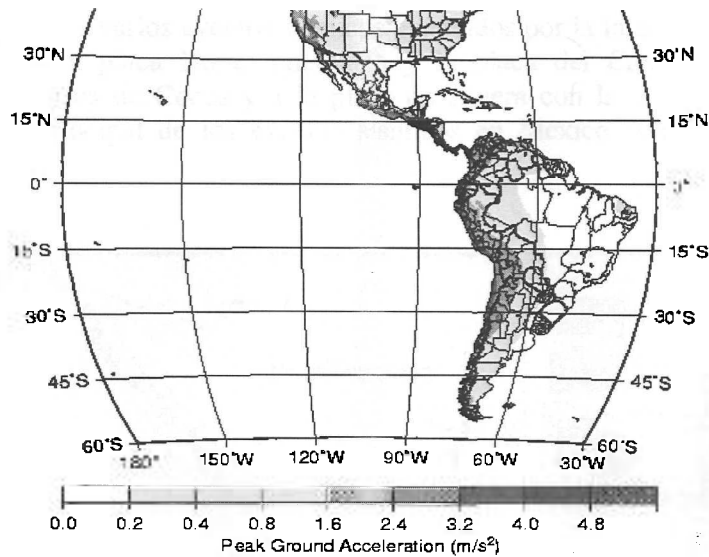


Figura 1-4: Zonas sísmicas en América Latina según la aceleración máxima del suelo (m/s^2) [1]

La alta actividad sísmica de la costa pacífica de América Latina se destaca de los otros fenómenos naturales que afectan los países del continente. A continuación se presenta un diagrama revelador de la problemática sísmica en latino América.

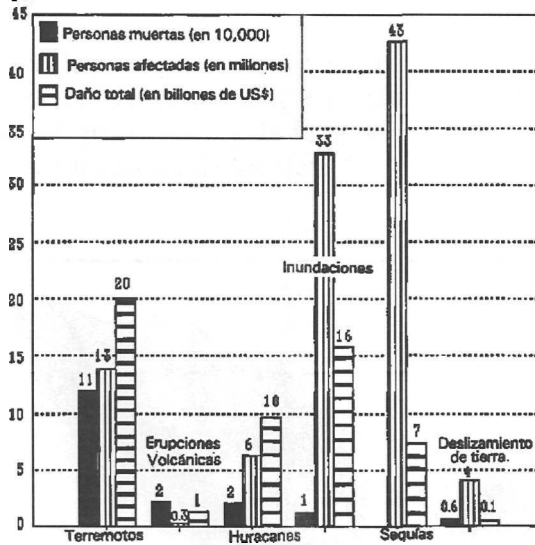


Figura 1-5: Impacto de los desastres naturales en América Latina y el Caribe: 1960- 1989[3]

De la figura anterior se puede concluir que el fenómeno sísmico es el fenómeno natural que ha generado más pérdidas económicas y humanas durante los años 1960 y 1989 logrando llegar a los 20 billones de pérdidas en Dólares US y pasando la barra de los 100,000 víctimas en menos de 30 años. Uno de los países más expuesto al peligro sísmico se destaca México.

C. En México

México se ubica en zona de alta actividad sísmica, sobre todo la costa pacífica mexicana la

cual se encuentra sujeta a varios eventos sísmicos generados por la interacción entre la placas tectónicas de Cocos, la placa Norte americana y la placa del Caribe. El fenómeno de subducción entre la placa de Cocos y a la placa de Rivera con la placa Norte Americana representa la causa principal de los eventos sísmicos en México como se muestra en la siguiente figura:

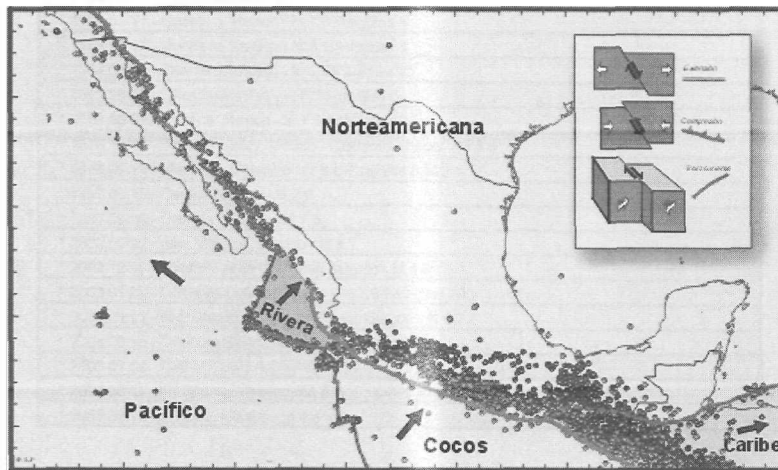


Figura 1-6: Actividad sísmica en México

Los eventos sísmicos históricos que ocurrieron en México permitieron elaborar una repartición del peligro sísmico. Esta repartición se divide en 4 zonas enumeradas de A a D, A siendo la zona de menor peligro sísmico y D la de mayor actividad sísmica. Se muestra a continuación la regionalización sísmica de México:

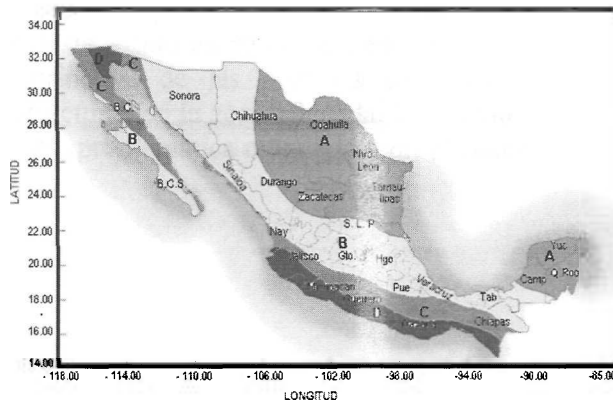


Figura 1-7: Regionalización sísmica de México

Los sismos históricos que ocurrieron en México se ubican en las zonas C y D de mayor actividad sísmica como se presenta a continuación en la tabla 1-2:

Tabla 1-2: Sismos históricos en México[2]

Mexico
* 1887 05 03 - Northern Sonora, Mexico - M 7.4 Fatalities 51
* 1907 04 15 - Guerrero, Mexico - M 7.7
* 1911 06 07 - Off Guerrero, Mexico - M 7.7 Fatalities 45
* 1931 01 15 - Oaxaca, Mexico - M 7.8 Fatalities 114
* 1932 06 03 - Jalisco, Mexico - M 8.1 Fatalities 45
* 1932 06 18 - Colima, Mexico - M 7.8
* 1957 07 28 - Guerrero, Mexico - M 7.9 Fatalities 68
* 1959 08 26 - Vera Cruz, Mexico - M 6.8 Fatalities 20
* 1962 05 11 - Guerrero, Mexico - M 7.0 Fatalities 4
* 1962 05 19 - Guerrero, Mexico - M 7.1 Fatalities 3
* 1964 07 06 - Guerrero, Mexico - M 6.9 Fatalities 30
* 1965 08 23 - Oaxaca, Mexico - M 7.3 Fatalities 6
* 1968 08 02 - Oaxaca, Mexico - M 7.1 Fatalities 18
* 1979 10 15 - Imperial Valley, Mexico - California Border - M 6.4
* 1985 09 19 - Michoacan, Mexico - M 8.0 Fatalities 9,500
* 1999 06 15 - Central Mexico - M 7.0
* 1999 09 30 - Oaxaca, Mexico - M 7.5
* 2002 02 22 - near Mexicali, Mexico - M 5.7
* 2002 12 10 - Mexicali, Baja California, Mexico - M 4.8
* 2003 01 22 - Offshore Colima, Mexico - M 7.6 Fatalities 29
* 2003 09 11 - near Mexicali, Baja California, Mexico - M 3.7
* 2004 06 15 - Offshore Baja California, Mexico - M 5.1
* 2006 01 04 - Gulf of California - M 6.6
* 2006 08 11 - Michoacan, Mexico - M 5.9
* 2008 02 12 - Oaxaca, Mexico - M 6.4

De la información presentada anteriormente y entrando en el detallado de los eventos presentados, se puede afirmar que las pérdidas humanas como económicas son la consecuencia directa de los eventos sísmicos que ocurrieron sin embargo estos eventos no son la causa directa de tantas pérdidas. De estos sismos históricos que marcaron la historia del ser humano, se pueden destacar los siguientes elementos o factores que aumentan las cifras:

- fuerte densidad poblacional
- estructuras frágiles al efecto sísmico
- falta de recursos o incapacidad en ayudar a los damnificados
- aparición de enfermedades generadas posteriormente al fenómeno natural

De estos factores se destaca uno en particular, estructuras frágiles o no adecuadas al efecto sísmico. La causa principal de las pérdidas económicas como humanas se relaciona directamente a las estructuras de la zona afectada. Por lo tanto, de la problemática sísmica en el mundo se destaca otra problemática mundial: la problemática de las viviendas en el mundo.

II. La problemática de vivienda

A. En el mundo

Las necesidades básicas del ser humano pueden ser resumidas a tener alimento, vestido y un albergue. Actualmente la población mundial aproxima los 6 billones de habitantes. El 50% vive en áreas urbanas y esta cifra va aumentando con el crecimiento

poblacional mundial. Se predice que en 2025, el 84% de la población mundial hará parte del tercer mundo. Estas cifras destacan un problema que va creciendo con el tiempo: ¿cual será el procedimiento para responder a la necesidad de un albergue para todos y que tipo de albergue se puede ofrecer?

El déficit de viviendas aumenta cada año dado que el crecimiento poblacional mundial conoció igualmente un crecimiento importante. Este crecimiento poblacional fuerte genera en muchos de los países del tercer mundo un éxodo rural dado que las condiciones rurales se degradan. Este éxodo de población hacia las ciudades grandes genera un problema de sobrepoblación el cual se traduce por una demanda de viviendas que no logra ser satisfecha, generando en algunas ciudades del mundo construcciones precarias que solo satisfacen las necesidades presentes. Uno de los continentes que refleja la situación mundial actual es Latino América.

B. En México

Prácticamente todos los habitantes de México cuentan con alguna forma de vivienda, sin embargo una gran proporción de ellos habitan en viviendas que no satisfacen las condiciones mínimas para una existencia humana sana y digna. Una vivienda adecuada permite a su habitante cumplir con las necesidades básicas en materia de protección, higiene, privacidad, comodidad, funcionalidad, ubicación y seguridad a la tenencia.

La protección se refiere a la capacidad de la vivienda para aislar a sus ocupantes de agentes exteriores potencialmente amenazadores. La higiene resalta las condiciones que requiere una vivienda para evitar que sus ocupantes contraigan enfermedades. La privacidad es la posibilidad que ofrece una vivienda para aislar a sus habitantes a voluntad del medio social y físico. La comodidad y la funcionalidad se refieren a la distribución que adopta la vivienda expresando y respetando a las pautas culturales y hábitos familiares de vida. La ubicación se refiere a la proximidad y/o facilidad de transportación en relaciona centros de trabajo, comercio y esparcimiento. Y finalmente, la seguridad en la tenencia es la seguridad de la disponibilidad futura de la vivienda, factor importante por razones tanto económicas como sociales y psicológicas.

Sin embargo, los rasgos de la problemática mundial se observan igualmente en México:

- Crecimiento poblacional importante: Mas del 50% de la población de México nació depuse de los años 1975.

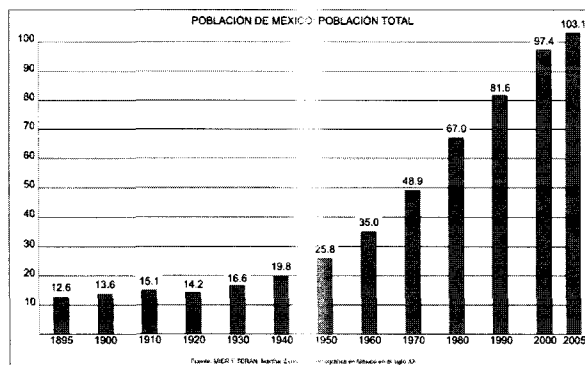


Figura 1-3: Crecimiento poblacional de México desde 1895 hasta 2005 [4]

- Éxodo rural creciente: el flujo migratorio rural-urbano a crecido de mas del 600% en las ultimas 3 generaciones y la dinámica de expansión poblacional de los principales centros urbanos se sitúa entre el 3.5% y 4.5% al año.
- Falta de ingreso: el 1977, 41.4% de los hogares percibían un ingreso familiar no superior a un salario mínimo, el 64.2% no superior a dos salarios mínimos y el 83.3% no superior a cuatro salarios mínimos.

Dentro de los factores que influyen sobre la problemática de la vivienda en México, los mencionados anteriormente permiten confirmar el déficit de vivienda que se hace sentir en México. En los años 2000 el déficit en viviendas total era de 3,6 millones y las previsiones para 2025 alcanzan la cifra de 22,9 millones.

La falta de ingreso ha generado el fenómeno de autoconstrucción, es decir sustituir la demanda de vivienda por la construcción de viviendas con materiales de bajo costo o encontrados a proximidad. Algunas de estas construcciones representan un peligro para sus habitantes frente a los fenómenos naturales que se encuentra confrontado el país de México.

Según las fuentes del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI), México cuenta con más de 21 millón de viviendas repartidas en sus 32 estados. La tipología de vivienda en México es muy variada, pero según el censo general de población y vivienda realizado en el año 2000, la viviendas son generalmente realizadas con material de bajo costo como el material de desecho o la madera, construcciones de adobe y mampostería. De los diversos sismos que han ocurrido en México y de las perdidas que se generan por ellos, las viviendas que han mas sufrido del efecto de sismo son las viviendas de adobe, las cuales se caracterizan por una alta vulnerabilidad cuando están sujetas a fuerzas sísmicas. Sin embargo, la presente investigación desea realizarse para todos los tipos de construcción que se pueden encontrar en México. A continuación se presentan la línea de investigación que se planteara en la presente tesis.

III. Línea de investigación

La destrucción de infraestructuras existentes causado por los fenómenos naturales se traduce por una perdidas materiales, económicas y humanas considerables.

Después de estos desastres naturales que rastran México las perdidas en materia de viviendas fueron extremas y inquietantes para los problemas secundarios que provocan estos fenómenos.

En ese sentido, El instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey incluye en su formación que sus alumnos hagan una investigación relevante que sea relacionado con el desarrollo del país. A través de sus Cátedras de investigación, en especial la de Vivienda, busca mejorar e innovar los procesos y tecnologías para el desarrollo de las viviendas, así como proponer esquemas y metodologías de protección de la vivienda para mitigar los efectos de fuerzas naturales sobre las viviendas.

Dentro de estas líneas de acción se encuentra el área estratégica de viviendas; definir,

analizar y sintetizar el riesgo sísmico de las viviendas.

IV. Objetivos de la investigación

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis de riesgo sísmico de las viviendas en México. El análisis permitirá definir, analizar, sintetizar y cuantificar el riesgo sísmico en el país de México.

V. Objetivos específicos

A. Revisión de literatura

En la revisión de literatura se presentan las fuentes de información que permiten realizar el análisis de riesgo. La literatura revisada se divide en información relativa a la sismicidad, el riesgo sísmico y proyectos o aplicaciones de análisis de riesgo. Con base a la literatura revisada se propone una metodología de análisis.

B. Metodología

Con base a la literatura elegida se define una metodología conforme al plan de trabajo y sus expectativas. La metodología consiste en definir el alcance del estudio, el peligro sísmico y la vulnerabilidad de las viviendas en México. Se desea realizar una metodología simplificada, es decir una metodología que se basa en conceptos básicos de análisis de riesgo tomando en cuenta información accesible a todos, fácil de utilizar y aplicar a otras viviendas de las diferentes regiones del mundo.

C. Aplicación y resultados

Con base a la propuesta de metodología y a su aplicación para las viviendas de México se presentaran los resultados encontrados. Los resultados permiten cuantificar el riesgo sísmico para las viviendas en México y serán presentados en perdidas económicas, es decir en millones de pesos MXN y millones de dólares US.

REFERENCIAS:

- [1]: Internacional Seismic Center (ISC)
- [2]: United Status Geological Survey (USGS)
- [3]: Organization of American States (OAS)
- [4]: Wikipedia

Capitulo II- Revisión de Literatura

I. Conceptos básicos de sismicidad

D. Definiciones

a) Terremotos

Se denomina sismo o terremoto a los movimientos bruscos del terreno producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la tierra o a la tectónica de placas. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones. El punto en que se origina el terremoto se llama foco o hipocentro; este punto se puede situar a un máximo de unos 700 km hacia el interior terrestre. El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del terremoto [figura 1-1] [1]. Los terremotos y los volcanes ocurren más comúnmente en la zona

REFERENCIAS:

- [1]: Internacional Seismic Center (ISC)
- [2]: United Status Geological Survey (USGS)
- [3]: Organization of American States (OAS)
- [4]: Wikipedia

Capitulo II- Revisión de Literatura

I. Conceptos básicos de sismicidad

D. Definiciones

a) Terremotos

Se denomina sismo o terremoto a los movimientos bruscos del terreno producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la tierra o a la tectónica de placas. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones. El punto en que se origina el terremoto se llama foco o hipocentro; este punto se puede situar a un máximo de unos 700 km hacia el interior terrestre. El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del terremoto [figura 1-1] [1]. Los terremotos y los volcanes ocurren más comúnmente en la zona

de colisión entre placas tectónicas. Los terremotos se caracterizan por ocurrir a intervalos irregulares de tiempo entre eventos, así como a la imposibilidad de predicción precisa de su ocurrencia. Los sismos pueden representar una severa amenaza a las comunidades y su infraestructura particularmente cuando la cantidad de energía liberada es grande. Algunos peligros asociados a estos movimientos telúricos son:

- El movimiento del suelo es un peligro que afecta directamente cualquier estructura ubicada cerca del epicentro del terremoto. Las fallas estructurales ocasionan muchas pérdidas humanas en áreas densamente pobladas.
- La falla geológica ocurre como una separación de la roca firme a lo largo de zonas de debilidad.
- Los deslizamientos de tierra ocurren debido al sacudimiento del terreno en áreas que tienen topografía relativamente escarpada y poca estabilidad de taludes.
- La licuefacción de material no consolidado, con poco desnivel, puede ser iniciada por el sacudimiento del suelo. Los flujos y el esparcimiento lateral (fenómenos de licuefacción) son algunos de los peligros geológicos más destructivos.
- La subsidencia o depresión de superficie, resulta del asentamiento de sedimentos flojos o no consolidados. La subsidencia ocurre en suelos saturados de agua, rellenos, aluviales, y compuestos de otros materiales que están sujetos a asentamiento.
- Los tsunamis u ondas sísmicas marítimas, generalmente generadas por actividad sísmica submarina, causan inundación de áreas costeras y pueden afectar áreas a miles de kilómetros de donde ha ocurrido el terremoto.

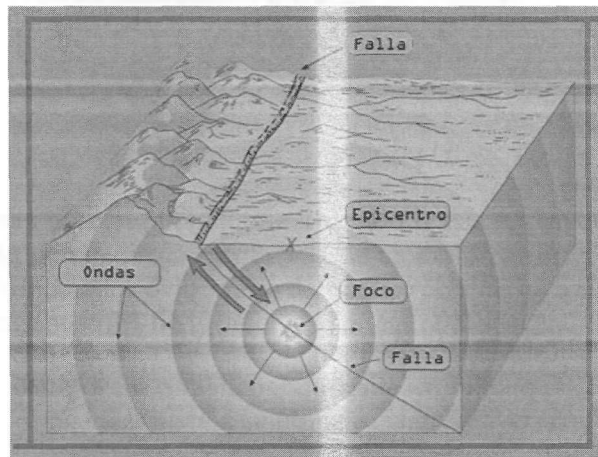


Figura 2-1: Características de un sismo [1]

Los sismos tectónicos se suelen producir en zonas donde la concentración de fuerzas generadas por los límites de las placas tectónicas da lugar a movimientos de reajuste en el interior y en la superficie de la Tierra. Es por esto que los sismos de origen tectónico están íntimamente asociados con la formación de fallas geológicas. Suelen producirse al final de un ciclo denominado ciclo sísmico, que es el período de tiempo durante el cual se acumula deformación en el interior de la Tierra que más tarde se liberará repentinamente. Dicha liberación corresponde con el terremoto, tras el cual, la deformación comienza a acumularse nuevamente. [1]

b) Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas son la propagación de perturbaciones temporales del campo de esfuerzos que generan pequeños movimientos en un medio. En teoría existen dos tipos de ondas que se registran durante un sismo: las ondas de cuerpo y las ondas superficiales.

- Ondas de cuerpo:

La teoría de la elasticidad nos dice que existen dos tipos de ondas elásticas que viajan a través de la Tierra. Se conocen como ondas de cuerpo u ondas internas, las cuales pueden ser compresionales (ondas P) o de corte (ondas S).

Las ondas sísmicas se propagan por el suelo variando sus velocidades respectivas según el tipo de suelo que atraviesen.

- Las ondas P o compresionales (ver figura 1-2) son las que se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en la dirección de propagación, produciendo compresiones y dilataciones en el medio. Las ondas P son las más veloces de todas las ondas sísmicas, y pueden alcanzar velocidades superiores a 5 km/s y hasta 10km/s según el tipo de suelo [2].

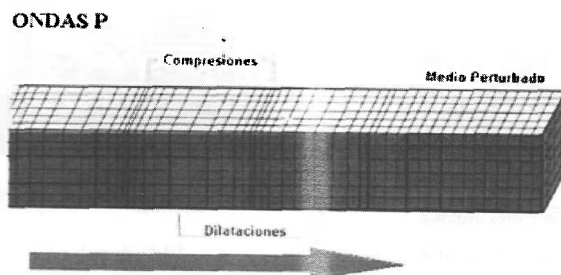


Figura 2-2: Ondas P [1]

- Las ondas S o ondas de corte (ver figura 1-3) son ondas en las cuales las partículas del medio se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación, por lo que están asociadas con deformaciones del terreno de tipo de cizalla. La velocidad de propagación de las ondas S representa 58% de la velocidad de las ondas P [2].

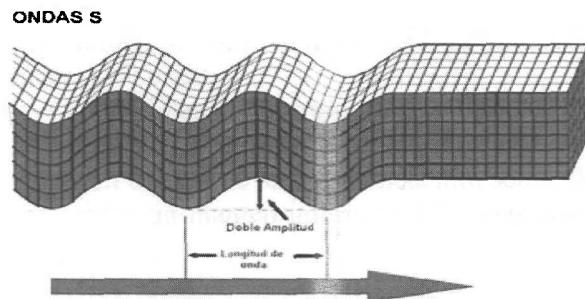


Figura 2-3: Ondas S [1]

- Ondas superficiales

Las ondas superficiales son análogas a las ondas de agua y viajan sobre la superficie de la Tierra. Se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo. Debido a su baja frecuencia provocan resonancia en edificios con mayor facilidad que las ondas de cuerpo y son por ende

las ondas sísmicas más destructivas. Existen dos tipos de ondas superficiales: ondas Rayleigh (ondas R) y ondas Love (ondas L), ver figuras 1-4 y 1-5 respectivamente:

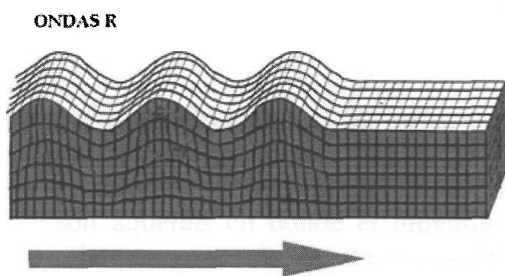


Figura 2-4: Ondas R [1]

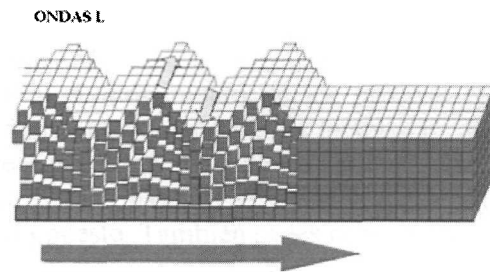


Figura 2-5: Ondas L [1]

c) Fallas

Una falla geológica es una discontinuidad que se forma en las rocas someras de la Tierra por fracturamiento cuando concentraciones de fuerzas tectónicas exceden la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie más o menos bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de deslizamiento tangencial (paralelo) de las rocas a este plano. Las fallas se clasifican en tres tipos según sea la dirección del desplazamiento de las rocas que cortan:

- *Falla inversa*. Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un manto inferior a 45°, estas pasan a tomar el nombre de cabalgamiento, ver figura 1-6.

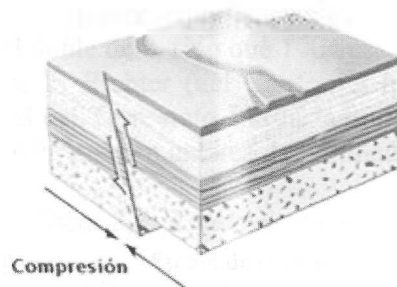


Figura 2-6: Falla inversa [1]

- *Falla normal*. Este tipo de falla se genera por tensión horizontal. El movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se desliza hacia abajo se le denomina bloque de techo, mientras que el que se levanta se llama bloque de piso. Otra manera de identificar estas fallas es la siguiente. Si se considera fijo al bloque de piso (aquel que se encuentra por debajo del plano de falla) da la impresión de que el bloque de techo cae con respecto a este. Conjuntos de fallas normales pueden dar lugar a la formación de *horsts* y *grábenes*. ver figura 2-7.

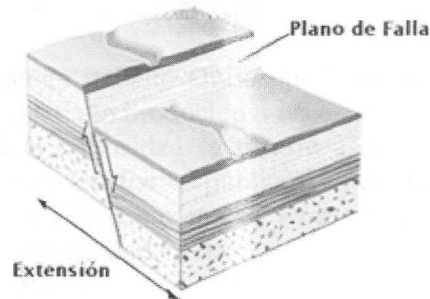


Figura 2-7: *Falla normal* [1]

- *Falla de desgarre*. Estas fallas son verticales y el movimiento de los bloques es horizontal. estas fallas son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: derechas e izquierdas. derechas, o diestras, son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha, mientras que en las izquierdas, o siniestras, es el opuesto. También se les conoce como fallas transversales, ver figura 2-8.

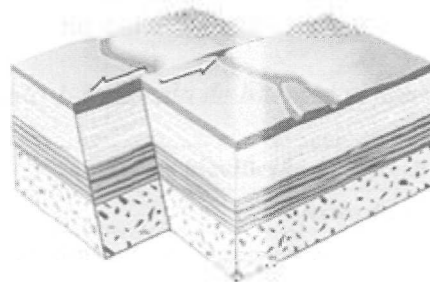


Figura 2-8: *Falla de desgarre* [1]

d) *Magnitud e Intensidad*

Magnitud en Escala Richter

La magnitud en escala de Richter representa la energía sísmica liberada en cada terremoto y se basa en el registro sismográfico. Es una escala que crece en forma semi-logarítmica, de manera que cada punto de aumento puede significar un aumento de energía diez o más veces mayor. Una magnitud 4 no es el doble de 2, sino que 100 veces mayor.

El gran mérito del Dr. Charles F. Richter (del California Institute for Technology, 1935) consistió en asociar la magnitud del Terremoto con la "amplitud" de la onda sísmica, lo que redundó en propagación del movimiento en un área determinada (ver tabla 2-1).

Tabla 2-1: *Escala de Richter*

Escala de Richter	
Magnitud en la escala de Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado

3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas

Intensidad en la Escala de Mercalli Modificada

Creada en 1902 por el sismólogo italiano Giuseppe Mercalli, no se basa en los registros sismográficos sino en el efecto o daño producido a las estructuras y en la sensación percibida por la gente. Para establecer la Intensidad se recurre a la revisión de registros históricos, entrevistas a la gente, noticias de los diarios públicos y personales, etc. La Intensidad puede ser diferente en los diferentes sitios reportados para un mismo terremoto (la Magnitud Richter, en cambio, es una sola) y dependerá de:

- La energía del terremoto.
- La distancia de la falla donde se produjo el terremoto.
- La forma como las ondas llegan al sitio en que se registra (oblicua, perpendicular, etc.).
- Las características geológicas del material subyacente del sitio donde se registra la intensidad.
- La percepción relativa de la población.

Los grados no son equivalentes con la escala de Richter. Se expresa en números romanos y es proporcional, de modo que una Intensidad IV es el doble de II. [1]

Tabla 1-3: Escala de Intensidad Mercalli.

Escala Modificada de Mercalli	
Grado	Efectos del terremoto
I	Microsismo, detectado por instrumentos
II	Percibido por algunas personas
III	Percibido por algunas personas dentro de edificios
IV	Percibido por algunas personas fuera de edificios
V	Percibido por casi todos
VI	Percibido por todos.
VII	Las construcciones sufren daños moderados
VIII	Daños considerables en estructuras
IX	Daños graves y pánico general
X	Destrucción de edificios bien construidos
XI	Casi nada queda en pie
XII	Destrucción total

II. Conceptos del riesgo

Numerosas investigaciones multidisciplinarias coinciden en definir que los riesgos están ligados a actividades humanas. El riesgo implica la presencia de un fenómeno natural o generado por el hombre y que tiene una probabilidad de afectar directamente a un sistema ocasionando daños a ese mismo.

En términos cualitativos, se entiende por riesgo la probabilidad de ocurrencia de danos, perdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La probabilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio o región constituye una amenaza, entendida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores.

En términos cuantitativos, se puede representar el riesgo como una función de tres factores: la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, es decir el peligro, la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos. En forma matemática se puede definir como la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo} = f(\text{Peligro, Vulnerabilidad, Exposición})$$

$$R = f(P, V, E)$$

Ec-1

A continuación se define los parámetros del riesgo:

- Para el estudio de los peligros, es importante definir los fenómenos perturbadores mediante parámetros cuantitativos con un significado físico que pueda medirse numéricamente y ser asociado mediante relaciones físicas con los efectos del fenómeno sobre los bienes expuestos. En la mayoría de los fenómenos pueden distinguirse dos medidas, una de magnitud y la otra de intensidad. En donde la magnitud sería siendo una medida del tamaño del fenómeno, de su potencial destructivo y de la energía que libera mientras que la intensidad sería siendo una medida del tamaño de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un sitio dado. La intensidad sísmica refleja, en cambio, el grado de movimiento que experimenta el terreno en un sitio dado lo que dependerá fundamentalmente de la distancia del sitio al epicentro del sismo y de las características del terreno en el sitio.
- La vulnerabilidad se define como la susceptibilidad de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir el grado de pérdidas esperadas. En términos generales pueden distinguirse dos tipos [3]: vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social. La primera es más factible de cuantificarse en términos físicos, un ejemplo sería la resistencia de una estructura sujeta a un sismo, mientras que la segunda es relativa a valores cualitativos relacionados a los aspectos económicos, educativos, culturales, así como el grado de preparación de las personas frente a un sismo por ejemplo. La vulnerabilidad física se expresa con una probabilidad de daño de un sistema expuesto y se expresa a través de una función

matemática o matriz de vulnerabilidad con valores entre cero y uno. Cero representa que el daño sufrido ante un evento de cierta intensidad es nulo y por otra parte, el uno representa que este daño es igual al valor del bien expuesto.

- La exposición o Grado de exposición se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que factibles de ser dañados. Por lo general, se le asignan unidades monetarias puesto que es común que así se exprese el valor de los danos, aunque no siempre es traducible a dinero. En ocasiones se expresan los valores en términos de porcentajes de determinados tipos de construcción o incluso el número de personas que son susceptibles a verse afectadas. El grado de exposición es un parámetro que varía con el tiempo, el cual está íntimamente ligado al crecimiento y desarrollo de la población y su infraestructura. En cuanto mayor sea el valor de lo expuesto, mayor será el riesgo que se enfrenta. Si el valor de lo expuesto es nulo entonces el riesgo también será nulo, independientemente del valor del peligro. La exposición puede disminuir con el alertamiento anticipado de la ocurrencia de un fenómeno, ya sea a través de una evacuación o inclusive evitando el asentamiento en el sitio.

Una vez que se han identificado y cuantificado el peligro, la vulnerabilidad y el grado de exposición para los diferentes fenómenos perturbadores y sus diferentes manifestaciones, es necesario completar el análisis a través de escenarios de riesgo y representaciones geográficas de las intensidades o de los efectos de eventos extremos como los sismos. Esto resulta de gran utilidad para el establecimiento de acciones de mitigación y prevención de desastres. Ejemplos de escenarios de riesgos serían el porcentaje de viviendas de adobe dañadas para un sismo de determinada magnitud y epicentro, el costo de reparación de la infraestructura dañada por sismo, etc.

III. Metodologías utilizadas

Un análisis de riesgo sísmico es definido por su metodología, el tipo de estructuras que se analizan y la región de estudio elegida. La diversidad geográfica, geológica, cultural y tecnológica que existe en el mundo modifica la definición del riesgo sísmico para un análisis de riesgo. El tipo de material, el diseño estructural y el diseño arquitectónico de la vivienda varía con respecto al país, región o ciudad de estudio. De la misma manera, la pertinencia de un análisis de riesgo depende de los criterios de análisis que se desean estudiar. A continuación se presentan ciertas revisiones de literatura que permitieron realizar la presente investigación.

E. Revisión de literatura I:

Suplemento del reporte final: “Recompilando, Analizando, Cuantificando y Modelando el riesgo sísmico en los estados unidos mexicanos” (*Recompiling, Analyzing, Quantifying and Modeling the seismic risk of the United Mexican states*) por el grupo AIR (2004).

El análisis de riesgo realizado por el grupo AIR delimitó su estudio a las infraestructuras de los estados unidos mexicanos, tomando en cuenta las diversas estructuras que existen en México. Al final del reporte, se presenta los mapeos de riesgo que se calcularon por tipo de infraestructura y según su ubicación por estados. A continuación se presenta los procesos que se utilizaron para llegar a cabo del análisis realizado por el grupo AIR.

El análisis de riesgo realizado por el grupo AIR se divide en tres etapas principales: recabar información, definir la metodología y presentar los resultados. Cada una de estas etapas se vuelven a encontrar en los diversos análisis de riesgo. A continuación se presenta los procesos de cada una de estas etapas.

a) Recabar la información:

Recabar la información representa coleccionar la información necesaria para realizar el análisis pero sobre todo determinar las informaciones que se utilizaran en el análisis, es decir la información que se usara como criterio de evaluación del riesgo sísmico. Este proceso requiere de la definición de las variables o elementos de análisis que permiten establecer los modelos de vulnerabilidad y pérdidas. Un ejemplo de los datos necesarios para realizar un análisis es el que muestra la compañía AIR (2004):

- Estructuras y edificios considerados: tipología de los edificios según su uso, según el tipo de materiales de construcción utilizados en los muros y techos, tipo de materiales para el firme, dimensiones y elementos estructurales principales.
- Estimación del número total de cada tipo de estructura susceptible de poseer un riesgo sísmico según la tipología definida anteriormente y por municipio.
- Definición del costo de reemplazo según su tipología.
- Mapa de México según el tipo de suelo, actividad sísmica, costo de reemplazo de las estructuras por municipio.

La mayoría de la información se puede obtener a partir de las bases de datos propuestas por el Instituto Nacional de Estadísticas Geográficas e Informáticas (INEGI) el cual proporciona bases estadísticas suficientemente amplias para realizar un estudio estadístico para un análisis de riesgo.

El costo de reparación de las viviendas fueron obtenidos por el medio del reporte realizado por el grupo BIMSA (2004) "Costos paramétricos".

Las estructuras estudiadas fueron repartidas en clases de vulnerabilidad y se estableció un porcentaje de estructuras según su tipología por zona sísmica obteniendo una aproximación del número de estructuras por zona sísmica.

b) Metodología:

La metodología utilizada por el grupo AIR se divide en tres partes: modelación de la sismicidad, modelación de la vulnerabilidad de edificios y modelación de las pérdidas.

➤ **Sismicidad:**

La sismicidad se define por un estudio de la actividad sísmica en México: actividad sísmica histórica, ubicación de los epicentros y detalles de la segmentación entre placas, y simulación de sismos para el futuro. La actividad histórica de México permite definir las zonas de ocurrencia de sismo así que las zonas de epicentro más probable de ocurrencia de sismo. La simulación de sismo para el futuro permite evaluar el peligro a corto y largo plazo.

Como se sabe, los sismos pueden ocurrir en cualquier parte del mundo entre su superficie y 0 a 700 Km. debajo de su superficie. Este intervalo de profundidad se divide en tres partes: poca (0 a 70 Km.), intermedia (70 a 300 Km.) y profunda profundidad (300 a 700 Km.). Un indicador que permite determinar si un sismo de alta magnitud tiene un foco de alta profundidad es la amplitud de las ondas P y S registradas por los sismógrafos. El método utilizado para determinar la profundidad del foco se basa en la diferencia de fase de las ondas P o S. Con base a los diferentes registros de las estaciones de sismógrafos, se puede medir la diferencia de fase entre las ondas sísmicas. La diferencia de fase varía lentamente de acuerdo a la distancia, pero con respecto a la profundidad el desfase se hace mayor. De esta manera se calcula el intervalo de tiempo y el resultado encontrado se compara después con tablas de profundidad.

La simulación de sismos para el futuro se define en tres categorías: estimación de ocurrencia de sismos de menor a moderada magnitud, estimación de ocurrencia de sismos de mayor magnitud en fallas activas y zonas de subducción, y la evaluación del movimiento del suelo así como sus condiciones de superficie. Para la estimación de ocurrencia de sismos de menor o moderada magnitud se utilizan leyes de probabilidad basadas en la ocurrencia histórica de los sismos que permiten establecer una curva de sismos ajustada y suavizada. Para la ocurrencia de los sismos de mayor magnitud en fallas activas se usan leyes de probabilidad que toman en cuenta:

- el momento sísmico: $M_0 = \mu LWD$ Ec-2

- el paso del momento sísmico: $M_0^* = \mu L W \delta$ Ec-3

donde:

- μ = modulo de corte,
- L = largo de falla
- W = ancho de falla,
- D = desplazamiento promedio
- δ = paso del deslizamiento.

De la formula anterior se determina el intervalo de recurrencia T del evento de magnitud M se define como:

$$\frac{1}{T} = \frac{M_0^*}{M_0}$$

Ec-4

Para determinar la ocurrencia de los sismos de mayor magnitud en zonas de subducción, el estudio de la compañía AIR se baso en el trabajo de Nishenko (1991) y de Ordaz y Reyes (1999). Con respecto a los estudios mencionados se realizo un ajuste que permite establecer para cada segmento de la placa de Cocos la proporción del momento sísmico. El reporte del AIR, considera que la zona de subducción esta dividida en 17 segmentos. El estudio realizado utiliza una función de densidad de probabilidades para determinar el tiempo de ocurrencia de los sismos. Para cada segmento se establece un sismo de mayor magnitud con el que se define el periodo de ocurrencia del sismo de acuerdo a la función de densidad.

Al final, el reporte del AIR presenta un mapeo de epicentros de sismos simulados de acuerdo a sus magnitudes. Estos mapas son muy útiles al compararlos con los mapas topográficos de México.

➤ Modelación de la vulnerabilidad:

Uno de los objetivos primordiales de un modelo de vulnerabilidad es el de generar una relación probabilística entre la intensidad del movimiento del suelo en un sitio con la probabilidad de daño que a sufrido una estructura seleccionada para un sitio dado. La función que permite relacionar estas dos partes se define como la función de vulnerabilidad. El reporte del AIR asume que todos los edificios de una municipalidad experimentarían el mismo movimiento de suelo y las mismas pérdidas. El procedimiento de las funciones de pérdidas para estructuras específicas con diferente clase de vulnerabilidad se basa en la metodología propuesta por Ordaz (2000) y Dorwick (2003).

El procedimiento consiste en determinar las curvas de vulnerabilidad de las estructuras según el movimiento del suelo. Se establecen dos funciones que por una parte permiten evaluar el desplazamiento del techo dividido por su altura y el desplazamiento de entrepisos según el tipo de estructura y por otra parte una función que evalúa la demanda del edificio según el desplazamiento de la estructura y el nivel de movimiento del suelo, es decir el espectro de aceleraciones $Sa(T)$:

$$E(L / IDR) = 1 - 0.5^{\eta_i} \tag{Ec-5}$$

$$\eta_i = \left(\frac{IDR}{\gamma^*} \right)^{\alpha^*} \tag{Ec-6}$$

Donde los parámetros α^* y γ^* son obtenidos a partir de los valores máximos de deriva de entrepiso que provoca daños (IDR_i) y la deriva de entrepiso asociada a un daño amplio (IDR_c). Estos parámetros varían con respecto a la categoría del edificio y son determinados por estudios experimentales previos.

Posteriormente se obtiene una curva de pérdida que se expresa según el nivel de daño causado a la estructura. El daño se determina con las pérdidas de rigidez que sufre una estructura sujeta a sismo así como del deterioro de la resistencia de las estructuras y los parámetros α^* y γ^* encontrados previamente.

El segundo paso del procedimiento consiste en desarrollar una función de pérdida específica para cada categoría de edificios con respecto a la respuesta de la estructura (IDR_{max}). La categoría de edificios consideran estructuras a base de marcos (de concreto reforzado, acero, mampostería y madera) de acuerdo al parámetro de intensidad del movimiento del suelo $Sa(T)$ (espectro de aceleración). Se obtiene el valor máximo de la deriva de entrepiso con la siguiente función:

$$IDR_{max} = \beta_2 \cdot \beta_4 \cdot \frac{\beta_1 \cdot \beta_3}{H} \cdot \frac{T_1^2}{4\pi^2} \cdot Sa(T_1) \tag{Ec-7}$$

Para estructuras de adobe, mampostería, madera y estructura no prediseñadas la formulación se simplifica y queda de la siguiente forma:

$$IDR_{roof} = \frac{\beta_1 \cdot \beta_3}{H} \cdot \frac{T_1^2}{4\pi^2} \cdot Sa(T_1) \tag{Ec-8}$$

Donde:

- β_1 es un factor aproximado de participación durante las oscilaciones elásticas que depende de la resistencia lateral y el número de pisos ($\beta_1=1.0$ para un edificio de 1 piso).

- β_2 es un factor modificado que representa la tasa entre el IDRmax y el deslizamiento IDRroof del techo. Este factor a veces se denomina por el coeficiente de distorsión.
- β_4 es un factor modificado que se basa en el numero de pisos N.
- β_3 es la tasa de máximo desplazamiento inelástico dividido por el máximo desplazamiento elástico.
- H es la altura del edificio
- T1 es el periodo fundamental de la estructura y se expresa en función de la altura del edificio:

$$T_1 = a.H^b$$

Ec-9

Donde a y b son parámetros determinados que varían de acuerdo al tipo de estructura.

Para estructuras de tipos mampostería y marcos de madera los parámetros (a) y (b) son:

Mampostería sin refuerzos:	a=0.020	y	b=0.75
Estructura de madera:	a=0.032	y	b=0.55

Las funciones de vulnerabilidad anteriores fueron ajustadas de acuerdo a:

- el movimiento del suelo como un promedio de movimiento aplicado a una municipalidad, en vez de ser el movimiento de suelo de un sitio.
- las funciones de pérdida permiten definir las pérdidas promedio que sufre un grupo de estructuras de la misma categoría de edificios en vez de definir las pérdidas por edificio.
- la ecuación (1) presenta incertidumbres y errores asociados a movimientos de suelo mínimos. Estos errores se traducen en un estimado de perdidas significativamente elevado.

Las modificaciones que se emplearon fueron:

- Reducción de la desviación estándar de la relación que determina el movimiento del suelo para cada escenario, así como la desviación estándar de la tasa de pérdidas según el nivel de movimiento del suelo.
- Multiplicación de la ecuación (1) por un factor Q = 0.7 (definir Q)
- Reajuste de las pérdidas generadas por una tasa inferior a 0.2 a 0 según el tipo de edificio.

Para comprobar estas modificaciones se realizaron diferentes escenarios tomando como referencia sismos históricos de México.

En el análisis propuesto por el grupo AIR, la metodología para estimar las pérdidas se complemento con una estimación de las pérdidas generada por una emergencia post desastre.

c) Conceptos importantes:

Del análisis de riesgo realizado por el grupo AIR se destacan los siguientes principios, los cuales constituyen los procesos principales de la metodología que se propondrá en el próximo capítulo:

- Repartición de las viviendas según tipología, por estado y utilizando un ajuste estadístico que representa lo mas fielmente la situación actual de las estructuras en México.
- Definición del peligro sísmico en México

A continuación se presenta otra fuente de información relativa a análisis de riesgos en México.

F. Revisión de literatura II:

Tesis de doctorado del Dr. Reyes (1999)

El objetivo principal de la tesis de doctorado de Reyes (1999) fue destinado a plantear una metodología para el análisis de riesgo de estructuras altas de la ciudad de México. Para alcanzar los objetivos propuestos en el documento, se plantearon varios procesos de cálculos los cuales se presentan a continuación:

- Determinar los espectros de aceleración de la ciudad de México según el tipo de suelo y utilizando leyes de atenuación espectrales definidas por zona de estudio y zona sísmica del país.
- Determinar las ecuaciones que permiten llegar a la cuantificación del daño, su inicio y el total, según la respuesta estructural del sistema estudiado tomando en cuenta los diversos elementos estructurales del edificio.
- Plantear los criterios de comodidad personal y la caída de objetos en función de las aceleraciones y velocidades máximas.
- Determinar las distorsiones de entrepiso de los diferentes niveles de un edificio por medio de ecuaciones simplificadas, Miranda (1998).
- Evaluar el daño que se cuantifica mediante el daño que sufren los elementos no estructurales tomando como variable, para evaluar el daño, la distorsión de entrepiso
- Definir la vulnerabilidad utilizando funciones de vulnerabilidad propuestas por Miranda *et al* (1996) cuyos parámetros se definen a partir de las distorsiones de entrepiso que inician y dañan completamente a los elementos no estructurales.
- Determinar los periodos óptimos de diseño tomando en cuenta el periodo de vibración de la estructura con respecto a su número de niveles.

Sin embargo, para este análisis de riesgo sísmico, como para el anterior, se plantearon ciertas hipótesis:

- Se usaron funciones simplificadas para determinar la distorsión de entrepiso del edificio, sin embargo estas funciones fueron aceptados por pruebas en laboratorio.
- Se supone que el contenido y las instalaciones de la estructura se dañan de igual manera que los elementos no estructurales y que el costo de los daños indirectos varía proporcionalmente al daño en dichos elementos. Esta suposición representa una evaluación simplificada del daño en el contenido y las instalaciones de un edificio, debido a que en ambos casos el daño que se genera es, en buena medida, producto de las velocidades y aceleraciones de piso.

A continuación se presentan los conceptos esenciales presentados en la revisión de literatura II:

a) Evaluación del peligro sísmico:

El peligro sísmico se define como una medida de la frecuencia de ocurrencia de sismos de cierta intensidad (Ordaz). Una de las características principales del sismo es su magnitud e intensidad. Los sismógrafos permiten medir el desplazamiento, velocidad o aceleración generado por un sismo. En el diseño sísmico se utilizan los espectros de respuesta que permiten representar la respuesta de un sistema de un grado de libertad sujeto a fuerzas sísmicas. La respuesta máxima puede ser un desplazamiento, velocidad o aceleración.

El valor de la magnitud de un sismo así como su intensidad pueden ser influenciados por diferentes elementos que deben de ser tomado en cuenta en la evaluación del peligro sísmico. Entre ellos los más importantes son:

- Los efectos de sitio que se refieren a las modificaciones del movimiento del suelo dado las diferentes condiciones topográficas y geológicas que existen en México. Los efectos de sitio modifican la manera de propagación de las ondas sísmicas. De acuerdo al tipo de suelo a ser atravesado será la disipación de energía.
- Efecto de direccionalidad que se traduce por una amplificación de la magnitud del sismo. El efecto de direccionalidad es difícil de medir por el hecho que toma en cuenta el mecanismo de ruptura, la velocidad de ruptura, la velocidad de propagación de las ondas en la fuente y un ángulo que se define entre el sitio de estudio y la fuente. En la actualidad no se tienen modelos que consideren el efecto de dirrecionalidad.

- Distancia entre la fuente y el sitio de estudio. Las ondas disminuyen en intensidad según la distancia entre la fuente y el sitio de estudio. Esta disminución se debe a pérdida de energía al pasar por un suelo homogéneo.

En los análisis de riesgos sísmicos se utiliza comúnmente la forma normalizada de los espectros de respuesta. La normalización permite despreciar la variación del contenido de frecuencias del movimiento con cambios en distancia y magnitud, es decir que ésta permanece constante. En la figura (referencia) se presenta el procedimiento de normalización de los espectros de respuesta:

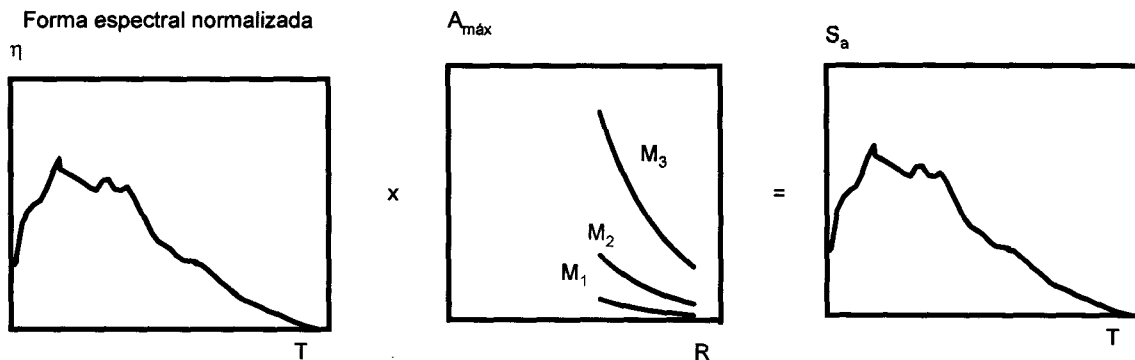


Figura 2- : Espectros de aceleración

Otra extensión de los espectros de respuesta son las leyes de atenuación espectral. Existen varias, la ley de Esteva y Villaverde o la ley de Ordaz, Jara y Singh, ley de Sing, Mena y Castro o la ley de atenuación espectral para el espectro de amplitudes de Fourier (Referencia). La mayoría fueron diseñadas tomando en cuenta los factores de cada región de estudio. Por ejemplo, la ley de Ordaz, Jara y Singh fue diseñada específicamente para sitios localizados en la costa del Pacífico mexicano. Se presenta la siguiente ley de atenuación:

Ordaz, Jara y Singh (1989)

$$\log a_{máx} = 1.76 + 0.3M_s - \log R - 0.0031 R$$

Ec-10

Donde:

M_s = magnitud de ondas superficiales;

R = es la distancia mínima al área de ruptura, en km.

$a_{máx}$ está expresada en cm/s^2 .

Las leyes de atenuación enunciadas anteriormente toman en cuenta el efecto de la magnitud y de la distancia, mientras que la forma normalizada, a pesar de ser muy relevante en sus resultados a periodo corto, pierde relevancia en sus resultados para zonas de transición o de lago.

Sin embargo, siguiendo el objetivo de la presente tesis el cual desea proporcionar un análisis simplificado y accesible a todos, se utilizarán los espectros de aceleración propuestos por el CFE.

b) Evaluación de la vulnerabilidad

De la definición de la vulnerabilidad presentada anteriormente se destaca la manera de medir el daño en una estructura y sobre todo elegir el parámetro que influye en definir el daño de una estructura cuando esta sujeta a cargas sísmicas. Existen varios parámetros, uno de ellos es la distorsión de entrepiso el cual se usó en la definición de la vulnerabilidad de la revisión de literatura II.

Se entiende como distorsión de entrepiso, la diferencia de desplazamiento entre dos niveles consecutivos dividido por la altura del entrepiso. Un control de la distorsión de entrepiso en un

sistema sometido a una actividad sísmica permite evitar danos a los elementos estructurales así como en elementos no estructurales. Por lo tanto la distorsión de entrepiso sugiere ser una buena medición de la vulnerabilidad de una estructura.

Sin embargo, la distorsión en si no permite evaluar directamente la vulnerabilidad real de la estructura, es decir cuando la estructura se comporte de manera inelástica. Se debe de añadir otros parámetros como la ductilidad, la energía histerética disipada que permiten cuantificar de manera más apropiada el daño acumulado durante ciclos histeréticos.

Según la naturaleza del sistema estructural, la magnitud de la distorsión de entrepiso será diferente dependiendo en mayor parte de la diversidad de los materiales de construcción y de sus características de respuesta a una actividad sísmica. En la revisión de literatura II se enumeran los daños generados por distorsión de entrepiso asociados a los diferentes sistemas estructurales. Para cada estructura se estudia su comportamiento y se presentan las distorsiones de entrepiso asociadas con diferentes estados de daño con base en resultados experimentales. Los diferentes sistemas son:

- Sistemas estructurales a base de marcos de concreto reforzado.
- Sistemas estructurales a base de losa plana. El sistema de losa plana es un sistema en el que las losas se apoyan directamente sobre las columnas, transmitiendo a estas la carga vertical y la lateral en forma directa. Las losas pueden ser macizas o aligeradas.
- Sistemas estructurales a base de muros de concreto. Los sistemas estructurales con muros de concreto proporcionan una gran rigidez y una buena resistencia ante cargas laterales, tienden en general a tener un buen comportamiento estructural durante un sismo. Dentro de los sistemas con muros se estudian los muros aislados y los muros acoplados. Los muros aislados y sometidos a fuerzas laterales dinámicas se deforman de igual manera que una viga en voladizo. Mientras que el comportamiento y la capacidad de deformación de los muros acoplados depende del grado de acoplamiento entre muros.
- Sistemas estructurales a base de muros de mampostería. En México y Latino América, la mampostería es el material de mayor uso en la construcción de viviendas de interés social de baja o mediana altura. Los muros de mampostería permiten dividir el espacio fácilmente además de proporcionar resistencia y rigidez a la estructura.
- Sistemas estructurales a base de marcos de acero. El comportamiento general de los sistemas estructurales diseñados para resistir fuerzas laterales con marcos de acero depende del comportamiento y capacidad de deformación de las uniones viga columna que integran cada marco.

El daño, el cual se define con respecto a la respuesta estructural de un edificio sujeto a fuerzas sísmica, varía según el tipo de elemento estructural así que el tipo de material que se usa. A continuación se presenta un resumen de los posibles daños según los tipos estructurales que se han presentados anteriormente.

Tabla 2:- Distorsión de piso que inicia el daño en diferentes sistemas estructurales

1.1.1. Sistema estructural	Distorsión de entrepiso que inicia el daño (%)	Distorsión de entrepiso para daño total (%)
Marcos de concreto	0.05	0.4
Losa planas	0.80 para: $0062\sqrt{f_c}$ (kg/cm ²) 0.40 para: $0.099\sqrt{f_c}$ (kg/cm ²)	1.2 si $V_u/V_o=0.45$

Muros de mampostería :		
De piezas macizas	0.10	0.6
De piezas tipo panal	0.10	0.6
De piezas huecas con refuerzo interior y confinadas por		0.6
castillos y dalas	0.07	0.6
	0.05	0.3
	0.05	0.5
	0.03	0.3
De piezas huecas con refuerzo interior sin confinar		
De bloques de concreto confinados por castillos y dalas		
De piezas huecas pegadas con mortero pobre ó bien piezas silico-calcáreas		
Muros de concreto	0.15 para h/b ≥ 2.0 0.10 para h/b < 2.0	Depende del nivel de carga axial
Marcos de acero	0.55	2.0
Marcos de acero contraventeados con diagonales concéntricas	0.50	No se determino
Marcos de acero contraventeados con diagonales excéntricas	0.40	No se determino

Tabla 2- : Distorsión de piso que inician el daño en diferentes sistemas no estructurales (referente)

1.1.2. Elemento no estructural	Distorsión de entrepiso que inicia el daño (%)	Distorsión de entrepiso para daño total (%)
Muros de mampostería:		
De piezas macizas	0.2	0.7
De piezas tipo panal	0.2	0.7
Piezas huecas con refuerzo interior y confinadas por castillos y dalas	0.17	0.7
De piezas huecas con refuerzo interior sin confinar	0.15	0.4
De piezas de concreto confinadas con dalas y castillos	0.15	0.6
Piezas huecas pegadas con mortero pobre y silico calcáreas	0.13	0.4
Muros de tablaroca:		
Con marco de lamina delgada	0.40	0.8
Con marco de madera y la tablaroca clavada	0.20	0.5
Con marco de madera y la tablaroca clavada y pegada	0.30	0.8
Muros cortina de vidrio	2.5	4.7
Fachadas precoladas:		
De desplazamiento horizontal	0.40	1.6
De balanceo	>1.5°	>2.0

Tabla 2- : Valores limites de las variables que evitan incomodidad personal y caída de objetos

1.1.3. Parámetro a evitar	1.1.4. Limite
Incomodidad personal	$a_{\max} \leq 0.05g$ (g es la aceleración de la gravedad)
Balaceo de objetos	$a_{\max}/g \geq B/H$ para H > 50cm
Caída de objetos	$v_{\max} \geq 10 B/\sqrt{H}$ para H > 50cm
Caída de objetos (para H ≤ 50cm)	para H > 50cm Si $0.00 \leq a_{\max}/g \leq 0.20$ entonces B/H ≥ 0.20 Si $0.20 < a_{\max}/g \leq 0.44$ entonces B/H ≥ 0.44 Si $0.44 < a_{\max}/g \leq 1.20$ entonces B/H ≥ 0.51

En las pérdidas se integra igualmente la noción de comodidad personal y los daños a objetos. La comodidad personal se refiere a limitar el movimiento en los sistemas de piso de los edificios dejando la posibilidad a las personas de moverse de un sitio a otro cuando ocurre un sismo de baja intensidad. El daño en objetos se define para objetos como los escritorios, archiveros, equipo computacional, lámparas, etc. El daño en objetos genera pérdidas económicas durante un sismo, además pone en peligro la integridad de las personas y en casos extremos su vida. En la siguiente tabla, propuesta por Yamada (1975), se describen los diferentes niveles de percepción y los efectos según la aceleración del movimiento del suelo:

Tabla 2- : Niveles de percepción propuestos por Yamada (1975).

Nivel de percepción	Aceleración (cm/seg ²)	Efecto
1	<5	Las personas no perciben el movimiento
2	5-10	Las personas sensitivas perciben el movimiento y los objetos colgantes se mueven ligeramente
3	10-25	La mayoría de la gente percibe el movimiento y el trabajo de escritorio se afecta
4	25-40	El trabajo de escritorio es difícil ó imposible y desplazarse caminando es posible
5	40-50	Las personas perciben el movimiento fuerte de forma importante, se dificulta caminar y las personas de pié pueden perder el equilibrio
6	50-60	Mucha gente no tolera el movimiento y es incapaz de caminar con naturalidad
7	60-70	La gente no puede caminar ó tolerar el movimiento
8	>85	Los objetos empiezan a caer y la gente puede ser lastimada

Con respecto a las distorsiones que inician el daño y que determinan el daño total de una estructura se estableció una propuesta de función de vulnerabilidad. La función de vulnerabilidad tiene por parámetro la distorsión de entrepiso y es de la siguiente forma:

$$F_j[\gamma_{en}, \gamma_j] = 1 - 0.5^\eta$$

Ec-11

La función propuesta permite evaluar el daño del j-esimo entrepiso dada la distorsión demandada y la que inicia el daño, es decir los parámetros γ_{en} y γ_j . Los parámetros α^* y η son los parámetros que definen a $F_j[\gamma_{en}, \gamma_j]$ y se calculan a partir de la distorsión que inicia el daño, γ_{en} , y la máxima que un elemento estructural o no estructural soporta, $\gamma_{máx}$. La distorsión demandada en el j-esimo entrepiso, γ_j . Por lo tanto se obtienen la siguiente expresión:

$$\eta = \left(\frac{\gamma_j}{\gamma^*} \right)^{\alpha^*}$$

Ec-12

c) Conceptos importantes:

De la revisión de literatura II se destacan los siguientes elementos:

- Utilización de espectros de aceleración de la región de estudio para determinar las aceleraciones del suelo.
- Definición del parámetro principal de la función de vulnerabilidad: la distorsión de entrepiso con respecto a la ductilidad de la estructura.
- Definición de los parámetros de la función de vulnerabilidad tomando en cuenta los factores estructurales del edificio.
- Distinción de los elementos estructurales.

- El análisis de riesgo se realizó principalmente para estructuras de mampostería reforzada o elementos de concreto reforzado

G. Revisión de literatura III:

“Funciones de vulnerabilidad para viviendas construida de muro de carga de mampostería y sujeta a la acción de sismo” por Leonardo Flores y Carlos Reyes CENAPRED 2004.

En las revisiones de literatura presentadas anteriormente se ha planteado las diversas formas de determinar la vulnerabilidad de las estructuras sujetas a cargas sísmicas. Sin embargo, los procedimientos para determinar la función de vulnerabilidad de las viviendas no cumplían con el propósito de la tesis, es decir una determinación simple de las funciones de vulnerabilidad para viviendas en México. Por lo tanto, en el documento que se presenta a continuación se definió la base de la construcción de la función de vulnerabilidad para el análisis de riesgo de las viviendas en México. A continuación se presentan los conceptos importantes del documento.

a) Resumen de literatura:

El documento realizado por Flores y Reyes plantea diversos procesos para construir la función de vulnerabilidad. Sin embargo la propuesta se basó en ensayos realizados en laboratorio los cuales se ajustaron a otros ensayos realizados por diversos institutos como el Instituto de Ingeniería del UNAM o la Universidad de Guadalajara.

El procedimiento de la metodología para determinar la función de vulnerabilidad de una vivienda de mampostería se divide en 17 procesos para a cabo obtener una función de vulnerabilidad de la forma siguiente:

$$I(S_a) = 1 - e^{-a(S_a / S_{a_{\max}})^m}$$

Ec-13

Donde:

- S_a representa la aceleración del suelo la cual se determina con respecto a los espectros de aceleración de la región de estudio.
- $S_{a_{\max}}$ representa la aceleración máxima que la estructura logra aguantar durante un sismo y se evalúa con respecto a la respuesta estructural de la vivienda tomando en cuenta los parámetros de resistencia de la estructura, su distorsión y por lo tanto su ductilidad.
- Los parámetros a y m son los parámetros que se definieron para la presente función de vulnerabilidad los cuales se definen por:

$$m = \frac{\ln[\ln(0.99) / \ln(0.05)]}{\ln(S_{a_1} / S_{a_2})} \quad \text{y} \quad a = -\frac{\ln(0.99)}{(S_{a_1} / S_{a_{\max}})^m}$$

Ec-14

Donde:

- S_{a1} es la pseudoaceleración espectral de la vivienda que depende principalmente de su valor de esfuerzo de agrietamiento.
- S_{a2} es la pseudoaceleración de la vivienda y representa el 95% del valor de la aceleración $S_{a,max}$.

La función de vulnerabilidad propuesta anteriormente es válida para estructuras de mampostería según los resultados obtenidos en laboratorio, sin embargo para construir aquella función se tuvo que plantear ciertas hipótesis las cuales se presentan a continuación:

- La edificación cuenta con la misma distribución de muros en todos los pisos. En una aproximación más detallada se puede tomar en cuenta diferencias en cada nivel.
- La carga vertical se reparte uniformemente en todos los muros de cada planta.
- El modo de falla es esencialmente por cortante y se presentará en la planta baja del edificio (otro refinamiento será verificar la falla en pisos superiores).
- Se supone que el comportamiento puede analizarse en la dirección más débil como un análisis plano, despreciando efectos de torsión de la planta.

Por lo tanto, según las hipótesis planteadas, los valores principales que se establecieron en la construcción de la función de vulnerabilidad y que definen la curva de vulnerabilidad son: el número de pisos, n , el esfuerzo resistente a cortante, v_m , y la densidad de muros d y d_{AE} .

El procedimiento para construir la función de vulnerabilidad de viviendas en México y que se presenta en el capítulo III (Metodología) se basa principalmente en el documento realizado por Flores y Reyes (2004). Se realizaron modificaciones para aplicar el mismo procedimiento a diferentes tipos de viviendas. Por lo tanto a continuación se presenta un resumen de las aportaciones importantes que se utilizaron para plantear la función de vulnerabilidad de la presente investigación de tesis.

b) Conceptos importantes:

De acuerdo a las hipótesis planteadas anteriormente, la construcción de la función de vulnerabilidad se basa integralmente en el comportamiento de los muros de mampostería sujetos a fuerzas sísmicas. Como se menciona, se considera que el modo de falla de los muros se realiza esencialmente por fuerzas cortantes. Además, se considero en el procedimiento que el daño en la estructura, es decir el agrietamiento de los muros de mampostería, se realiza esencialmente en la planta baja de la vivienda. Por lo tanto la función de vulnerabilidad planteada en el reporte de Flores y Reyes se realiza para un muro (el más crítico) pero considerando la aportación de todos los muros de carga de la vivienda (por la densidad de muros que se obtuvo).

En la construcción de la función de vulnerabilidad se asumió igualmente que el comportamiento de la vivienda de diversos pisos se comporta como una estructura de un grado de libertad considerando solo la aportación de la masa de los pisos superior a la planta baja como se muestra en la siguiente figura:

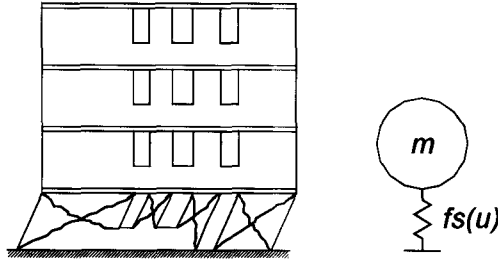


Figura 2-: Modelado de un edificio con daño solo en planta baja [7]

De la figura anterior se destaca otro elemento importante en cualquier análisis sísmico, el peso de la estructura. Una masa en movimiento genera una fuerza inercial, la cual se define por la masa multiplicada por la aceleración que se aplica. Las fuerzas inerciales son un factor importante en la definición de la ecuación de movimiento de una estructura. Para que una estructura se mantenga en equilibrio se necesita que las aportaciones estructurales de la misma puedan resistir las fuerzas inerciales generadas por la aceleración de la estructura y sobre todo el aumento de la aceleración dado la aceleración del suelo por efecto sísmico. La ecuación de movimiento de una estructura determina su capacidad de distorsión la cual representa uno de los parámetros importante de la función de vulnerabilidad. Por lo tanto, la geometría de la vivienda tiene toda su importancia. La arquitectura de una vivienda se define por sus números de niveles, número de muros en cada dirección X y Y, espesor, longitud y altura de los muros de carga de la vivienda y tipo de material de construcción que se utilizó. Según estos parámetros arquitectónicos, la definición de la masa de la estructura varía de manera significativa, por lo tanto las fuerzas inerciales que se aplican a la estructura aumentan o disminuyen.

Por lo tanto, para la metodología que se desea plantear en el tercer capítulo, la geometría de las viviendas estudiadas tendrá una importancia relevante en los resultados del análisis.

IV. Comentarios de revisión de literatura:

Del proceso de revisión de literatura se realizaron los siguientes comentarios:

- De las diversas fuentes de información que se han revisadas y en la óptica de realizar un análisis de riesgo simplificado y realizable a todo tipo de viviendas para el país de México, se han elegido las literaturas presentadas anteriormente y que permitieron establecer la propuesta de metodología que se presenta a continuación en el capítulo III- Metodología
- El número de revisiones puede parecer relativamente insuficiente, sin embargo se juzgo, con respecto a la falta de accesibilidad a la información relativa a ejemplos o ensayos de análisis de riesgo, que el número de revisiones fuera suficiente para realizar una buena aproximación del riesgo sísmico en México.
- Sin embargo, como se menciona al principio del capítulo, existen varios métodos para plantear un análisis de riesgo sísmico, por lo tanto la presente investigación solo realiza una propuesta de análisis de riesgo para las vivienda en México.

A continuación se presenta el capítulo III- Metodología el cual es una propuesta para realizar el

análisis re riesgo de la viviendas en México.

REFERENCIAS:

- [1]- Sociedad Mexicana de ingeniería sísmica A.C
- [2]- ALEJANDRO NAVA: “La Ciencia para Todos” Fondo de Cultura Económica
- [3]- CENAPRED “Guía Básica para Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos” (2004)
- [4]- XII Censo de población y vivienda (INEGI) 2000 [Chiapas]
- [5]- Dirección de la protección civil de León “Riesgos Geológicos”
- [6]- Sistema nacional de protección civil / Coordinación de General de Protección Civil / Centro Nacional de Prevención de Desastres “El sismo de Tecoman, Colima del 21 de enero 2003”.
- [7]- “Función de vulnerabilidad para vivienda construida con muros de carga de mampostería sujeta a la acción de sismo” Flores y Reyes (2004)

Capitulo III- Metodología de análisis

Anteriormente se han revisado diversas literaturas en las cuales se proponen diversos métodos de análisis de riesgo sísmico con diferentes enfoques o límites de aplicación. En el presente capitulo se hará una propuesta de metodología en la cual se definen los limites del análisis y la manera de presentar los resultados posteriormente. Por lo tanto la metodología se divide en varias etapas, la primera es plantear el limite de análisis es decir la tipología de las estructuras que se estudian, definir el peligro sísmico de la zona de análisis es decir los espectros de aceleración por zonas sísmicas, definir los costos de reparación de las viviendas según la tipología preestablecida y construir la función de vulnerabilidad asociada a cada tipo de vivienda.

análisis re riesgo de la viviendas en México.

REFERENCIAS:

- [1]- Sociedad Mexicana de ingeniería sísmica A.C
- [2]- ALEJANDRO NAVA: “La Ciencia para Todos” Fondo de Cultura Económica
- [3]- CENAPRED “Guía Básica para Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y Riesgos” (2004)
- [4]- XII Censo de población y vivienda (INEGI) 2000 [Chiapas]
- [5]- Dirección de la protección civil de León “Riesgos Geológicos”
- [6]- Sistema nacional de protección civil / Coordinación de General de Protección Civil / Centro Nacional de Prevención de Desastres “El sismo de Tecoman, Colima del 21 de enero 2003”.
- [7]- “Función de vulnerabilidad para vivienda construida con muros de carga de mampostería sujeta a la acción de sismo” Flores y Reyes (2004)

Capitulo III- Metodología de análisis

Anteriormente se han revisado diversas literaturas en las cuales se proponen diversos métodos de análisis de riesgo sísmico con diferentes enfoques o límites de aplicación. En el presente capitulo se hará una propuesta de metodología en la cual se definen los limites del análisis y la manera de presentar los resultados posteriormente. Por lo tanto la metodología se divide en varias etapas, la primera es plantear el limite de análisis es decir la tipología de las estructuras que se estudian, definir el peligro sísmico de la zona de análisis es decir los espectros de aceleración por zonas sísmicas, definir los costos de reparación de las viviendas según la tipología preestablecida y construir la función de vulnerabilidad asociada a cada tipo de vivienda.

I. Tipología:

Para realizar un análisis de riesgo sísmico de una zona se necesita definir de manera exacta los límites del análisis, es decir definir el tipo de estructuras, tipo de material de construcción, dimensiones de la vivienda y su ubicación. En el presente caso, el análisis se realiza para estructuras del tipo viviendas en la República Mexicana.

El Instituto Nacional de Estadísticas Geográficas e Informáticas (INEGI) proporciona al usuario una base de datos completa del número de viviendas por estado según los materiales predominantes en techos, pisos y paredes.

Con base a los resultados propuestos por el XII censo general de población y vivienda de 2000, se presentan la base de datos ofrecida por el INEGI:

*Tabla 3-1: Viviendas particulares habitadas por estado
Según material predominante en paredes con material de desecho en techos*

	Total	Materiales de yeso	Lamina de cartón	Lamina de asbesto o málicas	Camizo, bamba o palma	Enbano o balaque	Madera	Adobe	Tapera, paja, juncos, paja, cañero, bambo y zacatón	No especificado
Total	47,792	14,596	988	495	2,468	2,216	6,040	8,629	12,279	83
Aguascalientes	259	49	2	2		1	3	101	101	
Baja California	3,722	1,337	53	19	8	23	700	126	1,448	6
Baja California Sur	444	237	22	7	2	4	70	6	96	
Campeche	415	181	12	1	39	16	82	2	102	
Coahuila de Zaragoza	1,715	509	42	9	8	5	75	594	472	1
Colima	299	125	14	4	7	1	17	3	128	
Chiapas	1,880	525	43	50	201	179	536	104	235	6
Chihuahua	2,668	425	14	7	7	32	265	1,266	641	11
Distrito Federal	1,542	831	43	23	2	6	122	26	487	2
Durango	1,504	234	17	2	9	14	182	882	162	2
Guanajuato	1,154	317	51	17	19	8	18	319	402	3
Guerrero	2,095	444	68	16	245	348	284	308	378	4
Hidalgo	783	145	16	13	45	118	202	42	201	1
Jalisco	1,675	608	18	12	10	23	55	421	524	4
México	2,693	863	104	34	11	18	255	255	1,147	6
Michoacán de Ocampo	1,513	442	29	16	29	46	223	172	555	1
Morelos	340	138	31	9	14	4	20	17	107	
Nayarit	336	74	4	3	7	21	13	119	93	2
Nuevo León	1,862	828	10	10	5	49	98	262	598	2
Oaxaca	2,173	408	33	42	198	418	479	272	318	5
Puebla	1,705	610	29	15	77	47	283	170	469	5
Querétaro de Arteaga	367	166	4	4	9	10	27	18	127	2
Quintana Roo	486	175	19		1	9	62	2	218	
San Luis Potosí	1,706	298	16	6	99	26	251	772	236	2
Sinaloa	1,056	413	51	24	8	48	36	103	369	4
Sonora	2,896	489	86	18	235	52	92	1,240	683	1
Tabasco	2,431	622	26	47	988	7	505	14	221	1
Tamaulipas	2,969	1,953	23	12	10	43	249	28	647	4
Tlaxcala	180	34	5		3	3	4	45	86	
Veracruz de Ignacio de la Llave	3,282	966	86	67	168	531	787	44	630	3
Yucatán	482	123	14	1	1	90	38	1	224	
Zacatecas	1,149	47	1	5	2	16	8	895	174	1

Fuente: XII Censo general de población y vivienda 2000, INEGI

Tabla 3-2: Viviendas particulares habitadas por estado
Según material predominante en paredes con lamina de cartón en techos

	Total	Materiales de desecho	Lámina de cartón	Lámina de asbesto o metálica	Carrizo bambú o palma	Embarso o balnearque	Madera	Adobe	Ladrillos, bloques, bloques, mamparas, sillares o canchales	No especificado
Total	1,286,354	12,863	120581	20065	56,877	75,585	404,355	147,421	446,976	1623
Agascalientes	818	13	123	34	3	3	35	271	333	6
Baja California	7,584	129	942	465	29	39	2022	697	3,254	7
Baja California Sur	9531	208	3989	224	37	26	2271	155	2610	11
Campeche	23043	200	2656	414	379	1067	13642	108	4551	26
Coahuila de Zaragoza	7,876	119	1461	154	28	21	986	1156	3941	11
Colima	5832	86	1257	76	891	115	960	251	1996	10
Chiapas	42,945	846	4180	696	2552	6078	19472	3904	5170	47
Chihuahua	16,142	65	594	84	44	46	3263	6,889	5139	18
Distrito Federal	70,118	294	8401	1485	10	46	5044	1443	53341	54
Durango	10,615	75	1661	60	19	84	5095	2289	1320	12
Guanajuato	20,729	286	4035	585	257	76	618	4703	10144	25
Guerrero	127,401	1522	8866	644	8361	19482	33969	29823	24554	180
Hidalgo	20216	193	584	112	620	1630	7680	2093	7275	29
Jalisco	14,823	260	1513	188	353	337	2654	2989	6203	26
México	177,391	1004	9416	1201	595	413	13719	20527	130,342	174
Michoacán de Ocampo	113,781	626	5554	484	2011	2923	55870	19337	26863	113
Morelos	25413	329	8968	660	2422	493	3025	4604	6843	39
Nayarit	8600	122	762	45	434	434	1198	2233	3347	25
Nuevo León	7,856	180	890	273	61	60	2054	490	3843	5
Oaxaca	35,258	449	1657	1607	4375	4703	10520	7762	4114	69
Puebla	112,751	732	3342	541	7405	2722	52701	9806	35380	122
Querétaro de Arteaga	5837	76	764	109	227	90	1320	588	2651	12
Quintana Roo	40419	148	2998	190	1038	2145	25458	140	8272	28
San Luis Potosí	13,264	133	402	96	2258	487	5538	2212	2129	11
Sinaloa	41,444	404	11119	4077	777	1724	5250	5503	12524	66
Sonora	47,493	600	15322	1299	1210	227	5805	8,361	14571	98
Tabasco	7,574	253	715	475	2411	26	2226	20	1432	16
Tamaulipas	30,021	550	3371	360	344	710	18747	486	5415	38
Tlaxcala	10436	47	358	39	32	75	305	4458	5110	12
Veracruz de Ignacio de la Llave	191,060	2659	11406	3046	17552	20347	97573	2246	35952	279
Yucatán	37793	246	5156	323	151	8947	4973	115	17824	56
Zacatecas	2,482	10	89	19	4	9	63	1762	535	1

Fuente: XII Censo general de población y vivienda 2000, INEGI

Tabla 3-3: Viviendas particulares habitadas por estado
Según material predominante en paredes con lamina de asbesto o metálica en techos

	Total	Materiales de desecho	Lámina de cartón	Lámina de pabellón o metálica	Camizo, bambú o palma	Embrudo o balneario	Madera	Adobe	Tabique, ladrillo, block, piedra, sillar, cemento	No especificado
Total	4,056,568	12,632	27412	118069	63,840	100,597	616,884	659,529	2,456,371	3234
Aguascalientes	8988	22	63	205	4	16	118	4768	3787	7
Baja California	10,698	91	163	4242	33	48	2150	454	3,487	30
Baja California Sur	23579	105	443	1095	28	65	3271	559	17995	16
Campeche	48687	221	1771	1166	589	163	11658	105	32973	21
Coahuila de Zaragoza	43,644	153	373	846	55	101	2587	9865	29628	26
Colima	28628	87	402	203	1135	87	1005	1040	24647	22
Chiapas	390,005	2638	2278	13602	9673	18188	139159	47070	157098	303
Chihuahua	173,328	141	97	412	70	135	8406	97,162	66772	133
Distrito Federal	188,389	248	982	4467	11	100	3530	4176	174701	174
Durango	37,030	47	63	194	20	38	7737	22957	5953	20
Guanajuato	148,151	304	1043	1844	152	231	1181	37529	105751	116
Guerrero	101,162	311	1035	715	1195	4484	10161	39323	43877	81
Hidalgo	145213	290	261	853	1638	14526	20386	14468	92679	112
Jalisco	85,597	221	327	784	121	242	2681	19103	62063	55
México	364,885	664	1380	3071	309	409	12119	48472	298,090	371
Michoacán de Ocampo	115,577	293	343	704	303	627	24254	26394	62576	83
Morelos	80717	209	1684	1730	533	198	3110	17978	55197	80
Nayarit	37837	44	108	151	89	113	305	7060	29940	27
Nuevo León	107,702	535	782	2969	276	699	17878	10238	74252	73
Oaxaca	281,393	800	917	22388	9185	9354	47091	83759	107652	267
Puebla	181,312	315	531	1829	2338	1533	24209	27394	122937	126
Querétaro de Arteaga	65396	143	329	574	464	594	3801	6258	53382	51
Quintana Roo	9045	32	41	121	25	104	2951	19	5746	6
San Luis Potosí	102,673	292	282	684	9393	4287	15888	30580	41207	80
Sinaloa	32,438	78	411	10716	68	181	2117	4682	14146	41
Sonora	124,305	292	1967	2949	175	177	7483	28,769	82381	112
Tabasco	215,996	1139	2319	15004	14620	270	26002	331	158155	156
Tamaulipas	158,338	793	852	1179	2485	8091	77957	10801	56038	140
Tlaxcala	24995	43	39	94	24	146	223	10105	14298	23
Veracruz de Ignacio de la Llave	633,133	1989	5864	22869	8796	35026	136285	4774	417096	434
Yucatán	35468	46	231	264	13	348	1028	28	33491	21
Zacatecas	54,281	48	33	85	20	39	345	43310	10376	25

Fuente: XII Censo general de población y vivienda 2000, INEGI

Tabla 3-4: Viviendas particulares habitadas por estado
Según material predominante en paredes con madera o palma en techos

	Total	Materiales de desecho	Lámina de cartón	Lámina de paja o mague	Cañizo, bambú o palma	Embarro o bajareque	Madera	Adobe	Tabique, lámina, block, ladrillo, estuco, mampara, yeso, etc.	No especificado
Total	1,111,118	4,488	5515	3944	70,449	79,286	330,114	207,312	408,750	1248
Aguascalientes	663	1		2		2	20	940	97	1
Baja California	338,775	1,449	1518	759	146	1055	134811	21222	177,518	297
Baja California Sur	8949	129	247	62	487	171	3613	303	3932	5
Campeche	15853	142	77	18	684	5453	7293	101	2071	16
Coahuila de Zaragoza	61,703	86	127	45	100	105	1730	41857	17632	21
Colima	1094	4	20	6	178	16	156	61	649	4
Chiapas	27,142	232	109	256	6978	1406	13880	977	3255	49
Chihuahua	171,716	242	391	73	121	267	14885	55,648	99828	281
Distrito Federal	3,263	8	30	21	1	3	513	290	2388	9
Durango	35,600	41	60	9	273	60	3456	27351	4339	12
Guanajuato	3,407	16	18	11	45	16	234	1769	1295	3
Guerrero	16,501	93	154	22	2747	5865	2949	3697	940	34
Hidalgo	6579	30	36	24	441	2413	2071	772	787	5
Jalisco	8,641	30	27	24	140	106	759	5138	2400	19
México	10,572	31	44	33	203	80	4976	2600	2,599	6
Michoacán de Ocampo	8,684	26	57	30	209	284	3319	2633	2110	16
Morelos	1175	6	40	11	180	85	163	311	373	4
Nayarit	8365	78	48	11	687	1144	1188	2067	3112	30
Nuevo León	6,705	10	11	15	96	135	1494	2997	1933	14
Oaxaca	51,717	257	185	353	11818	3011	26709	2985	6328	71
Puebla	11,485	109	73	33	2478	839	3769	2162	2002	21
Querétaro de Arteaga	1530	6	5	7	243	78	500	115	576	
Quintana Roo	21568	70	89	13	282	5206	11715	66	4127	20
San Luis Potosí	41,223	172	64	100	14595	3772	14484	4708	3305	43
Sinaloa	6,781	73	192	58	450	778	621	2500	2075	14
Sonora	37,404	92	929	124	405	214	4003	5,311	26277	49
Tabasco	16,408	125	96	354	7488	113	5909	72	2221	30
Tamaulipas	37,870	263	102	64	1707	3158	17947	2929	11662	38
Tlaxcala	1165	3	3	1	39	15	154	727	223	
Veracruz de Ignacio de la Llave	90,433	555	571	1389	16683	22338	35535	1484	11772	106
Yucatán	43003	114	211	16	523	21082	11033	197	9781	46
Zacatecas	15,162	4	1	2	22	16	245	13724	1144	4

Fuente: XII Censo general de población y vivienda 2000, INEGI

Tabla 3-5: Viviendas particulares habitadas por estado
Según material predominante en paredes con teja en techos

	Total	Materia de asbesto	Lamina de carton	Lamina de gesso o mica	Cañizo, bambu o palma	Embarro o bajareque	Madera	Adobe	Tambien con ladrillo, tabique, cemento, concreto o aluminio	No especificado
Total	1,146,111	1,808	1191	1275	12,477	30,030	65,669	597,874	434,926	861
Agascalientes	606	1					2	361	242	
Baja California	2,749	18	6	7	4	5	434	145	2,124	6
Baja California Sur	487	4	10	4	4	2	67	12	383	1
Campeche	779	11	2		9	26	158	11	562	
Coahuila de Zaragoza	4,395	4	4	5	4	6	52	1843	2471	6
Colima	12571	27	21	5	414	91	376	2254	9371	12
Chiapas	131,847	275	158	113	624	9729	6614	55216	59014	104
Chihuahua	2,115	8	1	4	1	3	81	1,087	927	3
Distrito Federal	2,233	4	3	7		4	55	362	1794	4
Durango	11,358	1	5	2	5	5	88	9306	1941	5
Guanajuato	87,072	100	114	128	46	198	275	28966	57168	77
Guerrero	161,208	280	183	41	1322	7831	3486	117473	30499	93
Hidalgo	13404	29	11	9	47	1683	1879	3810	5914	22
Jalisco	92,239	81	50	43	118	318	1122	52268	38188	51
México	124,656	92	53	43	76	159	1654	98117	24,382	82
Michoacán de Ocampo	135,555	138	120	58	226	706	4609	91531	38082	85
Morelos	8107	6	26	4	17	16	48	5718	2266	6
Nayarit	16178	25	7	2	23	63	93	6928	9023	14
Nuevo León	1,232	1		2	5	28	101	461	630	4
Oaxaca	122,081	261	121	206	3142	5206	8330	70535	34196	84
Puebla	85,458	104	57	62	2214	524	14868	35796	31765	68
Querétaro de Arteaga	6880	13	5	4	9	39	38	2002	4765	5
Quintana Roo	243		1		2	9	48	19	162	2
San Luis Potosí	2,275	5	4	3	150	61	332	1178	539	3
Sinaloa	12,584	30	34	16	24	386	189	5380	6507	18
Sonora	938	5	7	2	20	12	41	277	574	
Tabasco	45,196	158	118	433	2805	40	2372	79	39171	20
Tamaulipas	3,206	22	7	2	28	85	1007	408	1644	2
Tlaxcala	4436	1		2	4	32	28	3536	830	3
Veracruz de Ignacio de la Llave	51,618	99	59	63	1123	2605	17014	1465	29118	72
Yucatán	837	5	4	1	9	152	186	48	413	9
Zacatecas	1,566			4	1	6	12	1282	261	

Fuente: XII Censo general de población y vivienda 2000, INEGI

Tabla 3-6: Viviendas particulares habitadas por estado
Según material predominante en paredes con losa de concreto, tabique o ladrillo en techos

	Total	Materiales de desecho	Lámina de cartón	Lámina de asbesto o metálica	Carrizo, bambú o palma	Embarro o bajareque	Madera	Adobe	Tabique, ladrillo, bloques, bloques de concreto o concreto	No especificadas
Total	13,737,973	6,353	1218	2907	1,087	4,454	10,673	511,789	13,192,549	6947
Aguascalientes	187045	104	5	15	7	75	106	15598	171066	70
Baja California	191,160	288	59	93	16	112	2009	485	187,905	193
Baja California Sur	60534	44	26	16	7	21	72	53	60266	29
Campeche	66694	45	5	20	1	29	46	29	66509	14
Coahuila de Zaragoza	417,091	207	23	28	40	127	283	47097	369161	125
Colima	75867	36	9	19	11	20	24	498	75218	32
Chiapas	180,614	103	25	187	16	115	268	2937	176746	216
Chihuahua	362,882	198	48	46	14	132	671	40,321	321176	276
Distrito Federal	1,823,796	400	96	238	13	198	708	4355	1817096	694
Durango	224,064	132	12	14	15	64	432	57811	165482	92
Guanajuato	651,221	298	54	138	24	212	201	19916	630037	343
Guerrero	238,218	197	36	55	15	120	217	6188	231257	132
Hidalgo	303843	83	42	86	9	129	90	5243	298001	160
Jalisco	1,166,376	503	57	119	49	331	372	72764	1091724	457
México	2,044,414	609	139	299	32	454	600	23160	2,017,641	1480
Michoacán de Ocampo	466,590	345	68	98	26	131	554	10615	454527	226
Morelos	235861	86	24	57	13	93	106	7850	227455	177
Nayarit	147042	59	10	33	6	41	43	6745	140073	32
Nuevo León	749,178	357	23	85	5	209	274	10110	737926	189
Oaxaca	242,127	109	19	207	174	106	264	9619	231487	142
Puebla	630,314	191	53	135	29	277	343	21751	607158	377
Querétaro de Arteaga	213067	129	14	44	6	75	59	1895	210739	106
Quintana Roo	137480	51	26	19	4	54	183	47	137062	34
San Luis Potosí	325,999	141	30	60	51	121	250	30560	294618	168
Sinaloa	475,717	220	89	127	21	256	151	6471	468215	167
Sonora	311,797	236	84	76	347	166	256	10,890	299575	167
Tabasco	121,010	128	5	117	44	26	110	67	120434	79
Tamaulipas	441,114	396	28	53	18	123	909	1557	437935	99
Tlaxcala	150637	39	14	33	7	182	111	15035	135133	83
Veracruz de Ignacio de la Llave	621,753	393	62	334	36	277	532	493	619236	388
Yucatán	252229	114	29	39	7	108	59	92	251702	79
Zacatecas	222,239	112	4	19	24	70	378	81538	139977	121

Fuente: XII Censo general de población y vivienda 2000, INEGI

Para un mejor uso de estas tablas y para simplificar el estudio se decidió restringir la tipología de vivienda propuesta por el INEGI, dividiéndola en una matriz de 3x3 tipos de materiales predominantes, obteniendo 9 combinaciones posibles de vivienda de bajo costo o social. Por lo tanto se presenta a continuación la siguiente tabla matricial:

Tabla 3-7: Propuesta de tipología de vivienda para el análisis

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	X	X	X
Adobe	X	X	X
Mampostería	X	X	X

Donde:

- Los materiales ligeros representan los materiales de desecho, lámina de cartón, lamina de asbesto o metálica, carrizo bambú o palma, embarro o bajareque y madera para las **paredes**; y material de desecho, lamina de cartón, lamina de asbesto o metálica y palma o madera para los **techos**.
- La mampostería se compone de los materiales estructurales que se usan en México, siendo: tabique de barro recocido, tabique de barro con huecos verticales, bloque de concreto y tabique de concreto.

Se presentan a continuación la base estadística obtenida según la división matricial establecida anteriormente:

Tabla 3-8: Viviendas particulares habitadas por estado

Según material predominante en paredes y techos

Material predominante en techos	Material ligero			Teja			Losa de concreto, tabique, ladrillo		
	Materiales ligeros	Adobe	Mampostería	Materiales ligeros	Adobe	Mampostería	Materiales ligeros	Adobe	Mampostería
Aguascalientes	718	5678	4318	3	361	242	311	15598	171066
Baja California	152231	22499	185707	474	145	2124	2577	485	187905
Baja California Sur	16813	1023	24633	91	12	383	186	53	60266
Campeche	47902	316	39697	206	11	562	146	25	66509
Coahuila de Zaragoza	9734	53472	51673	75	1843	2471	708	47097	369161
Colima	6842	1355	27420	934	2254	9371	119	498	75218
Chiapas	243752	52055	165758	17513	55216	59014	715	2937	176746
Chihuahua	30086	160965	172380	98	1087	927	1109	40321	321176
Distrito Federal	26221	5935	230917	73	362	1794	1651	4355	1817096
Durango	19451	53479	11773	106	9306	1941	669	57811	165492
Guanajuato	11382	44320	117592	861	28966	57168	925	19916	630037
Guerrero	103961	73151	69749	13143	117473	30499	640	6189	231257
Hidalgo	54327	17375	100942	3658	3810	5914	439	5243	298001
Jalisco	11793	27649	71190	1732	52268	38188	1431	72764	1091724
México	50952	71854	432178	2077	98117	24382	2133	23160	2017641
Michoacán de Ocampo	98702	48536	92104	5857	91531	38082	1222	10615	454527
Morelos	22092	22910	62520	117	5718	2266	379	7850	227455
Nayarit	7083	11479	36492	213	6928	9023	192	6745	140073
Nuevo León	29418	13987	80626	137	461	630	953	10110	737926
Oaxaca	156937	94778	118412	17266	70535	34196	879	9619	231487
Puebla	106659	39532	160788	17829	35796	31765	1028	21751	607158
Querétaro de Arteaga	9350	6979	56736	108	2002	4785	327	1895	210739
Quintana Roo	52873	227	18363	60	19	162	337	47	137062
San Luis Potosí	73581	38272	46877	555	1178	539	653	30560	294618
Sinaloa	39672	12788	29114	679	5380	6507	864	6471	468215
Sonora	44245	43681	123912	87	277	574	1165	10890	299575
Tabasco	81740	437	160029	5926	79	39171	430	67	120434
Tamaulipas	140970	14244	73762	1152	408	1644	1523	1557	437935
Tlaxcala	1688	15335	19717	67	3536	830	386	15035	135133
Veracruz de Ignacio de la Llave	443088	8548	465450	20963	1465	29118	1634	493	619238
Yucatán	54970	341	61320	367	48	413	356	92	251702
Zacatecas	1133	59691	12229	23	1282	261	605	81536	139977
Total	2150367	1022891	3324378	112450	597874	434926	26692	511785	13192549

La tabla anterior permite definir el alcance de la presente investigación. La metodología que se presenta a continuación será aplicada a las viviendas particulares habitadas de la republica mexicana.

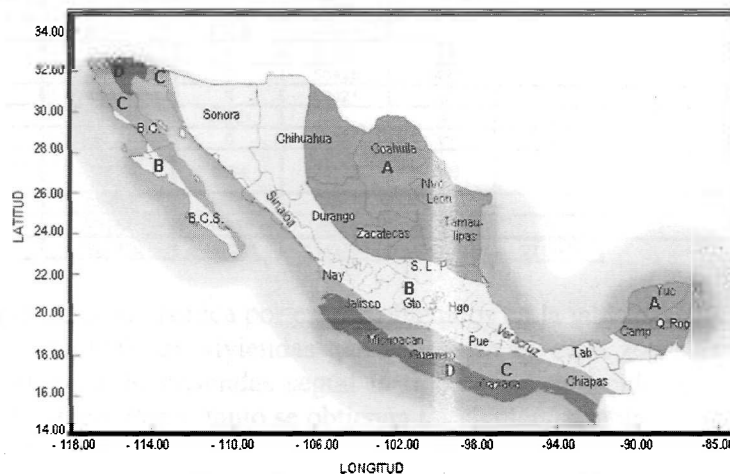
II. Metodología:

La metodología empleada en este capitulo se basa en la revisión de literatura que se ha mencionado en el capitulo anterior. Persiguiendo el enfoque establecido al inicio de la presente tesis, la metodología que se propone para el análisis de riesgo sísmico en la republica Mexicana se basara en datos fáciles de acceso, es decir información accesible a todos y métodos simplificados que permiten obtener resultados coherentes. Por lo tanto, la metodología se divide en varias etapas las cuales son: definición del peligro sísmico de la zona de análisis, definir los espectros de aceleración asociados a la distribución de zonas de peligro, construir la función de vulnerabilidad asociada a cada tipo de vivienda según las características estructurales, definir la relación daño-costo de reparación, generar los

resultados del análisis expresados en función del costo de reparación, elaborar un mapeo de los resultados y concluir sobre el análisis con respecto a los resultados encontrados durante el proceso de evaluación.

A. Peligro sísmico:

Asignar el peligro sísmico se define por una distribución del peligro sísmico por zona de estudio, es decir asignar a cada estado su o sus zona(s) sísmicas. La dificultad es determinar de manera exacta el número de viviendas en cada zona. Lo ideal sería realizar una repartición de los municipios de cada estado por zona sísmica, la problemática es que la repartición tiene que hacerse personalmente lo que representa un proceso laborioso por el número de municipios presentes en la República Mexicana y sobre todo por el hecho que los límites de zonas sísmicas no son totalmente exactas. Por lo tanto, se optó, en el presente trabajo, proceder por un análisis por estado definiendo un porcentaje de participación del estado por zonas sísmicas si este se divide en varias zonas sísmicas. A continuación se presenta un mapa de distribución del peligro sísmico en México por estados:



Mapa 3-1: Regionalización sísmica de la República Mexicana

Donde:

- Zona A: No se han presentado sismos durante los últimos 80 años.
- Zona B y C: Son intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente, o son zonas afectadas por altas aceleraciones que no sobrepasan el 70% de la aceleración de la gravedad.
- Zona D: Se reportan grandes sismos históricos, donde la ocurrencia es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Nota: Del mapa anterior se puede concluir que los estados más vulnerables son los estados de la costa pacífica y los estados que prolongan la falla de San Andreas en donde la aceleración es frecuentemente superior a 70% de la aceleración de la gravedad.

La repartición por porcentaje que se estableció se define por el criterio de área del estado, es decir definir de manera aproximada (por el hecho que los límites de las zonas sísmicas no pueden ser verificadas de manera exacta) el área de cada zona sísmica por estado dividido por el área total del estado. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3-9: Distribución de superficie de los estados de México por zona sísmica en Km² y porcentaje

Estados	Area total (km ²)	Area en Km ² por zona sísmica				%Porcentaje de participación por zona sísmica			
		Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
Aguascalientes	5471	0	5471	0	0	0	100	0	0
Baja California	69921	0	6992	41953	27968	0	10	60	40
Baja California Sur	73475	0	45449	24472	0	0	65	35	0
Campeche	50812	34961	34961	0	0	50	50	0	0
Coahuila de Zaragoza	151571	69921	0	0	0	100	0	0	0
Colima	5191	0	0	0	69921	0	0	0	100
Chiapas	73211	0	24472	24472	20976	0	35	35	30
Chihuahua	244938	0	36359	33562	0	0	52	48	0
Distrito Federal	1479	0	69921	0	0	0	100	0	0
Durango	123181	40554	29367	0	0	58	42	0	0
Guanajuato	30491	0	69921	0	0	0	100	0	0
Guerrero	64281	0	0	13984	55937	0	0	20	80
Hidalgo	20813	0	69921	0	0	0	100	0	0
Jalisco	60386	0	31464	6992	31464	0	45	10	45
México	44884	0	69921	0	0	0	100	0	0
Michoacán de Ocampo	58585	0	31464	6992	31464	0	45	10	45
Morelos	4950	0	48945	20976	0	0	70	30	0
Nayarit	26979	0	34961	34961	0	0	50	50	0
Nuevo León	64742	69921	0	0	0	100	0	0	0
Oaxaca	93952	0	0	35660	34261	0	0	51	49
Puebla	34251	0	62929	6992	0	0	90	10	0
Querétaro de Arteaga	11499	0	69921	0	0	0	100	0	0
Quintana Roo	50844	67124	2797	0	0	96	4	0	0
San Luis Potosí	63068	27968	41953	0	0	40	60	0	0
Sinaloa	58328	0	67823	2098	0	0	97	3	0
Sonora	185052	0	66425	3496	0	0	95	5	0
Tabasco	25267	0	69921	0	0	0	100	0	0
Tamaulipas	79384	69921	0	0	0	100	0	0	0
Tlaxcala	4016	0	69921	0	0	0	100	0	0
Veracruz de Ignacio de la Llave	71699	5594	55937	8391	0	8	80	12	0
Yucatán	38402	69921	0	0	0	100	0	0	0
Zacatecas	73252	43351	26570	0	0	62	38	0	0
TOTAL=	1984375	499236	1143785	265001	271993				

Los porcentajes de zona sísmica por estado obtenidos en la tabla anterior serán utilizados para determinar el porcentaje de viviendas que se ubican en cada zona sísmica, es decir que se multiplica el número de viviendas según la tipología establecida por el porcentaje de cada zona para cada estado. Por lo tanto se obtienen las siguientes tablas:

Tabla 3-10: Numero de viviendas según tipología en zona sísmica A

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	386665	3866	5092
Adobe	166439	9564	155260
Mampostería	166439	9427	2311715

Tabla 3-11: Numero de viviendas según tipología en zona sísmica B

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1042010	56713	14529
Adobe	493401	273301	263942
Mampostería	2161483	256549	8730854

Tabla 3-12: Numero de viviendas según tipología en zona sísmica C

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	386265	23151	3828
Adobe	200085	102896	43873
Mampostería	467477	65761	971119

Tabla 3-13: Numero de viviendas según tipología en zona sísmica D

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	350651	28767	3501
Adobe	165216	212127	48758
Mamposteria	338734	103402	1197651

Con respecto a las curvas de vulnerabilidad asociadas a cada tipo de vivienda y los espectros de aceleraciones de cada zona sísmica se aplicara el porcentaje de daño previsto para cada vivienda de las tablas anteriores. Sin embargo el daño causado por un sismo a una vivienda tiene que ser medido cualitativamente, por lo tanto se necesita establecer un costo de reparación para que la vivienda vuelva a su estado inicial.

B. Propuesta arquitectónica de viviendas:

Las dimensiones de las viviendas en México son muy diversas, dependen sobre todo del nivel social de los habitantes. Por lo tanto no es razonable realizar un análisis de riesgo sísmico para las diversas dimensiones que pueden existir en México. Para simplificar el análisis de riesgo sísmico se decidió fijar las dimensiones de las viviendas y repartir los resultados en tres propuestas arquitectónicas de viviendas. Las propuestas se basan en el trabajo realizado por el Instituto Politécnico Nacional [1] el cual ofrece un análisis tipológico de prototipos de viviendas de interés social en México. La base de datos del INEGI no proporciona el número de viviendas dependiendo del número de niveles de la vivienda por estados. Además, según las hipótesis planteadas para el análisis, las viviendas tendrán la misma distribución de muros para cada nivel. Sin embargo, el INEGI nos proporciona el número de cuartos por viviendas y por estado. Por lo tanto, se decidió realizar una propuesta de la proporción de viviendas con diferentes niveles en México. Con la tabla de numero de cuartos por vivienda y por estados proporcionada por el INEGI se realizo un ajuste estadístico. A continuación se presenta la tabla estadística proporcionada por el INEGI:

Tabla 3-14: Número de viviendas por estados según el número de cuartos

	Total	1 cuartos	2 cuartos	3 cuartos	4 cuartos	5 cuartos	6 cuartos	7 cuartos	8 cuartos	9 y más cuartos
Total	21,512,236	2,049,485	4,005,408	4,759,968	4,716,130	3,121,955	1,447,011	638,540	333,655	310,889
Aguascalientes	199398	6729	19049	40257	56896	40687	18028	8521	4349	3854
Baja California	559,402	42,473	76555	121837	139307	93153	45747	17555	8,600	7179
Baja California Sur	104341	13005	17135	24385	25268	13916	6090	2176	862	634
Campeche	156125	31260	39331	34200	26729	13809	5886	2298	1002	882
Coahuila de Zaragoza	539,169	27783	69588	104546	139566	109294	46505	20193	9909	8586
Colima	124714	10908	23620	33579	28850	16071	6582	2575	1111	904
Chiapas	778,845	131365	262831	181831	106810	50419	20846	8498	4208	4584
Chihuahua	733,379	59244	104642	143519	177150	128329	63459	27,054	12763	11013
Distrito Federal	2,102,753	142333	256523	401364	509158	379689	194496	96491	56220	58305
Durango	322,288	13910	44025	72614	80244	57547	27308	12187	6073	5454
Guanajuato	918,822	51846	148620	235151	219918	134448	63516	29100	14690	14476
Guerrero	651,149	130383	211831	153378	86566	37139	15045	5338	2628	3131
Hidalgo	491482	41085	108255	122962	102398	62366	28844	12264	6092	5521
Jalisco	1,378,666	51287	160551	347070	366514	241045	110340	48756	24209	21348
México	2,743,144	244462	494692	568499	582348	420756	212319	98499	54,871	51249
Michoacán de Ocampo	846,333	56525	167124	238425	188118	101267	47181	21082	10745	10066
Morelos	354035	41084	69756	79662	74236	46924	21822	9315	4742	4120
Nayarit	219181	15149	45914	57873	49619	27025	12722	5196	2589	2155
Nuevo León	878,600	41581	97585	152344	224881	188534	84520	40526	23055	20819
Oaxaca	738,087	111322	250051	176235	101006	52914	22764	9361	4868	4983
Puebla	1,028,692	114636	244840	236721	180951	133108	58804	26111	14116	14082
Querétaro de Arteaga	295143	20968	49433	68292	66901	45359	21241	10073	5598	5263
Quintana Roo	210482	54499	49391	39322	35982	19668	6405	2433	1081	843
San Luis Potosí	489,826	31972	80686	115780	116001	78004	33952	15308	7708	7372
Sinaloa	572,816	48271	97196	129072	144152	86690	38746	14135	6380	4904
Sonora	527,427	38224	82169	105756	133171	93842	42720	16,063	6940	5176
Tabasco	410,388	57129	71989	100168	100339	52038	17234	5156	2043	1724
Tamaulipas	677,489	79,283	127488	143029	154108	93776	41496	17495	8995	7745
Tlaxcala	193288	16915	37026	48207	39813	25738	12158	5674	3279	3214
Veracruz de Ignacio de la Llave	1,597,311	260178	362485	330815	314218	187116	77902	30406	14698	12928
Yucatán	371242	50268	91297	78127	68852	45125	19863	8501	4004	3316
Zacatecas	298,217	13408	43746	74849	75079	48163	22468	10200	5227	5036

Fuente: XII Censo general de población y vivienda 2000, INEGI

De la tabla anterior se considero que para una vivienda de 1, 2 o 3 cuartos la vivienda seria de 1 nivel, para una vivienda de 4, 5 o 6 cuartos la vivienda seria de 2 niveles y para 7 cuartos o mas la vivienda seria de 3 niveles. Dependiendo igualmente del número de cuarto se asigno a cada vivienda su propuesta arquitectónica. La propuesta arquitectónica se estableció según el análisis tipológico realizado por el laboratorio de diseño de arquitectura social en el cual se eligieron los prototipos de viviendas de un nivel más relevantes para el análisis. A continuación se presentan los prototipos elegidos para el análisis:

Prototipo I:

Vivienda con dimensiones en planta de 6.00m de frente y de 7.00m de lado con dos recamaras, un cuarto de baño, una cocina y un espacio de comedor y estancia. El plan arquitectónico se presenta a continuación:

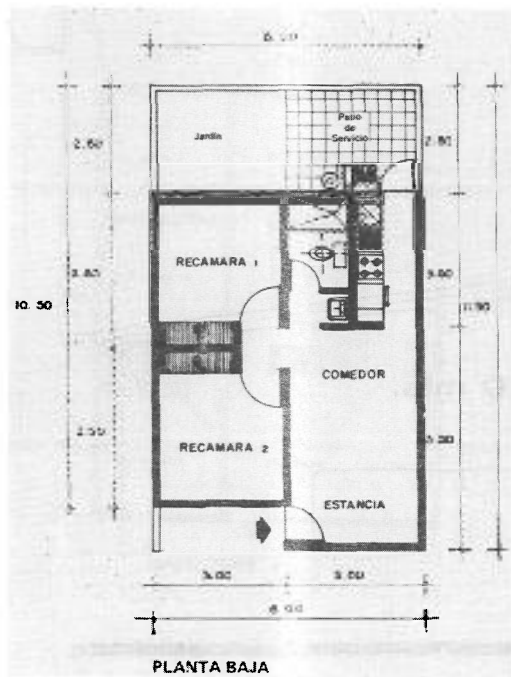


Figura 3-1: Propuesta arquitectónica tipo 1 [1]

Prototipo II:

Vivienda con dimensiones en planta de 10.00m de frente y de 5.70m de lado con tres recamaras, un espacio de baños común, una cocina con espacio de comedor y estancia. El plan arquitectónico se presenta a continuación:

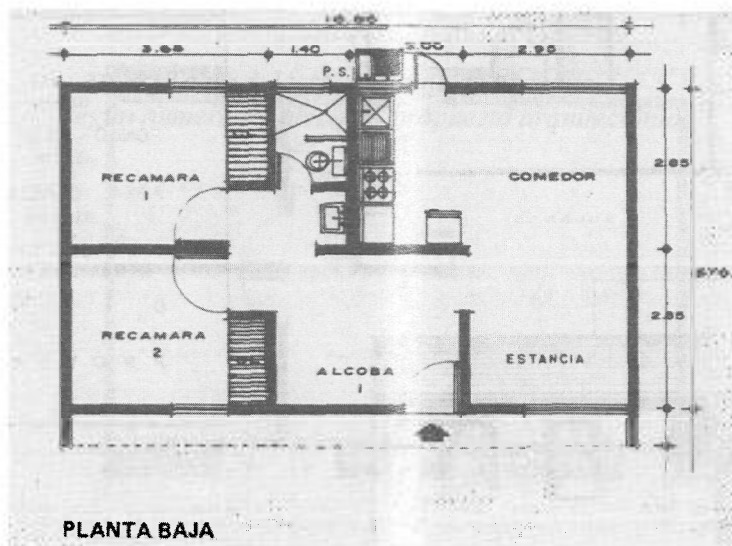


Figura 3-2: Propuesta arquitectónica tipo 2[1]

Prototipo III:

Vivienda con dimensiones en planta de 8.00m de frente y de 10.5m de lado con tres recamaras, un cuarto de baño, una cocina y un espacio de comedor y estancia. El plan arquitectónico se presenta a continuación:

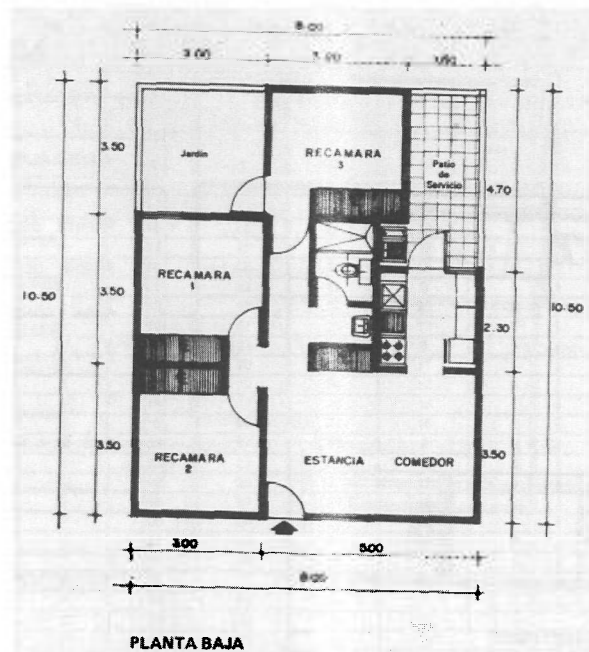


Figura 3-3: Propuesta arquitectónica tipo 3[1]

Las dimensiones de las viviendas que se propusieron anteriormente serán las dimensiones que se usaran para generar la curva de vulnerabilidad de cada tipo de vivienda. Además, se realizó un ajuste estadístico que permite al análisis definir el porcentaje de viviendas en México según propuesta arquitectónica anterior y la tabla de Número de viviendas por estados según el número de cuartos. A continuación se presenta la tabla:

Tabla 3-15: Porcentaje de vivienda según número de niveles y propuesta arquitectónica

	Total	1 cuartos	2 cuartos	3 cuartos	4 cuartos	5 cuartos	6 cuartos	7 cuartos	8 cuartos	9 y más cuartos
Dimensiones de la vivienda	6.00x7.00m	8.00x10.5m	10.0x7.50m	6.00x7.00m	8.00x10.5m	10.0x7.50m	6.00x7.00m	8.00x10.5m	10.0x7.50m	
Numero de pisos de la vivienda	1	1	1	2	2	2	3	3	3	
Total	100	10	19	22	22	15	7	3	2	1
Aguascalientes	100	3	10	20	29	20	9	4	2	2
Baja California	100	8	14	22	25	17	8	3	2	1
Baja California Sur	100	12	16	23	24	13	6	2	1	1
Campeche	100	20	25	22	17	9	4	1	1	1
Coahuila de Zaragoza	100	5	13	19	26	20	9	4	2	2
Colima	100	9	19	27	23	13	5	2	1	1
Chiapas	100	17	34	23	14	6	3	1	1	1
Chihuahua	100	8	14	20	24	17	9	4	2	2
Distrito Federal	100	7	12	19	24	18	9	5	3	3
Durango	100	4	14	23	25	18	8	4	2	2
Guanajuato	100	6	16	26	24	15	7	3	2	2
Guerrero	100	20	33	24	13	6	2	1	0	0
Hidalgo	100	8	22	25	21	13	6	2	1	1
Jalisco	100	4	12	25	27	17	8	4	2	2
México	100	9	18	21	21	15	8	4	2	2
Michoacán de Ocampo	100	7	20	28	22	12	6	2	1	1
Morelos	100	12	20	23	21	13	6	3	1	1
Nayarit	100	7	21	26	23	12	6	2	1	1
Nuevo León	100	5	11	17	26	21	10	5	3	2
Oaxaca	100	15	34	24	14	7	3	1	1	1
Puebla	100	11	24	23	18	13	6	3	1	1
Querétaro de Arteaga	100	7	17	23	23	15	7	3	2	2
Quintana Roo	100	26	23	19	17	9	3	1	1	0
San Luis Potosí	100	7	16	24	24	16	7	3	2	2
Sinaloa	100	8	17	23	25	15	7	2	1	1
Sonora	100	7	16	20	25	18	8	3	1	1
Tabasco	100	14	18	24	24	13	4	1	0	0
Tampulipas	100	12	19	21	23	14	6	3	1	1
Tlaxcala	100	9	19	25	21	13	6	3	2	2
Veracruz de Ignacio de la Llave	100	16	23	21	20	12	5	2	1	1
Yucatán	100	14	25	21	19	12	5	2	1	1
Zacatecas	100	4	15	25	25	15	8	3	2	2

Nota: Los porcentajes que se tomaran en cuenta durante el análisis de riesgo sísmico son los porcentajes totales y no por estado.

C. Relación daño-costos:

Para poder cuantificar el riesgo sísmico de la zona de estudio se necesita asociar a cada tipología de vivienda su costo de reparación, es decir definir el precio de reparación por unidades de metros cuadrados por vivienda para que la vivienda vuelva a su estado inicial, después del daño. Por lo tanto se propusieron los siguientes costos de reparación según el tipo de vivienda:

Tabla 3-16: Matriz de precios de reparación por m²(en pesos MXN)

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	500	600	700
Adobe	800	900	1000
Mampostería	1500	1600	1700

De la propuesta arquitectónica realizada anteriormente y de la matriz de precios de reparación por m² se obtiene para cada propuesta el costo de reparación total de la vivienda. A continuación se presentan las tablas de reparación total de las viviendas para cada tipo de vivienda según su propuesta arquitectónica.

El costo de reparación total por falla de la estructura se calculo de acuerdo con los planos arquitectónicas presentados anteriormente, es decir que se calculo las áreas de muro de la vivienda en planta baja y se multiplico por el precio de reparación de las tablas presentadas anteriormente y eso para cada tipología y cada propuesta arquitectónica. Al final se obtiene el precio de reparación total de la vivienda si se llegara al colapsa de la misma.

Nota: En las hipótesis de análisis se ha definido que el daño se ocasionara únicamente en la planta baja, por lo tanto solo se necesita calcular el precio de reparación total de las viviendas de un nivel

Tabla 3-17: Superficie de muros en planta baja según el tipo arquitectónico

Tipo Arquitectónico	Superficie (m ²)
TIPO 1	42
TIPO 2	57
TIPO 3	80

- Vivienda de 1 nivel con propuesta arquitectónica tipo 1

Tabla 3-20: Matriz de precios de reparación total (en pesos MXN)

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	20000	24000	28000
Adobe	32000	36000	40000
Mampostería	60000	64000	68000

- Vivienda de 1 nivel con propuesta arquitectónica tipo 2

Tabla 3-20: Matriz de precios de reparación total (en pesos MXN)

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	25000	30000	35000
Adobe	40000	45000	50000
Mampostería	75000	80000	85000

- Vivienda de 1 nivel con propuesta arquitectónica tipo 3

Tabla 3-20: Matriz de precios de reparación total (en pesos MXN)

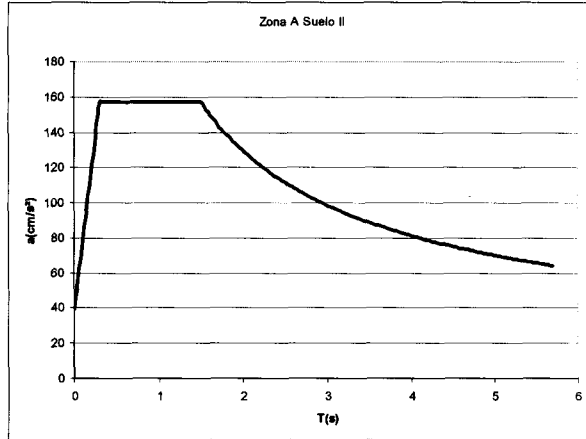
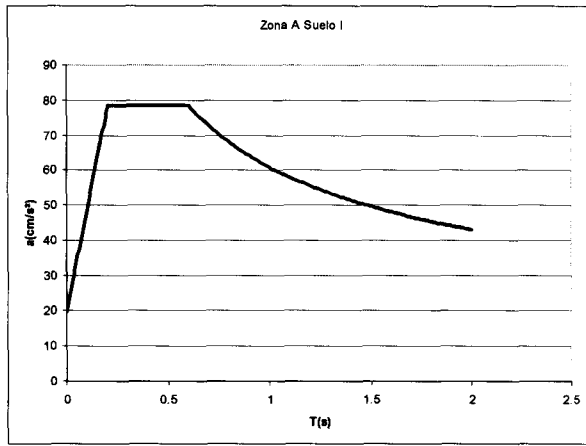
Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	35000	42000	49000
Adobe	56000	63000	70000
Mampostería	105000	112000	119000

Las matrices de precios de reparación total presentadas anteriormente serán multiplicadas por la probabilidad de daño encontrado gracias a las curvas de vulnerabilidad por tipología y por propuesta arquitectónica obteniendo así el precio de reparación de la vivienda según la aceleración máxima del suelo.

D. Espectros de aceleración:

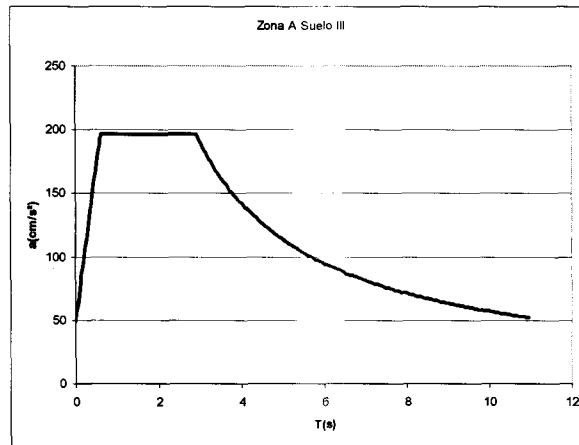
Para mantener la óptica de un trabajo accesible a todos, es decir una información fácil de encontrar y de comprender, los espectros de aceleración que se usaran para la cuantificación del daño en las estructuras serán los espectros de diseño presentados por el CFE los cuales se definen de acuerdo a los parámetros del suelo, de la zona sísmica y del tipo de estructuras para a cabo obtener las aceleraciones máximas permisibles en cada región de México. Los espectros de aceleración, como se menciono en la revisión de literatura, permiten determinar la aceleración del suelo la cual se usara en la grafica de la función de vulnerabilidad para determinar el porcentaje de daño permisible en la estructura. A continuación se presentan los espectros de diseño del CFE que su usaran para el presente análisis:

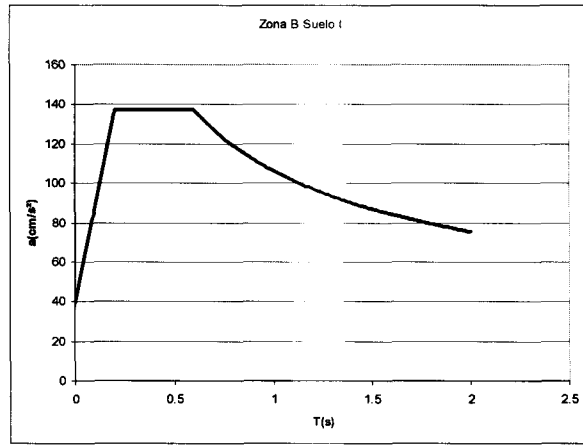
Figura 3-4: Espectros de diseño del CFE por zona y tipo de suelo



1. Zona A Suelo I

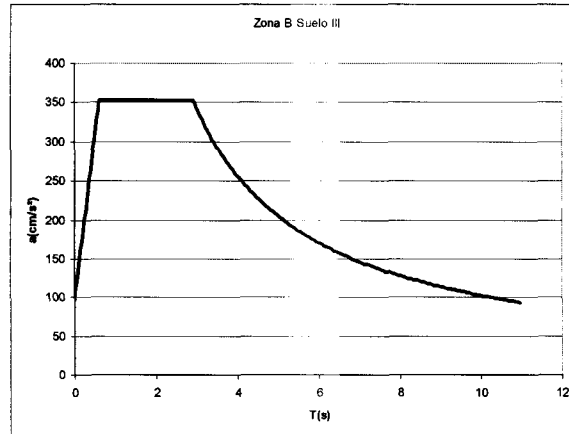
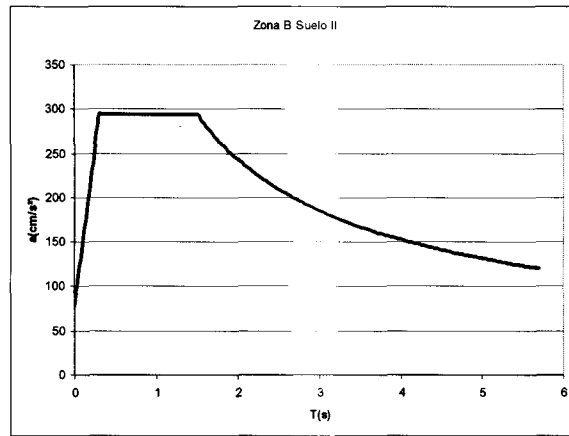
2. Zona A Suelo II





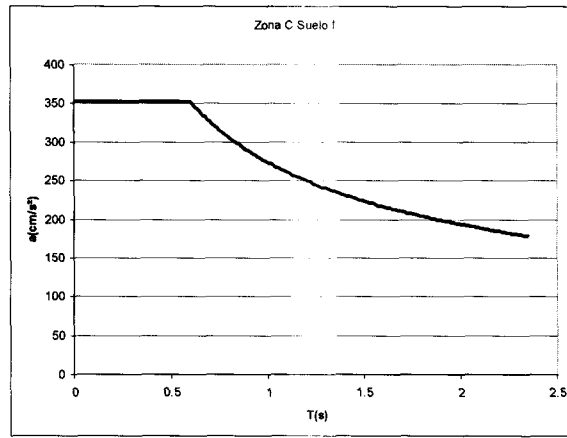
3. Zona A Suelo III

4. Zona B Suelo I

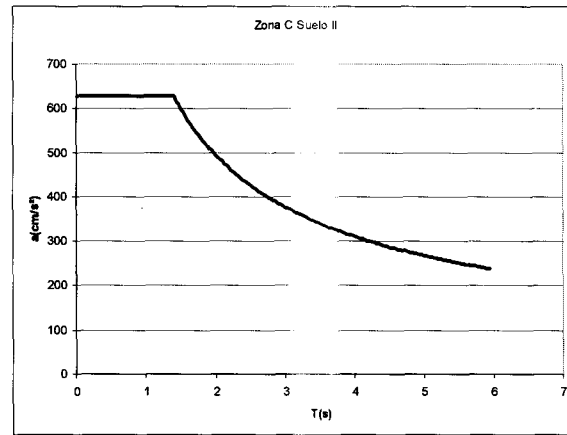


5. Zona B Suelo II

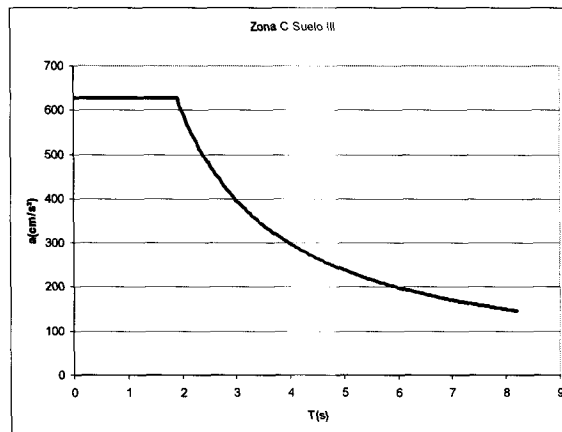
6. Zona B Suelo III

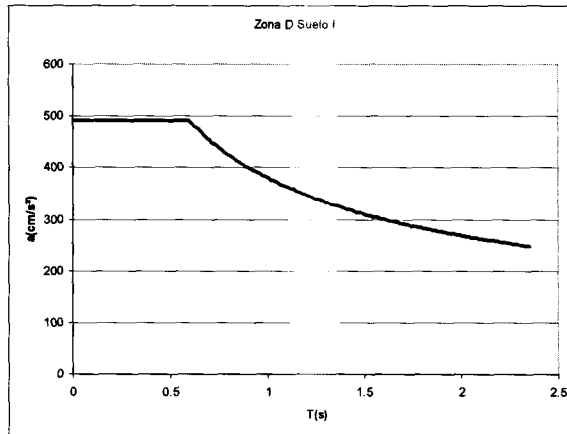


7. Zona C Suelo I



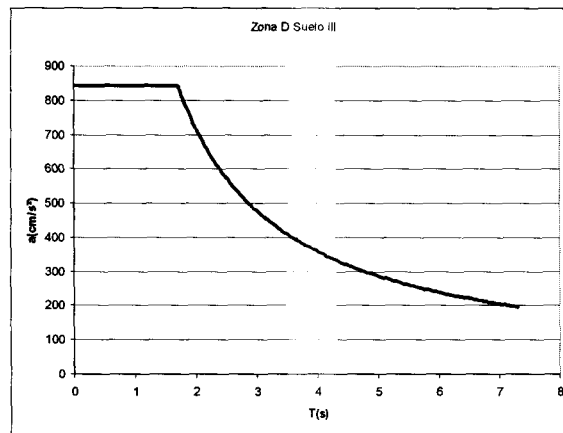
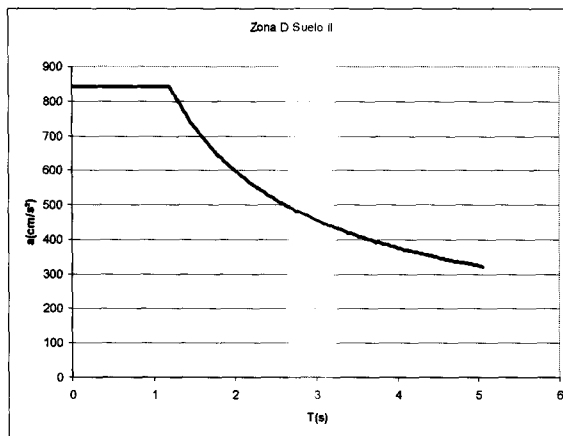
8. Zona C Suelo II





9. Zona C Suelo III

10. Zona D Suelo I



11. Zona D Suelo II

12. Zona D Suelo III

Donde:

- Tipo de suelo I: terreno firme, es decir depósitos formados solamente por estratos con velocidades de propagación $B_0 > 700$ m/s o módulos de rigidez $G_0 > 85000$ t/m²
- Tipo de suelo II: terreno intermedio, es decir depósitos de suelo con periodo fundamental de vibración y velocidad efectiva tales que se cumple la relación:

$$\beta_c T_s + \beta_s T_c \geq \beta_c T_c$$

- Tipo de suelo III: terreno blando, es decir depósitos de suelo con periodo fundamental de vibración y velocidad efectiva de propagación tales que se cumple la relación:

$$\beta_c T_s + \beta_s T_c < \beta_c T_c$$

Con respecto a estas curvas se pueden obtener por lo tanto las aceleraciones máximas que pueden suceder durante un sismo. Estas graficas nos permiten relacionar los daños que se observaran sobre la curva de vulnerabilidad por el hecho de que las graficas de vulnerabilidad se expresan con respecto a la aceleración del suelo. El valor máximo de la aceleración por zona y tipo de suelo nos permite evaluar el daño máximo permisible para los diferentes tipos de viviendas, pero para eso se necesita obtener la función de vulnerabilidad para cada tipo de vivienda establecido anteriormente en la tipología de vivienda.

Para la metodología, como no se puede determinar de manera exacta el tipo de suelo sobre el cual la vivienda esta construida se supondrá que la repartición de suelo para las viviendas será repartida de manera igual, es decir 33.3% de viviendas sobre un tipo de suelo I, 33.3% de viviendas sobre un tipo de suelo II y 33.3% de viviendas sobre un tipo de suelo III.

E. Función de vulnerabilidad:

La función de vulnerabilidad permite representar la probabilidad de daño de una estructura sujeta a sismo con respecto a la aceleración del suelo. Los valores de la función varían entre el 0 y el 1, 1 siendo el colapso de la estructura y 0 representa una estructura sin daño. En la siguiente tabla se hace la asociación entre el daño estructural y el valor de la función de vulnerabilidad:

Tabla 3-27: Relación daño físico – costo de reparación [2]

Clasificación de daño	Daño estructural	Daño en acabados	Costo de reparación/valor de la función de vulnerabilidad
Sin daño	Ninguno	Ninguno	0.00
Daño ligero	Grietas inclinadas en muros mampostería de ancho entre 0.1 a 1mm, si daño en castillos	Ligero en acabados de muros	0.10
Daño medio	Grietas inclinadas en muros de mampostería de ancho entre 1 y 3mm y de 0.1 a 2mm en castillos.	Medio en acabados de muros	0.15
Daño severo	Grietas en muros de mampostería de ancho entre 3 y 10mm y de más de 2mm en castillos	Severo en acabados de muros, rotura de vidrios y distorsión de puestas y ventanas	0.35
Daño total	Falla de la construcción	Daño total	1.0

La función de vulnerabilidad debe tomar en cuenta la respuesta estructural de la vivienda sujeta a sismo para poder expresar los daños susceptibles de ocasionarse. En nuestro caso, las estructuras expuestas al riesgo y que se estudian en esta investigación son viviendas de bajo costo y viviendas sociales. Con respecto a la tipología presentada en la sección previa, se nota que las viviendas estudiadas son generalmente viviendas de mampostería con o sin

diseño estructural, estructuras de maderas y materiales de bajo costo y estructuras de adobe y tabique. Cada uno de este tipo de vivienda tiene su respuesta estructural asociada, es decir que según los parámetros estructurales y dimensionales de cada una, la expresión de la función de vulnerabilidad varía. En la presente investigación se desea expresar una función de vulnerabilidad para cada tipo de vivienda basándose en la clasificación de viviendas realizadas con respecto a la base de datos propuesta por el Instituto Nacional de Estadísticas Geográficas y Informáticas (INEGI). Antes de abordar la metodología de la función de vulnerabilidad se tiene que precisar como se modeló la respuesta sísmica de la vivienda con respecto a las características de los materiales de construcción utilizados para la vivienda y por lo tanto las variables que se consideraron para los cálculos. Por lo tanto, las variables que se tomaron en cuenta para realizar las funciones de vulnerabilidad fueron las siguientes:

Tabla 3-28: Variables de la función de vulnerabilidad

Variables	Parametros a seleccionar	
Tipo de material en paredes	Material ligero	
	Material de desecho	
	Lamina de carton	
	Lamina de asbesto o metalica	
	Corrizo, bambu o palma	
	Embarro o bajaregue	
	Madera	
	Adobe	
	Mamposteria	
	Tabique de barro recocido	
	Tabique de barro con huecos verticales	
	Bloque de concreto	
	Tabique de concreto	
	Tipo de material en techos	Material ligero
Material de desecho		
Lamina de carton		
Lamina de asbesto o metalica		
Palma		
Madera		
Teja		
Losa de mamposteria		
Tabique de barro recocido		
Tabique de barro con huecos verticales		
Bloque de concreto		
Tabique de concreto		
Castillos de refuerzo para mamposteria		Castillos rectangulares
		Dimensiones del castillo, bc y hc
	Caracteristicas del refuerzo en castillos	
Propriedades del material	Resistencia a cortante, V_m	
	Resistencia a esfuerzo axial, f_m	
	Modulo de elasticidad, E_m	
	Modulo de rigidez, G_m	
	Peso volumetrico del material, γ_m	
Densidad de muros	Disposicion de muros en la vivienda	
	Longitud y espesor de cada muro	
	Dimensiones de la planta baja	
Carga axial en muros de carga	Numero de niveles, n	
	Carga viva, W_v	
	Carga muerta, W_m	

Nota: Para simplificar los cálculos de la función de vulnerabilidad los materiales ligeros representan en realidad un solo parámetro, el cual se define posteriormente.

F. Características de los materiales de construcción:

a) Elementos de mampostería reforzada:

Lo que demuestran varios estudios realizados sobre los daños en estructuras del tipo vivienda, es que los daños estructurales más comunes se observan en los muros y refuerzos verticales de la vivienda. Según el reporte de “Funciones de vulnerabilidad para vivienda construida con muros de carga de mampostería y sujeta a la acción de sismo”, se han identificado las siguientes etapas de comportamiento para fallas debidas a cargas laterales:

- Etapa aproximadamente elástica lineal hasta el esfuerzo de agrietamiento. En esta etapa los muros no tienen daño por cortante si bien pueden llegar a iniciarse pequeñas grietas en los castillos por la flexión del muro.
- La segunda fase se encuentra entre el agrietamiento y la resistencia máxima de la estructura. En el agrietamiento se presentan grietas inclinadas aproximadamente al centro de los tableros de mampostería. Durante la evolución de esta etapa, las grietas inclinadas aumentan su anchura y se prolongan hacia los extremos del muro. La resistencia máxima se da cuando las grietas penetran en los extremos de los castillos.
- La última etapa se define por una caída de resistencia. Posteriormente a la resistencia máxima, los extremos de castillos presentan daño severo y se producen desplazamientos importantes que “pliegan” las barras de refuerzo de los mismos, de tal forma que se tiene un trabajo de dovela. La resistencia baja conforme se aumenta la distorsión del muro, hasta un punto en que se vuelve inestable ante cargas verticales.

Por lo tanto, el modelo de comportamiento propuesto se compone de una curva trilineal, donde el primer tramo corresponde al comportamiento elástico del muro de mampostería, hasta el agrietamiento por cortante. El segundo aumenta o se mantiene constante desde el agrietamiento hasta la carga máxima admisible y el tercero tiene una pendiente negativa y baja desde la carga máxima hasta una deformación final. En la siguiente figura- se muestra la envolvente trilineal superpuesta sobre una serie de envolventes reales de ensayos experimentales:

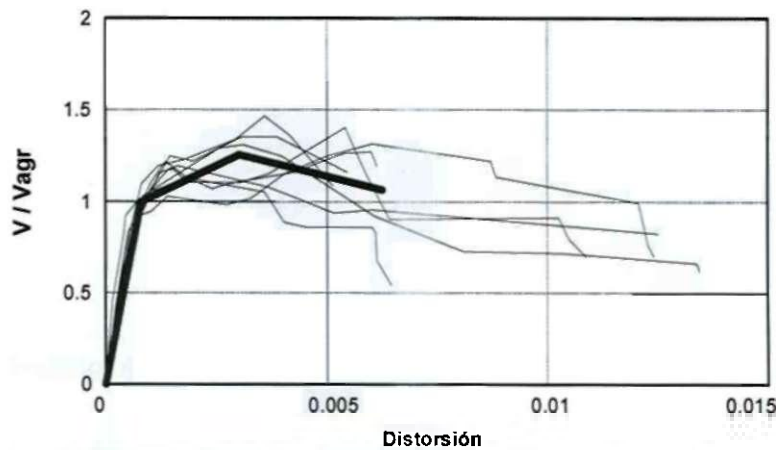


Figura 3-5: Envolvente trilineal real contra envolvente simplificada [2]

Nota: El comportamiento propuesto anteriormente por Flores y Reyes se aplica únicamente para un muro de mampostería.

Por lo tanto se presentan las características estructurales de los elementos de mampostería que se tomaron en cuenta para la construcción de la función de vulnerabilidad propuesta:

Tabla 3-29: Características de los materiales de mampostería

Tabique de barro recocido Peso volumétrico, γ_m : 0.0013Kg/cm ³ Modulo de elasticidad, E_m : 600xfm Modulo de rigidez, G_m : 0.4xEm Resistencia a compresión, f_m^* : 15Kg/cm ² Resistencia cortante, V_m^* : 3.5Kg/cm ²		
Tabique de barro con huecos verticales Peso volumétrico, γ_m : 0.0017Kg/cm ³ Modulo de elasticidad, E_m : 600xfm Modulo de rigidez, G_m : 0.4xEm Resistencia a compresión, f_m^* : 30Kg/cm ² Resistencia cortante, V_m^* : 3 Kg/cm ²		
Bloque de concreto Peso volumétrico, γ_m : 0.0017Kg/cm ³ Modulo de elasticidad, E_m : 800xfm Modulo de rigidez, G_m : 0.4xEm Resistencia a compresión, f_m^* : 15 Kg/cm ² Resistencia cortante, V_m^* : 3.5Kg/cm ²		
Tabique de concreto Peso volumétrico, γ_m : 0.0015 Kg/cm ³ Modulo de elasticidad, E_m : 800xfm Modulo de rigidez, G_m : 0.4xEm Resistencia a compresión, f_m^* : 15 Kg/cm ² Resistencia cortante, V_m^* : 3 Kg/cm ²		

b) *Material ligero:*

Como se ha dicho anteriormente, los materiales ligeros son un grupo de materiales de construcción: material de desecho, lamina de cartón, lamina de asbesto o metálica, palma o madera. Para simplificar la construcción de la función de vulnerabilidad para una vivienda con estos tipos de materiales predominantes en muros, se considero que los materiales ligeros fueran del tipo madera. Por lo tanto se eligió el tipo de madera con las características mas críticas de las normas técnicas mexicanas. A continuación se presenta las características o variables que usan para la construcción de la función de vulnerabilidad para este material:

Tabla 3-30: Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de maderas de especies latifoliadas, MPa (kg/cm²)

		Grupo			
		I	II	III	IV
Flexión	f_{fu}'	30.4 (310)	22.6 (230)	15.7 (160)	7.8 (80)
Tensión paralela a la fibra	f_{tu}'	20.1 (205)	15.7 (160)	10.8 (110)	5.4 (55)
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}'	22.1 (225)	16.7 (170)	12.3 (125)	5.9 (60)
Compresión perpendicular a la fibra	f_{mu}'	7.4 (75)	5.4 (55)	3.9 (40)	2 (20)
Cortante paralelo a la fibra	f_{vu}'	2.5 (25)	2 (20)	1.5 (15)	1 (10)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	16 680 (170 000)	11 770 (120 000)	8 830 (90 000)	6 870 (70 000)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil	$E_{0.05}$	11 770 (120 000)	8 830 (90 000)	7 360 (75 000)	4 400 (45 000)

Fuente: Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera

c) *Adobe:*

Las fallas de las estructuras de adobe no reforzadas, debidas a sismos, son frágiles. Usualmente la poca resistencia a la tracción de la albañilería produce la falla del amarre de los muros en las esquinas, empezando por la parte superior, esto a su vez aísla los muros unos de otros y conduce a una pérdida de estabilidad, produciendo el desplome del mismo fuera de su plano. Si se controla la falla de las esquinas, entonces el muro podrá soportar fuerzas sísmicas horizontales en su plano las que pueden producir el segundo tipo de falla que es por fuerza cortante. En este caso aparecen las típicas grietas inclinadas de tracción diagonal. En el presente caso, se considera que la vivienda de adobe es sin refuerzo.

Peso volumétrico, γ_m : 0.0016Kg/cm³
Modulo de elasticidad, E_m : 6500 Kg/cm²
Modulo de rigidez, G_m : 0.4x E_m
Resistencia a compresión, f_m : 25 Kg/cm²
Resistencia cortante, V_m : 0.5Kg/cm²

Los materiales de construcción que se tomaran en cuenta en el presente análisis de riesgo sísmico serán los presentados anteriormente con sus características respectivas. A continuación se presentan las hipótesis que se establecieron para realizar en análisis.

G. Hipótesis de análisis

Es evidente que se debe de tomar en cuenta los otros elementos estructurales de la vivienda, por lo tanto se hicieron las siguientes hipótesis para la construcción de la función de vulnerabilidad:

- La edificación cuenta con la misma distribución de muros en todos los pisos. En una aproximación más detallada se puede tomar en cuenta las diferencias en cada nivel.
- La carga vertical se reparte uniformemente en todos los muros de cada planta.
- Se supone que el comportamiento puede analizarse en la dirección más débil como un análisis plano, despreciando el efecto de distorsión de la planta.
- Se supone que la ductilidad de un muro de adobe es pequeña por lo tanto el valor de la ductilidad para los muros de adobe se ha tomado igual a 1.
- Se supone que los materiales ligeros tienen una buena ductilidad lo que los ofrece tener una ductilidad igual a 2.
- Los resultados obtenidos representaran la curva de vulnerabilidad para un muro de la vivienda, el más crítico, pero tomando en cuenta la aportación de los demás.
- El modo de falla es esencialmente por cortante y se presentara en la planta baja del edificio. Para mejorar el estudio se podría verificar la falla en pisos superiores. En el caso de edificios de mampostería en donde el daño se concentra esencialmente en la planta baja del edificio, es razonable considerar el comportamiento de la estructura similar al de un grado de libertad considerando los pisos superiores como cuerpo

rígido cuando la planta baja se ha dañado considerablemente como se muestra en la siguiente figura:

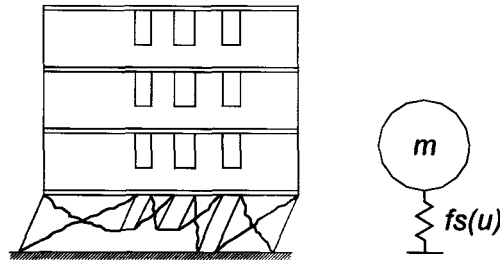


Figura 3-6: Modelo de un edificio con daño solo en la planta baja [2]

La función de vulnerabilidad se construye por etapas, una serie de cálculos y simplificaciones que permiten llegar a un resultado que expresa el porcentaje de daño en una estructura con respecto a la aceleración del suelo. A continuación se van a plantear la serie de cálculos que se realizaron para llegar a los resultados explicando para cada paso porque se escogieron los siguientes cálculos, con respecto a las hipótesis preestablecidas.

H. Construcción de la función de vulnerabilidad:

En lo que se refiere la construcción de funciones de vulnerabilidad para estructuras de mampostería destinadas a vivienda se ha optado por expresar la vulnerabilidad en términos del daño físico o consecuencias que pueda causar la ocurrencia de un sismo. Así la expresión que se ha planteado para tal fin es de la forma siguiente:

$$\delta(Sa) = 1 - e^{-au^m}, \quad \text{donde } u = Sa(T) / Sa_{\max}(T)$$

Ec.3-1

en donde a y m son parámetros que dependen del tipo de arreglo estructural, de los materiales y de los detalles constructivos que determinan la capacidad para resistir fuerzas laterales en términos de de la aceleración espectral elástica. $Sa(T)$ es la aceleración espectral elástica demandada y $Sa_{\max}(T)$ es la aceleración elástica espectral que causa un nivel de daño excesivo en la estructura y que puede causar el colapso de la misma.

Nota: Los parámetro a y m se ajustaron con base en ensayos de laboratorio de muros de mampostería desarrollados en México desde los años setenta, logrando reunir una base de datos de aproximadamente 150 ensayos. El ajuste de los parámetros se efectuó con base a las pseudo-aceleraciones espectrales las cuales se van a comentar posteriormente en el presente capítulo.

Como se ha mencionado anteriormente, la función de vulnerabilidad permite relacionar el daño sufrido por una estructura sujeta a sismo con respecto a la aceleración del suelo. En la presente parte, se quiere definir los procesos que permiten llegar a la expresión de la curva de vulnerabilidad de una estructura. Por lo tanto, se presentan a continuación, los elementos de cálculos que influyen en la definición de la vulnerabilidad.

Nota: Los cálculos fueron computarizados por el medio del programa de cálculos Matlab®

para poder realizar varios escenarios de curvas de vulnerabilidad para varias viviendas.

d) Densidad de muros y densidad de muros efectiva:

La densidad de muros, d , se define como el cociente del área del muro dividido por el área de la planta. La densidad de muros se calcula en las dos direcciones. La densidad de muros efectiva es la densidad de muros aplicando un factor de área efectiva para cada muro el cual se aplica si y solo si la longitud $L > H/1.33$ y se define por:

$$F_{AE} = (1.33 L/H)^2 \quad \text{Ec.3-2}$$

Donde:

- H es la altura de entrepiso en cm
- L es la longitud del muro en cm

Por lo tanto tenemos las siguientes expresiones de las densidades de muros en una dirección (X):

$$d_x = \frac{\sum A_x}{A_p}; \quad d_{AE_x} = \frac{\sum F_{AE} A_x}{A_p} \quad \text{Ec.3-3}$$

Donde:

- A_p es el área de la planta en cm^2
- A es el área del muro en cm, es decir el espesor del muro por su longitud: $t.L$

Determinar las densidades de muros en las dos direcciones permite definir la dirección más débil del análisis.

e) Carga vertical:

Como se ha mencionado en las hipótesis de la metodología, se supone que la carga vertical que se aplica sobre la estructura se distribuye de manera uniforme sobre el área, por lo tanto se obtienen la siguiente expresión:

$$w = w_{\text{piso}} + (d_x + d_y) \gamma_{\text{muro}} H \quad \text{Ec.3-4}$$

Donde:

- w_{piso} representa la carga de servicio aplicada a la estructura en Kg/cm^2 , es decir la suma de la carga viva y la carga muerta (sin considerar el peso propio de la losa)
- γ_{muro} es el peso volumétrico del muro
- d_x y d_y siendo las densidades de muros en las dos direcciones.

La carga vertical aplicada a la estructura permite definir el esfuerzo vertical que se aplica a los muros de carga de la vivienda. La carga vertical que se obtiene es para un piso nada más y se supone que será la misma para todos los niveles de la vivienda según las hipótesis de análisis.

f) Esfuerzo vertical:

El esfuerzo vertical se aplica a todos los muros de carga de la vivienda según las hipótesis de análisis. Como mencionado en las hipótesis de análisis, se supone que se estudiara la respuesta sísmica del primer nivel por lo tanto el esfuerzo vertical aplicado a los muros de carga de la vivienda se define por la suma de la carga de todos los niveles dividido por la suma de las densidades en las dos direcciones. El esfuerzo vertical define por lo tanto el esfuerzo aplicada a cada muro de carga de la vivienda.

$$\sigma = \frac{n w}{d_x + d_y}$$

Ec.3-5

Donde:

- n es el numero de pisos de la vivienda

El resultado obtenido se expresa en Kg/cm².

g) Esfuerzo de corte:

El esfuerzo de corte es la resistencia a corte del elemento estructural el cual se define por sus características de material. Los diferentes materiales de construcción tienen una expresión diferente de esfuerzo de corte.

En el caso de la mampostería, la expresión de la fuerza resistente de corte que se utilizó fue la propuesta en el documento de Reyes y Flores (2004) la cual se define, con respecto a los resultados de laboratorio que obtuvieron, por:

$$V_{mR} = F_R(0.5v_m^*A_T + 0.3P) \leq 1.5F_Rv_m^*A_T$$

Ec.3-6

Donde:

- V_{mR} es el esfuerzo de resistencia a corte del muro de mampostería en Kg/cm²
- F_R es el factor de reducción el cual se toma igual a 1 para el análisis
- V_m^{*} es la resistencia a corte de la mampostería elegida en Kg/cm²

Si se divide la expresión anterior por el área del muro entonces se obtiene una simplificación que conduce a lo siguiente:

$$v_{mR} = 0.5v_m^* + 0.3\sigma \leq 1.5v_m^*$$

Ec.3-7

Donde :

- σ es el esfuerzo vertical aplicado el muro el cual se definió anteriormente

Para el adobe se decidió tomar la misma expresión por el hecho que el comportamiento del adobe es similar al de mampostería. Por lo tanto se obtiene la siguiente expresión del esfuerzo de agrietamiento:

$$v_{mR} = 0.5v_m^* + 0.3\sigma \leq 1.5v_m^*$$

Ec.3-8

Para los materiales ligeros, es decir madera de especies latifoliadas, se calculó la fuerza de resistencia a corte aplicando las normas técnicas mexicana para la madera las cuales definen la siguiente expresión:

$$V_{mR} = F_R \frac{I b}{Q} f_{ru}$$

Ec.3-9

Donde:

- F_R es el factor de reducción unitario el cual se toma igual a 1 en el presente análisis
- Ib/Q es una constante que se define según el espesor del diafragma de madera. En las normas se presenta la tabla de constantes.
- f_{ru} es el valor de resistencia por cortante de la madera es decir en el presente caso el valor de V_m^* propuesto anteriormente.

Tabla 3-31: Grosos de las chapas y propiedades efectivas de la sección para placas de madera contrachapada sin pulir

a) Propiedades de la sección por un metro de ancho cuando las chapas exteriores son paralelas al esfuerzo

Grosor nominal	Número de chapas	Grosor de las chapas			Grosor neto t	Grosor efectivo I_p	Área efectiva A_1	Modulo de sección efectivo S_1	Momento de inercia efectivo I_1	Constante para cortante por flexión $I b \cdot Q$
		Chapas exteriores	Chapas transversales	Centros						
mm		mm	mm	mm	mm	mm ² (cm ²)	mm ³ (cm ³)	mm ⁴ (cm ⁴)	mm ² (cm ²)	
9	3	3.18	2.54	—	8.10	4.3	4 286 (42.86)	8 570 (8.57)	32 000 (3.20)	5 611 (56.11)
9	3	3.18	3.18	—	8.74	5.6	5 566 (55.66)	12 140 (12.14)	53 100 (5.31)	6 396 (63.96)
9	5	3.18	1.59	2.54	8.10	4.9	4 926 (49.26)	7 440 (7.44)	30 200 (3.02)	6 117 (61.17)
9	3	2.12	2.12	1.59	9.27	5.0	5 036 (50.36)	10 850 (10.85)	50 300 (5.03)	7 377 (73.77)
12	5	3.18	6.35	—	11.90	5.6	5 566 (55.66)	20 080 (20.08)	119 700 (11.97)	9 416 (94.16)
12	5	2.54	2.54	1.59	10.95	5.9	5 874 (58.74)	15 550 (15.55)	85 200 (8.52)	8 730 (87.30)
12	5	2.54	2.12	2.54	11.06	6.8	6 826 (68.26)	15 960 (15.96)	88 300 (8.83)	8 519 (85.19)
12	5	3.18	2.12	1.59	11.39	7.2	7 156 (71.56)	18 810 (18.81)	107 200 (10.72)	8 711 (87.11)
16	5	2.54	3.18	3.97	14.61	8.3	8 256 (82.56)	23 750 (23.75)	173 600 (17.36)	11 318 (113.18)
16	5	2.54	3.97	2.54	14.76	6.8	6 826 (68.26)	23 530 (23.53)	173 700 (17.37)	12 123 (121.23)
16	5	3.18	3.97	1.59	15.08	7.2	7 156 (71.56)	28 470 (28.47)	214 900 (21.49)	12 315 (123.15)
16	5	3.18	3.97	3.18	15.08	8.7	8 746 (87.46)	28 810 (28.81)	217 600 (21.76)	11 818 (118.18)
19	5	3.97	3.97	3.97	19.05	11.1	11 116 (111.16)	46 290 (46.29)	441 100 (44.11)	14 886 (148.86)
19	7	2.54	2.54	3.18	18.26	10.6	10 646 (106.46)	36 960 (36.96)	337 600 (33.76)	14 886 (148.86)
19	7	2.54	3.18	2.54	18.90	9.4	9 366 (93.66)	36 710 (36.71)	347 000 (34.70)	13 756 (137.56)
19	7	3.18	2.54	3.18	19.54	11.9	11 926 (119.26)	46 250 (46.25)	452 000 (45.20)	13 941 (139.41)
22	5	2.54	5.56	5.56	20.95	9.8	9 846 (98.46)	37 740 (37.74)	395 600 (39.56)	16 461 (164.61)
22	5	3.18	4.76	6.35	21.43	11.9	11 916 (119.16)	47 500 (47.50)	509 100 (50.91)	16 424 (164.24)
22	7	3.18	2.54	3.97	21.12	13.5	15 306 (153.06)	53 620 (53.62)	566 400 (56.64)	14 731 (147.31)
22	7	2.54	3.97	2.54	21.27	9.4	9 366 (93.66)	42 340 (42.34)	450 500 (45.05)	15 657 (156.57)
25	5	3.18	6.35	6.35	24.61	11.9	11 916 (119.16)	55 920 (55.92)	688 300 (68.83)	14 930 (149.30)
25	7	2.54	4.76	3.18	24.92	10.6	10 646 (106.46)	57 230 (57.23)	663 400 (66.34)	17 913 (179.13)
25	7	3.18	3.97	3.18	23.83	11.9	11 926 (119.26)	59 320 (59.32)	707 000 (70.70)	17 386 (173.86)
25	7	3.18	3.18	4.76	24.62	15.1	15 086 (150.86)	67 860 (67.86)	835 500 (83.55)	16 951 (169.51)

Sin embargo, no existe una formulación para definir el esfuerzo de agrietamiento de la madera por lo tanto se explica el hecho que se ha supuesto en las hipótesis que el valor de la ductilidad será de 2.

h) Esfuerzo de agrietamiento

El esfuerzo de agrietamiento depende de la resistencia a cortante del muro según el tipo de material de construcción que se haya utilizado. Para el presente análisis se ha definido de la siguiente manera:

Para la mampostería, la expresión del esfuerzo de agrietamiento es la siguiente:

$$v_{agr} = (0.45v_m + 0.45 \sigma) (1-0.2H/L) \times 1.25$$

Para el adobe se ha utilizado la misma formulación que en la ecuación anterior.

Para el material ligero, se ha considerado por el comportamiento a falla de la madera que el valor de agrietamiento no se define en el presente caso. Sin embargo, se supondrá a continuación que el valor de fluencia de la madera será igual al valor de resistencia a cortante determinada anteriormente.

i) Esfuerzo máximo y último:

El esfuerzo máximo resistido por el muro de carga tendrá una gran consecuencia en la ductilidad del muro. Por lo tanto se tiene que tomar en cuenta todos los elementos

estructurales del muro. El esfuerzo máximo varia según el tipo de material de construcción utilizado en la vivienda. Para los materiales ligeros y el adobe sin refuerzo, el valor del esfuerzo máximo será igual al valor del esfuerzo de agrietamiento por el hecho que no se toman en cuenta refuerzos verticales o horizontales. Sin embargo, para la mampostería, la presencia de los castillos en los muros logran aumentar la resistencia del muro al corte. Por lo tanto se tiene que expresar este incremento de resistencia. Según el trabajo realizado por Flores y Reyes (2004), la aportación de los castillos se puede formular de la siguiente manera:

$$\Delta v = [0.5b_c h_c \sqrt{f'_c} + 0.2(0.6f_y A_s)]/A$$

Ec.3-10

Donde:

- b_c y h_c son las dimensiones de los castillos en cm
- f'_c es el esfuerzo de resistencia a compresión del concreto utilizado en los castillos en Kg/cm²
- f_y es el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo en los castillos en Kg/cm²
- A_s es el área de acero de refuerzo en cm²
- A es el área del muro en cm²

Este diferencial aumenta la resistencia a corte del muro obteniendo entonces el esfuerzo máximo de resistencia a corte del muro el cual se define por:

$$v_{max} = v_{agr} + \Delta v$$

Ec.3-11

Por lo tanto se define el esfuerzo último que se tomó para el análisis de riesgo el cual se estableció como siendo el 80% del esfuerzo máximo, es decir:

$$v_u = 0.8v_{max}$$

Ec.3-12

Para la resistencia máxima se propuso un mecanismo atendiendo a que la máxima resistencia se tiene cuando la grieta inclinada penetra y produce un cierto daño en los extremos de los castillos. Al revisar la correspondencia entre el incremento en resistencia $\Delta v = v_{max} - v_{agr}$ y las propiedades geométricas y mecánicas de los castillos (tanto la sección de concreto como el refuerzo longitudinal), se propusieron las expresiones anteriores.

Nota: la falta de refuerzo en los materiales ligeros y el adobe implican que el valor del esfuerzo de agrietamiento y el máximo sean iguales es decir: $v_{max} = v_{agr}$

j) Rigidez del muro más largo y de entrepiso:

Como se ha mencionado anteriormente en la hipótesis, la curva de vulnerabilidad que se obtiene del presente análisis representa la curva de vulnerabilidad de un muro de la vivienda, el mas crítico y por lo tanto el mas largo. En el caso de un entrepiso completo, con la hipótesis de que el nivel de losa se traslada horizontalmente y produce la misma distorsión en todos los muros, entonces la suma de las fuerzas resistentes de todos los muros, dependiendo de la rigidez de cada uno, proporcionarán la envolvente de respuesta de todo el entrepiso. Normalmente, el primer muro que se agrieta será el más rígido (tiene la menor distorsión de

agrietamiento γ_{agr}), mientras que los muros cortos, al ser menos rígidos y dominar las deformaciones por flexión, tienen una distorsión de agrietamiento mucho mayor. A continuación se presenta un ejemplo con la siguiente repartición de muro:

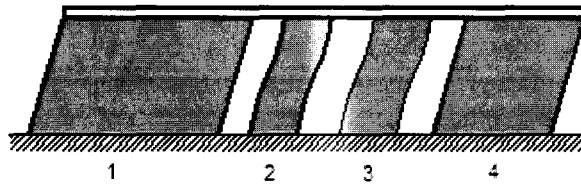


Figura 3-7: Ejemplo de comportamiento de muro según su longitud[2]

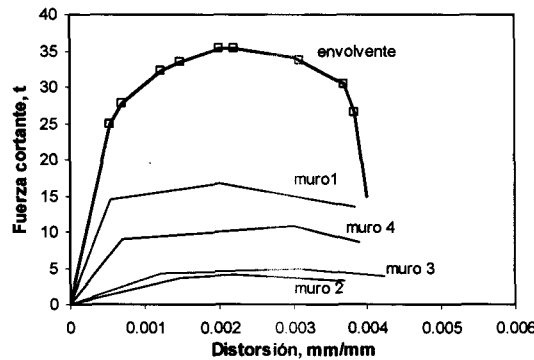


Figura 3-8: Grafica de distorsión-cortante por muro y envolvente[2]

La rigidez inicial de toda la planta se puede obtener simplificada como la rigidez a cortante si se convierte el área de los muros a un área equivalente. Esta área equivalente debe tomar en cuenta la deformabilidad a cortante y a flexión.

El factor para transformar el área de un muro, de tal forma que la rigidez a cortante calculada con dicha área sea la misma de la del muro real, se presenta en la siguiente ecuación incluyendo una simplificación.

$$F_{RE} = \left(\frac{H^2 A}{2.5\beta I} + 1 \right)^{-1} \approx \left(\frac{4}{\beta} (H/L)^2 + 1 \right)^{-1}$$

Ec.3-13

Si $\beta = 3$ (muros en voladizo), el factor de rigidez efectiva es $F_{RE} = (1.33 (H/L)^2 + 1)^{-1}$. En la siguiente figura se muestra la comparación entre el factor F_{AE} y F_{RE} .

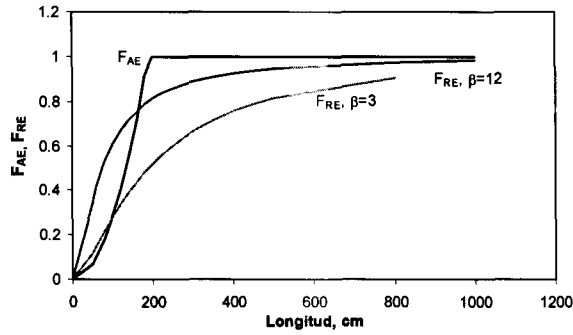


Figura 3-9: Comparación entre el factor F_{AE} y F_{RE} [2]

Si se define un nuevo factor f_{re} de rigidez efectiva del entrepiso (ec. 4.30), entonces la rigidez del entrepiso se calculará con la expresión siguiente:

$$f_{re} = \frac{\sum F_{RE} A}{\sum A}$$

$$Rig = \frac{G f_{re} \sum A}{H}$$

Sin embargo, con fines de simplificar y considerando la semejanza entre F_{AE} y F_{RE} mostrado por la grafica anterior, se puede tomar la siguiente expresión aproximada:

$$Rig \approx \frac{G d_{AE} A_p}{H}$$

Finalmente, la rigidez que relaciona esfuerzos con distorsiones, para el entrepiso $k_0 = Rig \times H / \sum A$ se aproximará con la siguiente expresión

$$k_0 \approx G \frac{d_{AE}}{d}$$

Ec.3-14

Y para la rigidez del muro mas largo se puede por lo tanto definir como:

$$k_{0,muro} \approx G$$

Ec.3-15

k) Distorsión de agrietamiento y máxima:

Como se trató en la sección anterior, si se hace un análisis simplificado, la distorsión de agrietamiento del entrepiso será la menor de las de los muros que lo componen (ver fig. 4.7). En general ésta será la de los muros de mayor longitud. De manera similar, se considerará que la distorsión del máximo cortante del entrepiso es aproximadamente la que corresponde al muro más robusto. Finalmente, y dado el mismo razonamiento, para el esfuerzo y distorsión últimos, rige la del muro más robusto ya que, una vez perdida su contribución, baja súbitamente la de todo el entrepiso como ha mostrado en la figura anterior (figura 3-6).

$$\gamma_{agr} = \min(\gamma_{agr,muros})$$

$$\gamma_{Vmax} = \gamma_{Vmax, muro\ robusto}$$

$$\gamma_u = \gamma_u, \text{ muro robusto}$$

La distorsión de agrietamiento se calculará mediante el uso de la rigidez inicial y la fuerza cortante.

$$\gamma_{agr} = (V_{agr} / Rig) / H$$

Ec.3-16

Se propone calcular la rigidez lateral de los muros con expresiones de la mecánica de materiales, como se presenta a continuación

$$Rig = \frac{1}{\frac{H^3}{\beta EI} + \frac{H}{GA}}$$

Ec.3-17

Donde:

- H es la altura del muro en cm
- G es el módulo de cortante, se usará $G=G_m$ en Kg/cm²
- EI es la rigidez a flexión; si se transforma la sección a mampostería se usará $E=E_m$
- β es el coeficiente que toma en cuenta la restricción a la flexión en los extremos del muro.

Los casos extremos para el valor de β es cuando el muro trabaja en voladizo $\beta=3$, o está firmemente acoplado en su extremo superior y, por lo tanto, se deforma en doble curvatura $\beta=12$. Para cualquier caso se puede calcular $\beta = 6/(3M/VH-1)$.

Para el momento de inercia de un muro con castillos en los extremos, si se transforma la sección a mampostería y se usa la relación de módulos $n_c=E_c/E_m$, tenemos el cálculo más exacto o la simplificación incluida en la siguiente ecuación:

$$I = \frac{t}{12}(L-2h_c)^3 + \frac{n_c}{2} \left[\frac{b_c h_c^3}{3} + b_c h_c (L-h_c)^2 \right] \approx \frac{t L^3}{12} + \frac{A^2 n_c}{2}$$

Ec.3-18

A modo de simplificación y, usando una rigidez que relaciona el esfuerzo con la deformación angular: $k_0 = v_{agr} / \gamma_{agr}$, donde $k_0 = Rig \times H/A$ y que $G = 0.4E$, es preferible usar la siguiente ecuación para la determinación del valor de distorsión de agrietamiento en vez de la propuesta anteriormente:

$$\gamma_{agr} = v_{agr} / k_0$$

Ec.3-19

Para la distorsión a la cual se presenta la carga máxima, se optó por usar un ajuste estadístico de la rigidez del segundo tramo de la envolvente. Se ha propuesto provisionalmente tomar esta rigidez como $k_1 = 0.1k_0$. En la figura 3-8 se presentan los datos experimentales.

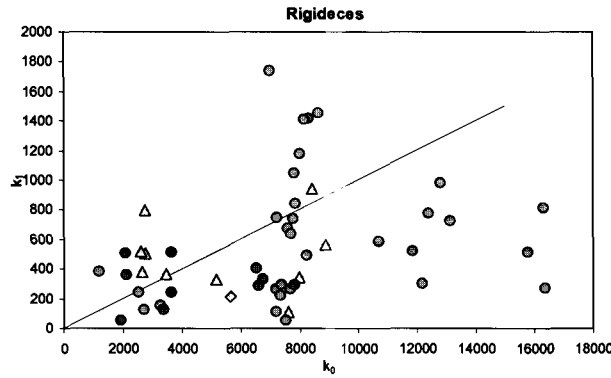


Figura 3-10: Correlación entre la rigidez del segundo tramo de la envolvente, k_1 , y la inicial, k_0 [2]

$$\gamma_{V_{\max}} = \frac{v_{\max} - v_{agr}}{0.1k_0} + \gamma_{agr}$$

Ec.3-20

Finalmente, para la distorsión última, se ha propuesto un mecanismo para el cual el muro pierde totalmente la capacidad de carga vertical. En este supuesto la resistencia en el tercer tramo de la envolvente depende de la acción de dovela del refuerzo longitudinal de los castillos, deformándose en doble curvatura. Dicho refuerzo deformado, debe soportar, además, la carga vertical, por lo que está sometido a un efecto P- Δ .

Con las anteriores hipótesis se ha llegado a la siguiente expresión:

$$\gamma_{final} = \frac{0.6A_s f_y}{3H a_p \sigma A}$$

Ec.3-21

Donde:

a_p es la proporción de la carga vertical que es tomada por el castillo. En forma aproximada:

$$a_p \approx \frac{n_c h_c}{L + 2(n_c - 1)h_c}$$

Ec.3-22

Se debe tomar en cuenta que, en la expresión 3-21, el valor de σ siempre debe ser mayor que cero, tomando cuando menos el peso propio del muro.

Con esta "distorsión final", se calcula la pendiente k_2 y con ella se interpola para obtener γ_u .

$$k_2 = \frac{v_{\max}}{\gamma_{final} - \gamma_{V_{\max}}}; \quad \gamma_u = \gamma_{V_{\max}} + \frac{0.2v_{\max}}{k_2}$$

Ec.3-23

l) *Modelo elastoplastico equivalente:*

La mayoría de las normas de diseño sísmico del mundo consideran en sus procedimientos de diseño una reducción por comportamiento inelástico. Tal reducción se incorpora al procedimiento de diseño a través del factor de reducción de resistencia R_μ , que representa la reducción de resistencia lateral debida al comportamiento no lineal hysterético. R_μ está definido como el cociente de la demanda de resistencia lateral elástica entre la demanda de resistencia lateral inelástica

$$R_\mu = \frac{F_y(\mu = 1)}{F_y(\mu = \mu_i)}$$

Ec.3-24

donde, $F_y(\mu=1)$ es la resistencia lateral de fluencia necesaria para mantener el sistema elástico en un determinado movimiento de terreno y $F_y(\mu=\mu_i)$ es la resistencia lateral requerida para mantener la demanda de ductilidad μ del sistema menor o igual que el límite de ductilidad preestablecido μ_i durante el mismo movimiento de terreno.

El factor R_μ , se ha estudiado ampliamente, por lo que existen una gran cantidad de procedimientos para estimarlo. En la gran mayoría de ellos se utiliza el modelo elastoplástico para tener en cuenta el comportamiento inelástico y aunque este modelo no es totalmente representativo de del comportamiento hysterético de los muros de carga de mampostería es el que usa en este trabajo. Para tal efecto las curvas de comportamiento hysterético de los ensayos en muros de carga de mampostería se transformaron, con el criterio de áreas iguales, en curvas representativas del modelo elastoplástico, un ejemplo se muestra en las siguientes graficas:

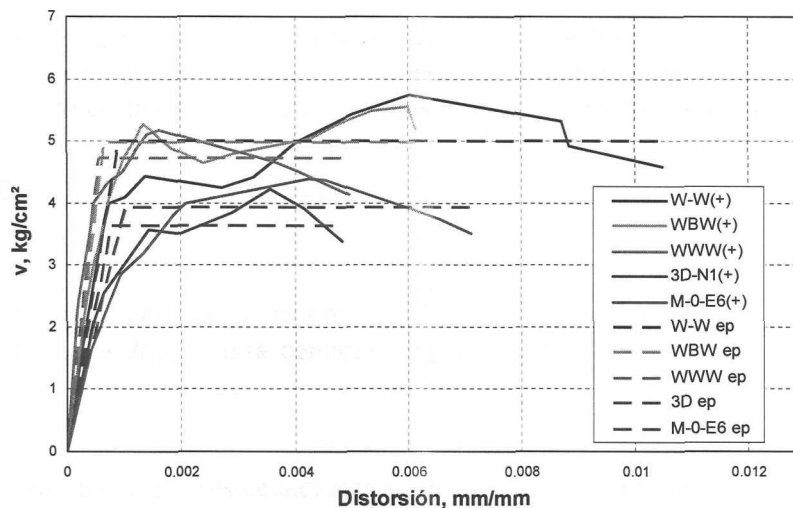


Figura 3-11: Curvas de comportamiento elastoplástico de los modelos de muros de mampostería confinada ensayados en el CENAPRED[2]

Como primera aproximación en el cálculo de las funciones de vulnerabilidad se ha planteado el uso del factor R_μ con el modelo de comportamiento elastoplástico, que ha sido ampliamente estudiado por varios autores.

Para terreno firme, Miranda y Báez (1998) propusieron la siguiente ecuación simplificada,

obtenida con el modelo elastoplástico para 264 registros en terreno firme (de sismos en California):

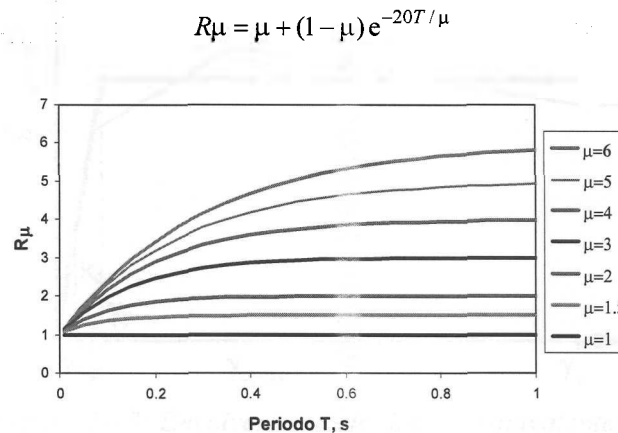


Figura 3-12: Factor R_{μ} para suelo firme (Miranda y Báez, 1998) [2]

Para terreno blando existen trabajos de varios autores pero, en general, toman en cuenta el periodo del terreno. Por ejemplo, Miranda y otros (1996) proponen las siguientes ecuaciones:

$$R_{\mu} = \frac{\mu - 1}{\Phi} + 1 \geq 1$$

$$\Phi = 1 + \frac{1}{1.8T/T_g} - 3.84 e^{-2.17(T/T_g - 0.95)} - e^{-2.17(T/T_g - 0.95)}$$

Ec.3-25

Se deberá tener en cuenta también las modificaciones que hay que tomar en cuenta para representar un sistema de varios grados de libertad a través del espectro calculado para un sistema de un grado de libertad. Miranda y otros (1999) han recomendado la ec. 3-26, con la advertencia de se basó en un número limitado de resultados y deberá usarse con reservas.

$$R_{VG} = [1 + 0.15T^2 \ln \mu]^{-1}$$

Ec.3-26

Cabe señalar que, para periodos inferiores a 0.5 s, como pueden esperarse en estructuras de mampostería, el factor R_{VG} resulta cercano a la unidad (por ejemplo, para $T=0.3$ s y $\mu=4$, resulta $R_{VG} = 0.98$).

Para poder utilizar las anteriores ecuaciones se debe considerar un modelo elastoplástico que sea equivalente a la envolvente trilineal que se ha propuesto para muros de mampostería. Para lo anterior se ha tomado el criterio de áreas equivalentes. Con base en el esquema de la figura 3-11, se puede calcular la envolvente elastoplástica equivalente de la siguiente forma:

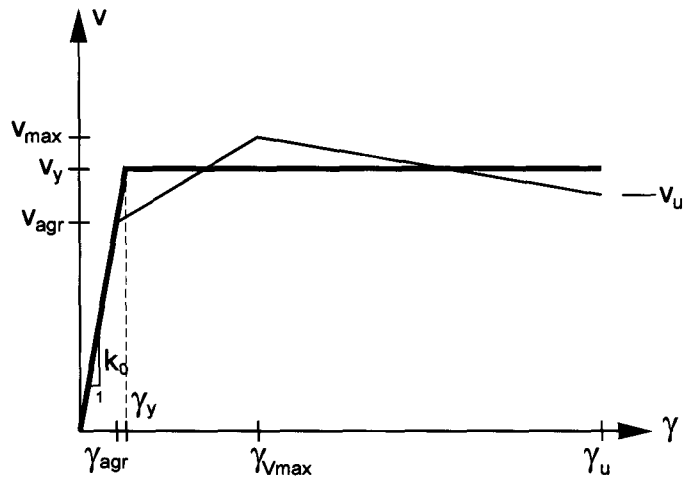


Figura 3-13: Envolvente elastoplástica equivalente[2]

Energía bajo la envolvente trilineal:

$$En = \frac{1}{2} [\gamma_{agr} v_{agr} + (v_{max} + v_{agr}) (\gamma_{Vmax} - \gamma_{agr}) + (v_{max} + v_u) (\gamma_u - \gamma_{Vmax})] \quad \text{Ec.3-27}$$

Esfuerzo y distorsión del elastoplástico:

$$v_y = k_0 \gamma_u - \sqrt{(k_0 \gamma_u)^2 - 2k_0 En}, \quad \gamma_y = v_y / k_0 \quad \text{Ec.3-28}$$

Finalmente, la ductilidad del muro se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\gamma_u}{\gamma_y} \quad \text{Ec.3-29}$$

m) *Periodo natural de vibración:*

Para poder realizar el análisis dinámico, tanto elástico como inelástico, es necesario contar con datos tales como la masa, m , la rigidez, k , y el periodo de vibración, T . Para un sistema de un grado de libertad el periodo se calcula como $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ y la frecuencia circular como $\omega = 2\pi/T$. Para sistemas de varios grados de libertad, se debe resolver el problema de valores característicos. Para n grados de libertad (n niveles en nuestro caso de análisis plano), las frecuencias se calculan tal que:

$$\det ([K] - \omega^2[M]) = 0$$

donde $[K]$ y $[M]$ son las matrices de rigidez lateral y masas, respectivamente.

Buscando una simplificación en el cálculo del periodo natural (para el primer modo), se llegó a la expresión siguiente, válida para un edificio “de cortante”, es decir, un modelo de masas y resortes, donde se tenga la misma rigidez, k , y masa, m , en todos los entresijos. Dicha expresión se verificó para $n=1$ a 5 con un error menor al 1%.

$$T = (0.63n + 0.37) 2\pi\sqrt{m/k}$$

Por lo tanto se decidió calcular el periodo natural de vibración para viviendas compuestas de material ligero con respecto a la ecuación anterior considerando que el peso $m=w$ por piso que se calculó anteriormente y que $k=k_0$ siendo la rigidez de entrepiso que se calculó en las secciones anteriores.

En el caso de los edificios de mampostería y de adobe, la simplificación que se puede tomar es

$$m = W_T/g = w A_p/g; \text{ y } k = \text{Rig} \approx G d_{AE} A_p/H.$$

Así: $m/k = w H / (g G d_{AE})$, y si consideramos $G = 0.4E$, llegamos a la expresión siguiente:

$$T = (0.2n + 0.12) \sqrt{\frac{w H}{E d_{AE}}}$$

Ec.3-31

El cálculo del periodo de vibración de la estructura permite determinar el coeficiente R_{VG} y R_μ los cuales permiten definir las pseudo-aceleraciones espectrales.

n) Pseudo-aceleraciones espectrales:

Las pseudo-aceleraciones espectrales permiten definir los parámetros de la función de vulnerabilidad como se comentó al principio de la construcción de la función de vulnerabilidad. A continuación se presentan las ecuaciones que se usaron para determinar las pseudo-aceleraciones espectrales para el análisis del riesgo.

Aceleración espectral de agrietamiento:

$$S_{agr} = \frac{V_{agr}}{W} g$$

Ec.3-32

en esta ecuación S_{agr} es la aceleración espectral que produce el primer agrietamiento; V_{agr} es la fuerza cortante que produce el primer agrietamiento; W es el peso total del edificio y g es la aceleración de la gravedad.

Aceleración espectral elástica de falla

$$S_{a_{max}} = \frac{V_u}{W} g R_\mu R_{VG}$$

Ec.3-33

Es la aceleración espectral que produce la falla del edificio. En la ecuación anterior, R_μ es el factor de reducción de fuerzas y R_{VG} un factor para tomar en cuenta, en sistemas de varios grados de libertad, los resultados de espectros calculados para un grado de libertad. Estos parámetros fueron definidos en una sección anterior.

o) Coeficientes vulnerabilidad:

Los coeficientes de vulnerabilidad, a y m , se expresan en función de las pseudo-aceleraciones las cuales fueron definidas anteriormente. Los coeficientes de vulnerabilidad que fueron definidos al inicio de la presente sección, dependen del tipo de arreglo estructural, material de construcción, y los detalles constructivos que determinan la capacidad a resistir a fuerzas laterales en términos de la aceleración espectral elástica $Sa(T)$. Para el presente análisis, los coeficientes de vulnerabilidad que se usaran son definidos por:

$$m = \frac{\ln[\ln(0.99)/\ln(0.05)]}{\ln(Sa_1 / Sa_2)} = m = \frac{-5.69734}{\ln(Sa_1 / Sa_2)} \quad \text{Ec.3-34}$$

$$a = -\frac{\ln(0.99)}{(Sa_1 / Sa_{\max})^m} = a = \frac{0.01005034}{(Sa_1 / Sa_{\max})^m} \quad \text{Ec.3-35}$$

Donde:

- Sa_1 es igual a $Sa_1 = \frac{v_{agr} d_{AE}}{n w}$ g es decir la aceleración que provoca la primer grieta
- Sa_2 es igual a $Sa_2 = 0.95 Sa_{\max}$ es decir el 95% de la aceleración máxima que causa la falla del edificio
- Sa_{\max} siendo la aceleración máxima que causa la falla del edificio definida anteriormente

p) Función de vulnerabilidad:

Al cabo de todo el proceso de cálculo, se obtiene al final la función de vulnerabilidad esperada para la vivienda. La cual se define por la siguiente expresión:

$$I(Sa) = 1 - e^{-a(Sa / Sa_{\max})^m} \quad \text{Ec.3-36}$$

Un ejemplo de aplicación de la metodología para una vivienda de mampostería reforzada se presenta a continuación para tener una idea de la forma de la función de vulnerabilidad:

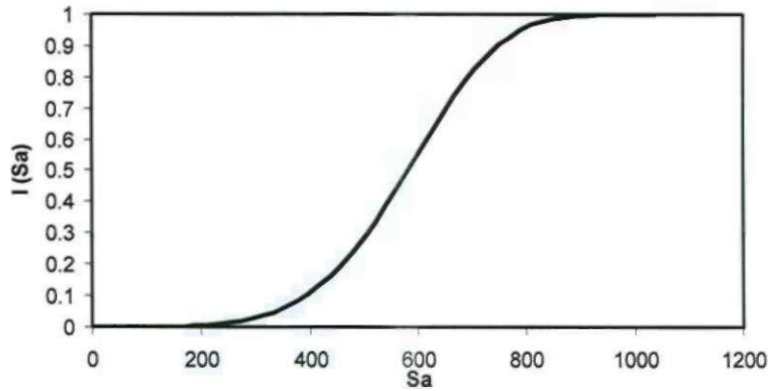
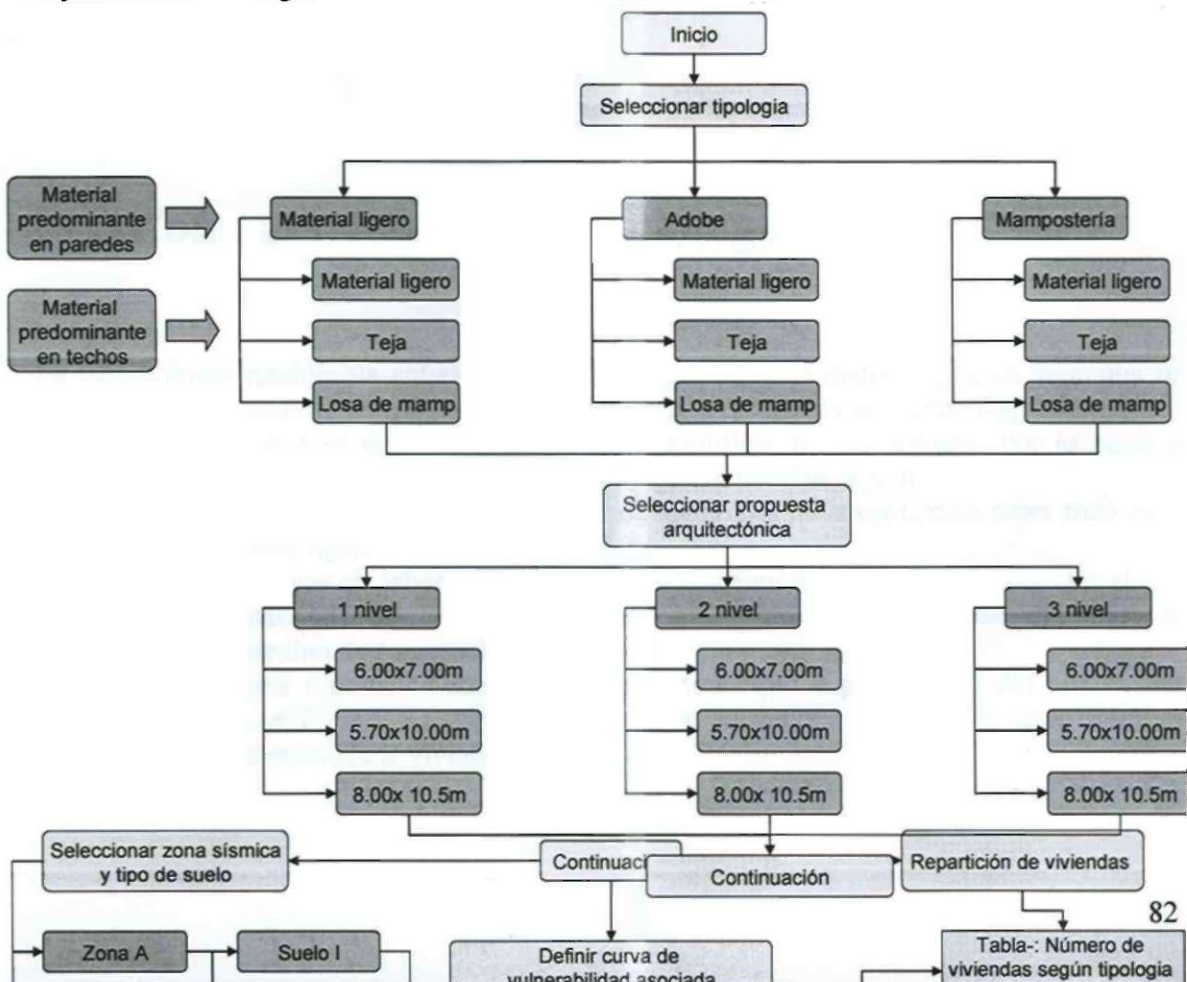


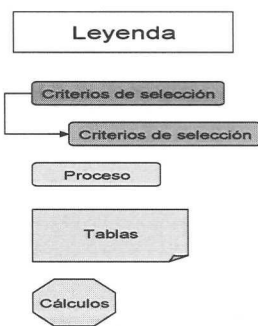
Figura 3-14: Ejemplo de aplicación de la metodología para una vivienda de mampostería reforzada

Como se ha mencionado anteriormente, los cálculos de la construcción de la función de vulnerabilidad se realizaron sobre el programa de cálculos matemáticos Matlab®. La programación se presenta en los anexos de la presente investigación.

III. Resumen de metodología

Para resumir la metodología que se ha propuesto anteriormente se presenta un diagrama que presenta los pasos importantes del análisis y sobre todo el camino que se utiliza para lograr a cuantificar el riesgo sísmico para las viviendas de México. A continuación, el diagrama de flujo de la metodología:





IV. Comentarios de la metodología:

La metodología establecida anteriormente es una propuesta de metodología, es decir que se podría proponer otras metodologías para a cabo llegar a resultados similares. Dependiendo del nivel de certitud que se requiere se debería de modificar la metodología. Por lo tanto a continuación se presentan algunas modificaciones que se podrían sugerir:

- tomar en cuenta las diferencias de tipo de materiales de construcción sobre todo para los materiales ligeros.
- realizar ensayos en laboratorios del comportamiento de una vivienda sujeta a sismo para los materiales ligeros para poder determinar formulas mas precisas del modo de falla de este tipo de construcción.
- Realizar una repartición mas precisa (por municipio o por estado) del número de viviendas según la zona sísmica en la cual se encuentran y el tipo de suelo sobre el cual esta construida la vivienda.

REFERENCIAS:

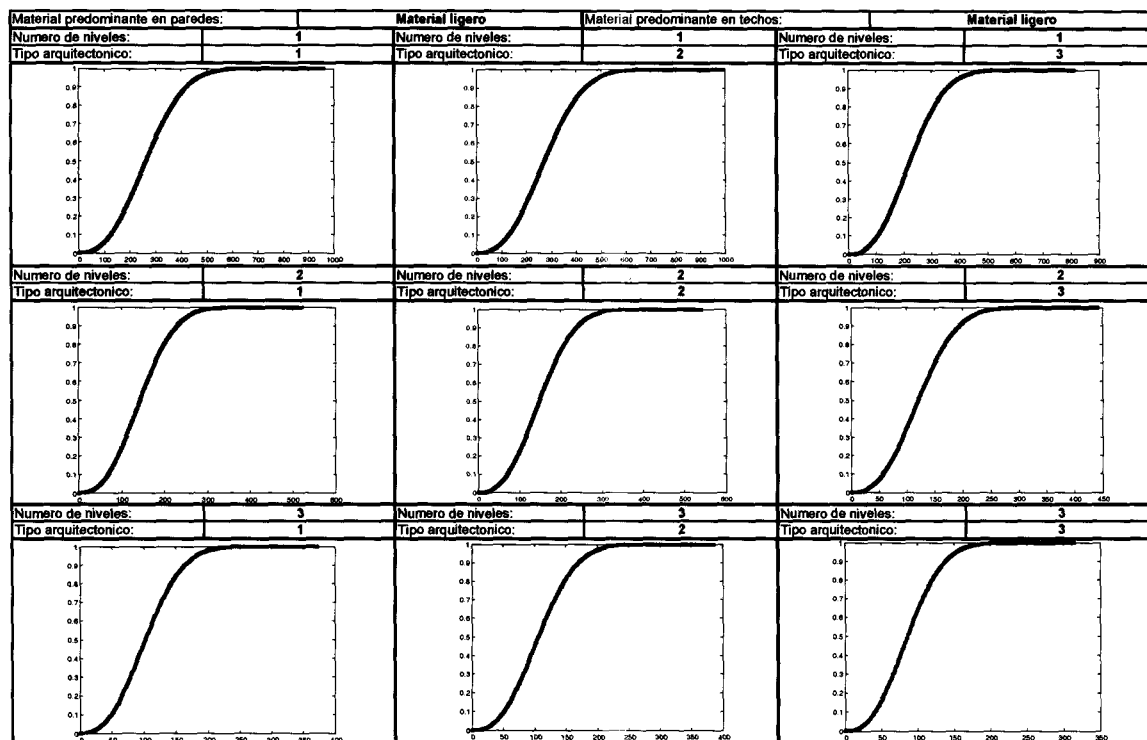
- [1]: “Tipología de vivienda de bajo costo o social de un nivel en México” Instituto Politécnico Nacional
- [2]: “Función de vulnerabilidad para vivienda construida con muros de carga de mampostería sujeta a la acción de sismo” Flores y Reyes (2004)

Capitulo IV- Análisis de riesgo sísmico

En el presente capítulo se aplicará la metodología expuesta en el capítulo anterior. Se seguirán los mismos procesos que se expusieron en el resumen de metodología del capítulo anterior. Por lo tanto el análisis se divide en las siguientes etapas: construir las curvas de vulnerabilidad para cada vivienda según su tipología y su propuesta arquitectónica, con respecto a las curvas de vulnerabilidad obtenidas y a los valores máximos de aceleración de los espectros de diseño del CFE según la zona sísmica y el tipo de suelo se necesita determinar el porcentaje de daño asociado y para terminar, con respecto a las tablas de reparación total de las viviendas según su tipología y su propuesta arquitectónica, determinar el costo de reparación para los diferentes casos expuestos en el análisis.

I. Curvas de vulnerabilidad:

El análisis incluye 9 tipologías de vivienda para las cuales se hicieron 9 propuestas arquitectónicas (viviendas de 1, 2 y 3 niveles con 3 dimensiones diferentes en planta). Por lo tanto, se tiene que generar 81 curvas de vulnerabilidad en total. Para presentarlas se dividieron por tipología de vivienda. A continuación se presentan las curvas de vulnerabilidad generadas por la metodología expuesta en el capítulo anterior.

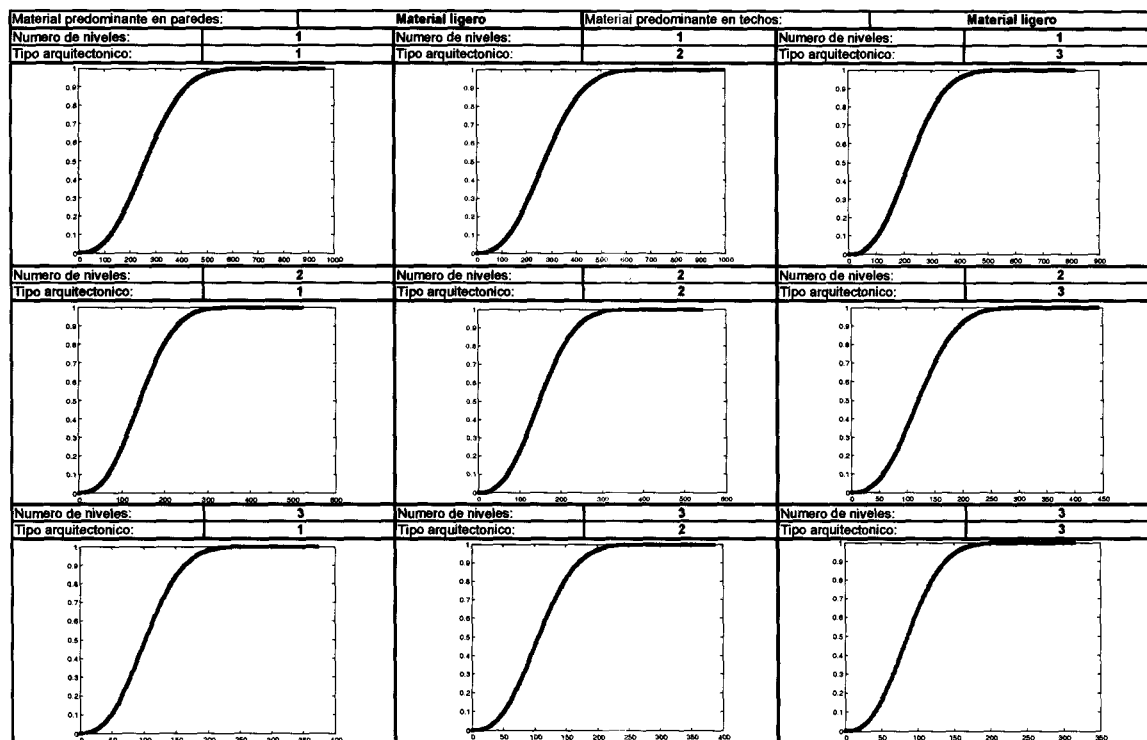


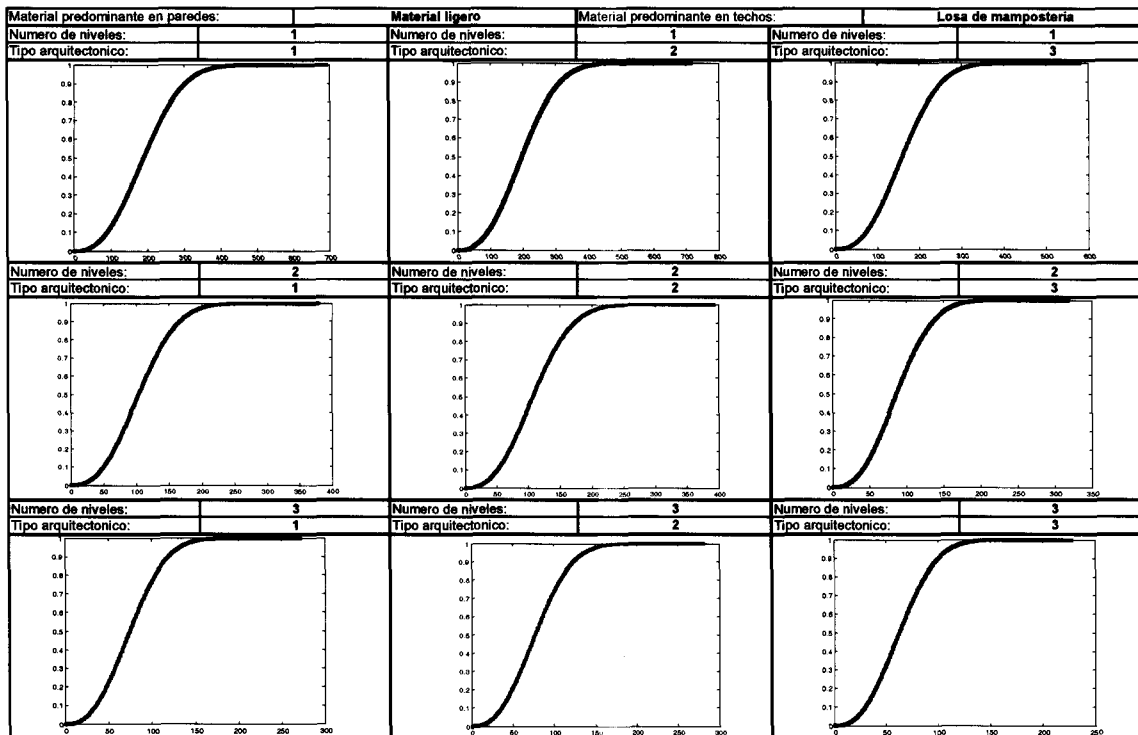
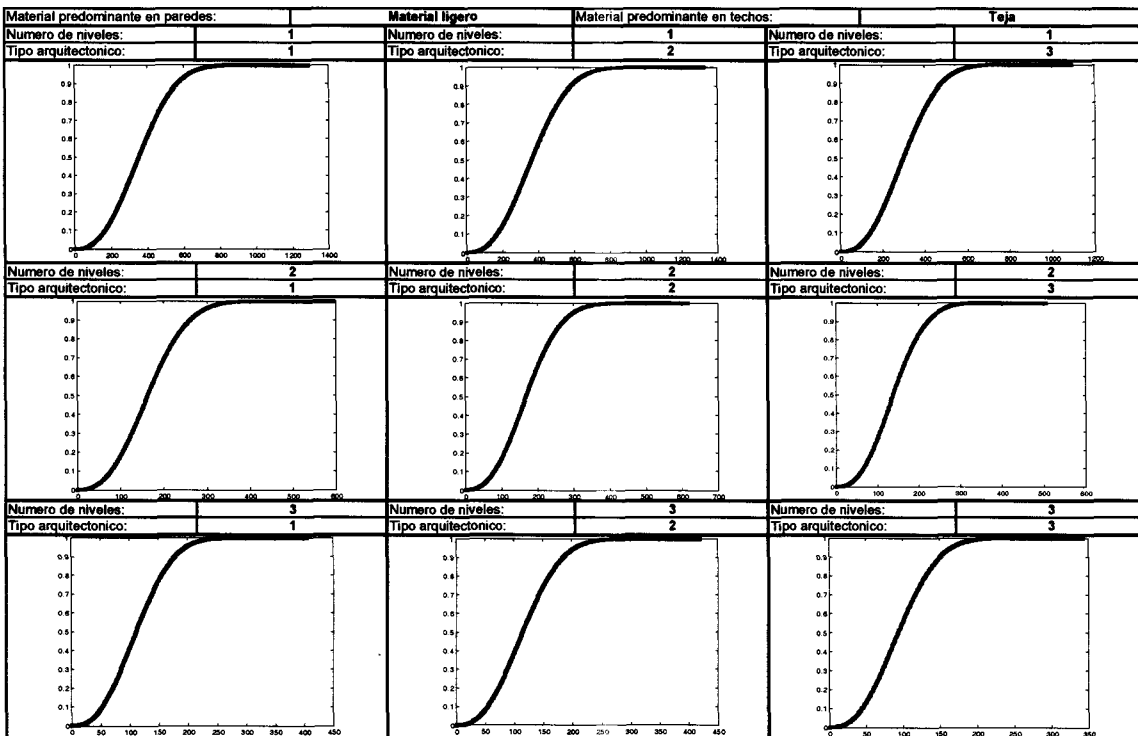
Capitulo IV- Análisis de riesgo sísmico

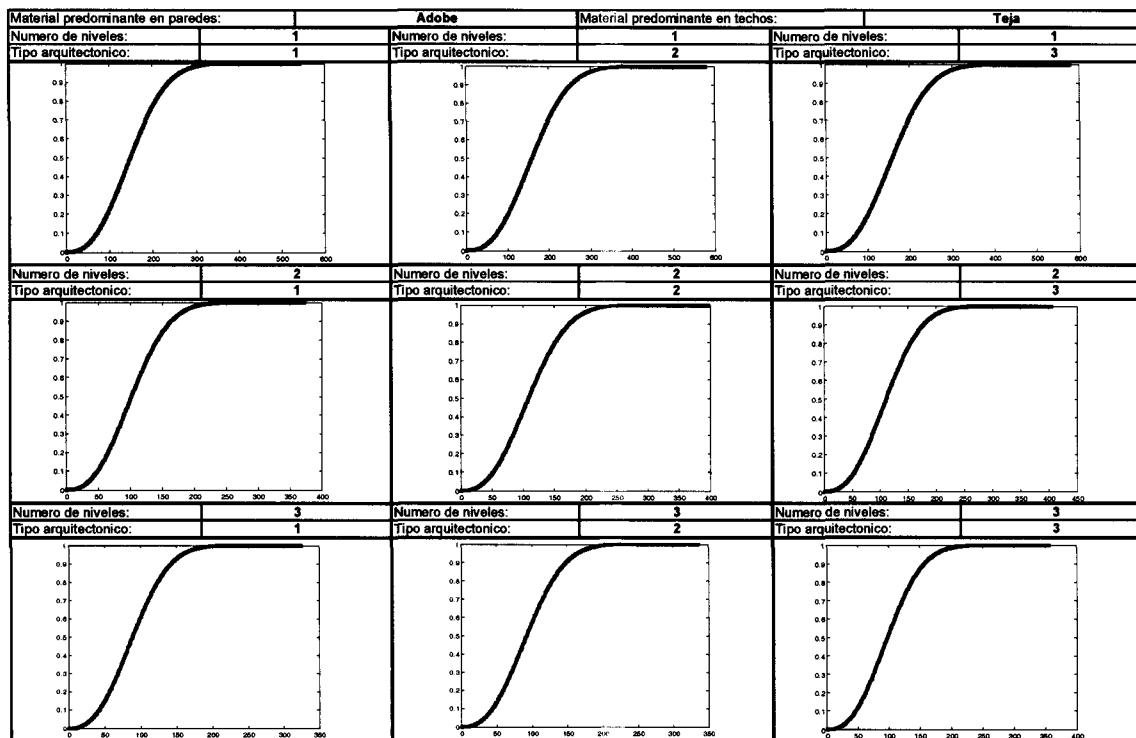
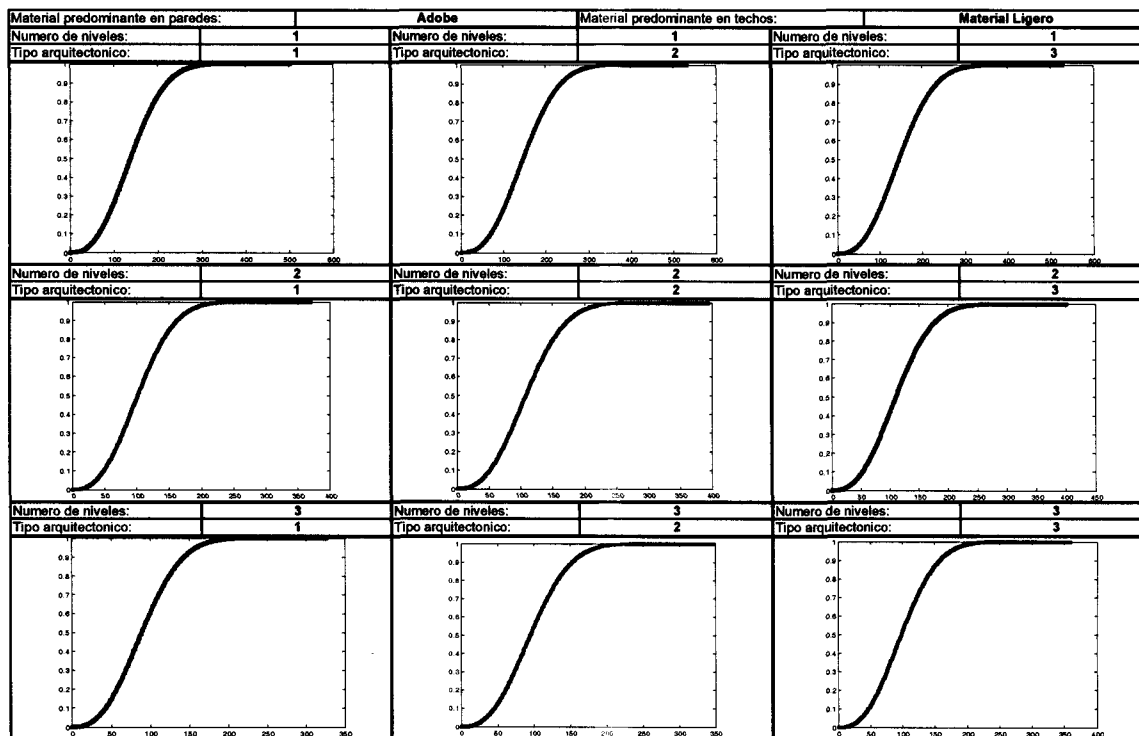
En el presente capítulo se aplicará la metodología expuesta en el capítulo anterior. Se seguirán los mismos procesos que se expusieron en el resumen de metodología del capítulo anterior. Por lo tanto el análisis se divide en las siguientes etapas: construir las curvas de vulnerabilidad para cada vivienda según su tipología y su propuesta arquitectónica, con respecto a las curvas de vulnerabilidad obtenidas y a los valores máximos de aceleración de los espectros de diseño del CFE según la zona sísmica y el tipo de suelo se necesita determinar el porcentaje de daño asociado y para terminar, con respecto a las tablas de reparación total de las viviendas según su tipología y su propuesta arquitectónica, determinar el costo de reparación para los diferentes casos expuestos en el análisis.

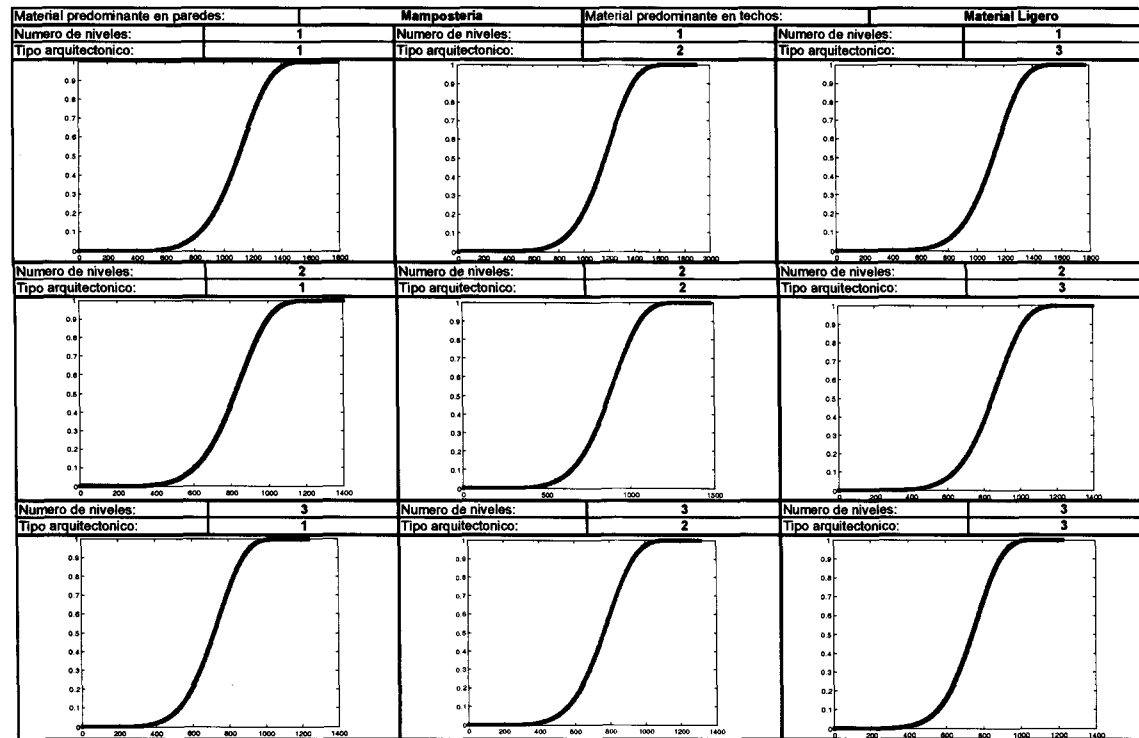
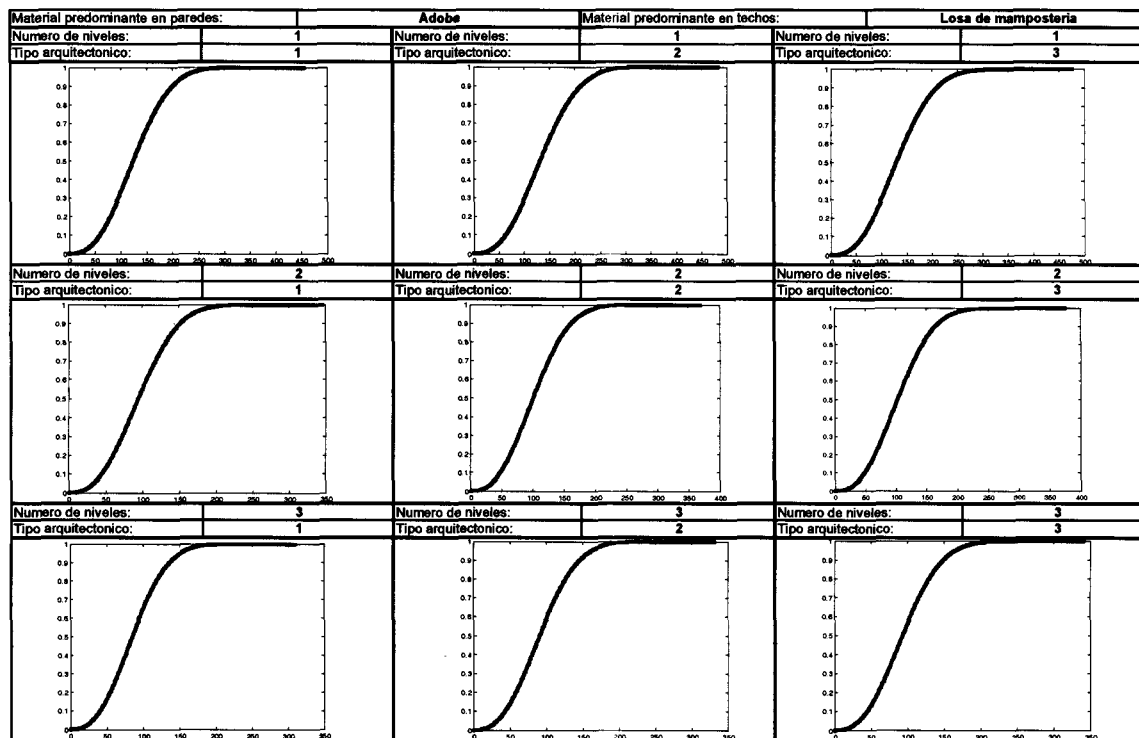
I. Curvas de vulnerabilidad:

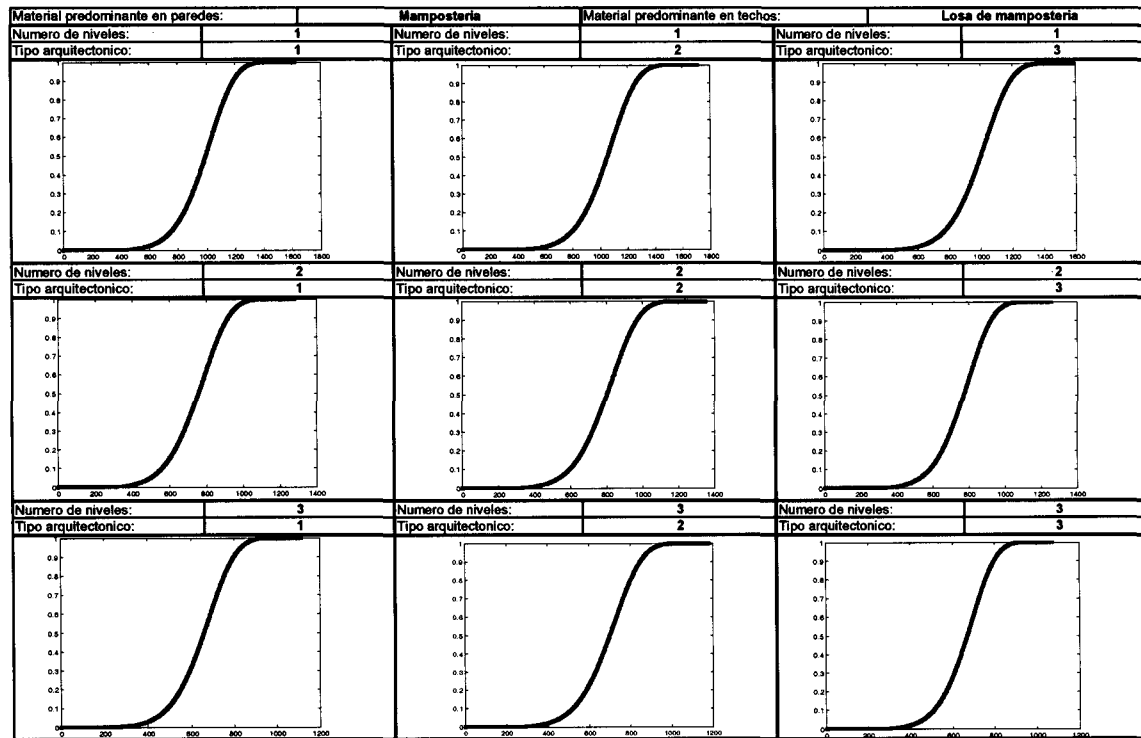
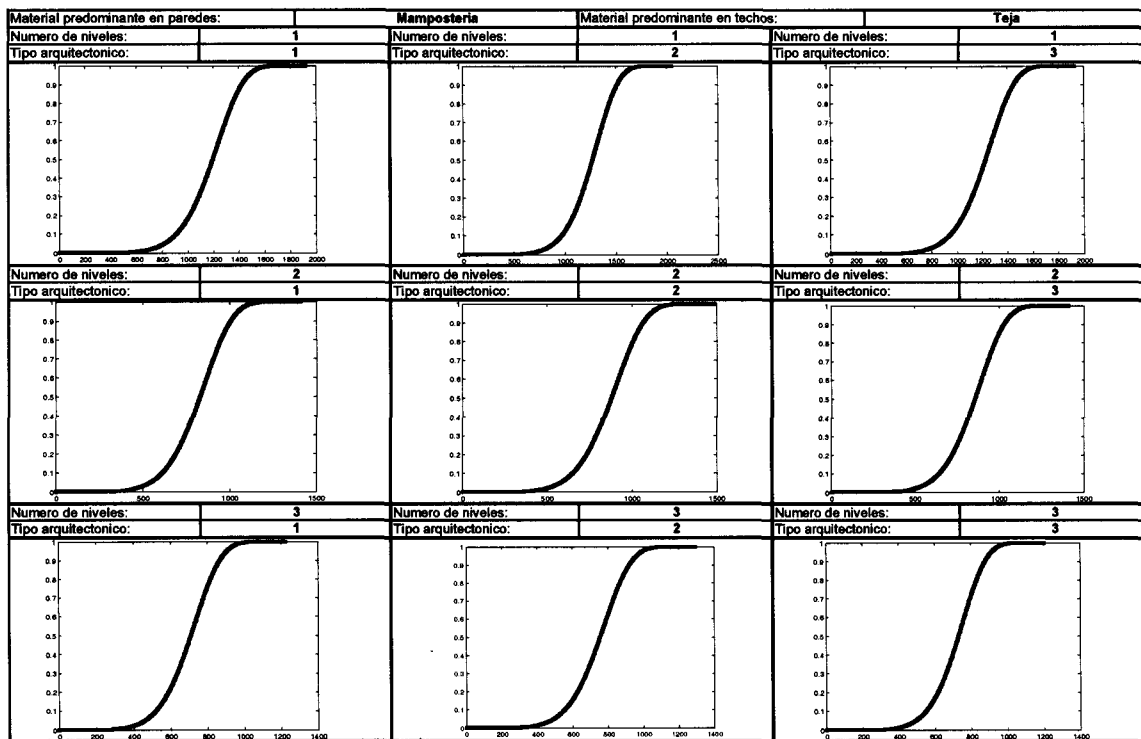
El análisis incluye 9 tipologías de vivienda para las cuales se hicieron 9 propuestas arquitectónicas (viviendas de 1, 2 y 3 niveles con 3 dimensiones diferentes en planta). Por lo tanto, se tiene que generar 81 curvas de vulnerabilidad en total. Para presentarlas se dividieron por tipología de vivienda. A continuación se presentan las curvas de vulnerabilidad generadas por la metodología expuesta en el capítulo anterior.











Teniendo las curvas de vulnerabilidad asociadas a cada caso del análisis se puede entonces determinar el valor de probabilidad de daño de la estructura sujeta a sismo según el valor de aceleración del suelo, la cual para nuestro caso se obtiene gracias a los espectros de diseño del CFE.

II. Probabilidad de daño asociado:

Con respecto a las curvas de vulnerabilidad anterior se determina la probabilidad de daño asociado a cada curva según las aceleraciones máximas de los espectros de aceleración definidos por el CFE en el capítulo anterior. Con un valor dado de aceleración se reporta a la curva de manera vertical y el valor obtenido sobre el eje vertical representa la probabilidad de daño de la estructura para tal aceleración.

Para determinar la probabilidad de daño se calculó el valor de vulnerabilidad para las aceleraciones dadas por los espectros usando el programa que se estableció para construir la curva de vulnerabilidad asociada. Por lo tanto se obtienen 972 valores diferentes de probabilidad de daño dado que se toma en cuenta 9 tipologías, 3 propuestas arquitectónicas, 3 niveles diferentes, 4 zonas sísmicas y 3 tipo de suelo: $9 \times 3 \times 3 \times 4 \times 3 = 972$ valores de probabilidad de daño. Los cuales se presentan a continuación:

1 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.032	0.015	0.072
Adobe	0.155	0.120	0.195
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.172	0.085	0.352
Adobe	0.624	0.549	0.715
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.282	0.145	0.533
Adobe	0.821	0.754	0.890
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.126	0.061	0.296
Adobe	0.502	0.434	0.592
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.604	0.354	0.861
Adobe	0.991	0.980	0.999
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.770	0.500	0.965
Adobe	0.999	0.988	0.999
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.770	0.500	0.966
Adobe	0.999	0.998	0.999
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.998	0.949	0.999
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.015	0.008	0.031

1 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.999	0.949	0.999
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.015	0.008	0.031

1 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.965	0.796	0.999
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.002	0.001	0.006

1 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.999	0.998	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.107	0.061	0.206

1 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.999	0.998	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.107	0.061	0.206

1 LVL
TIPO 2
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.029	0.014	0.056
Adobe	0.184	0.111	0.170
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 2
ZONA A
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.158	0.078	0.327
Adobe	0.567	0.494	0.660
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 2
ZONA A
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.261	0.134	0.502
Adobe	0.770	0.696	0.850
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 2
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.115	0.056	0.248
Adobe	0.449	0.384	0.536
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 2
ZONA B
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.571	0.332	0.857
Adobe	0.963	0.964	0.994
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 2
ZONA B
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.739	0.472	0.954
Adobe	0.998	0.995	0.999
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 2
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.739	0.472	0.954
Adobe	0.996	0.995	0.999
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 2
ZONA C
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.996	0.935	0.999
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.010	0.005	0.021

1 LVL
TIPO 2
ZONA C
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.996	0.935	0.999
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.010	0.005	0.021

1 LVL
TIPO 2
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.954	0.770	0.999
Adobe	1.000	0.999	1.000
Mampostería	0.001	0.000	0.004

1 LVL
TIPO 2
ZONA D
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.999	0.996	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.072	0.040	0.145

1 LVL
TIPO 2
ZONA D
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.999	0.996	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.072	0.040	0.145

1 LVL
TIPO 3
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.048	0.023	0.110
Adobe	0.137	0.111	0.175
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 3
ZONA A
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.251	0.126	0.490
Adobe	0.574	0.494	0.671
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 3
ZONA A
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.398	0.211	0.695
Adobe	0.777	0.666	0.858
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 3
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.186	0.092	0.382
Adobe	0.456	0.385	0.547
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 3
ZONA B
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.757	0.485	0.953
Adobe	0.994	0.964	0.995
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 3
ZONA B
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.894	0.651	0.994
Adobe	0.998	0.995	0.999
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 3
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.894	0.651	0.994
Adobe	0.998	0.995	0.999
Mampostería	0.000	0.000	0.000

1 LVL
TIPO 3
ZONA C
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.999	0.989	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.011	0.005	0.025

1 LVL
TIPO 3
ZONA C
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.999	0.989	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.011	0.005	0.025

1 LVL
TIPO 3
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.994	0.911	0.899
Adobe	1.000	0.999	1.000
Mampostería	0.001	0.000	0.004

1 LVL
TIPO 3
ZONA D
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1.000	0.999	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.089	0.045	0.189

1 LVL
TIPO 3
ZONA D
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1.000	0.999	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.089	0.045	0.189

2 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.141	0.103	0.290
Adobe	0.306	0.301	0.351
Mampostería	0.000	0.000	0.000

2 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.585	0.468	0.862
Adobe	0.879	0.874	0.917
Mampostería	0.000	0.000	0.000

2 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.787	0.671	0.969
Adobe	0.975	0.973	0.987
Mampostería	0.000	0.000	0.000

2 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.466	0.363	0.757
Adobe	0.775	0.771	0.831
Mampostería	0.000	0.000	0.000

2 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.986	0.956	0.999
Adobe	0.999	0.999	0.999
Mampostería	0.001	0.001	0.002

2 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.998	0.992	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.003	0.003	0.005

2 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	0.998	0.992	1.000
Adobe	0.999	1.000	1.000
Mampostería	0.003	0.003	0.005

2 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1.000	1.000	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.122	0.118	0.195

2 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1.000	1.000	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.122	0.118	0.195

2 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1.000	0.999	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.028	0.027	0.045

2 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1.000	1.000	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.554	0.541	0.746

2 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1.000	1.000	1.000
Adobe	1.000	1.000	1.000
Mampostería	0.554	0.541	0.746

3 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO II	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO III	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	0.422	0.357	0.712		Material ligero	0.958	0.922	0.999		Material ligero	0.996	0.988	0.999
	Adobe	0.326	0.320	0.361		Adobe	0.896	0.900	0.924		Adobe	0.981	0.982	0.989
Mamposteria	0.000	0.000	0.000	Mamposteria	0.000	0.000	0.000	Mamposteria	0.000	0.000	0.000			
3 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO II	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO III	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	0.896	0.838	0.594		Material ligero	1.000	0.999	1.000		Material ligero	1.000	1.000	1.000
	Adobe	0.803	0.999	0.842		Adobe	0.999	0.999	0.999		Adobe	1.000	1.000	1.000
Mamposteria	0.000	0.000	0.000	Mamposteria	0.000	0.001	0.002	Mamposteria	0.001	0.005	0.007			
3 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO II	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO III	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	1.000	1.000	1.000		Material ligero	1.000	1.000	1.000		Material ligero	1.000	1.000	1.000
	Adobe	1.000	1.000	1.000		Adobe	1.000	1.000	1.000		Adobe	1.000	1.000	1.000
Mamposteria	0.005	0.005	0.007	Mamposteria	0.207	0.222	0.355	Mamposteria	0.207	0.222	0.355			
3 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO II	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO III	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	1.000	1.000	1.000		Material ligero	1.000	1.000	1.000		Material ligero	1.000	1.000	1.000
	Adobe	1.000	1.000	1.000		Adobe	1.000	1.000	1.000		Adobe	1.000	1.000	1.000
Mamposteria	0.045	0.048	0.075	Mamposteria	0.798	0.828	0.968	Mamposteria	0.798	0.828	0.968			

Nota: Se reportaron solo 3 dígitos al punto decimal para obtener buena aproximación de los valores.

III. Numero de viviendas:

El número de viviendas permite determinar el número de viviendas afectadas por la probabilidad de daño expuesta anteriormente. Como el daño se repartió según los criterios de tipología de la vivienda, propuesta arquitectónica, número de niveles, zona sísmica y tipo de suelo, se requiere proporcionar el número de viviendas según los mismos criterios.

Las tablas se calcularon con respecto a las tablas de los criterios enunciados anteriormente, es decir:

- Tablas 3-10/11/12/14: Numero de viviendas según zona sísmica
- Repartición de viviendas según tipo de suelo: 30% sobre suelo de tipo I, 30% sobre suelo de tipo II y 30% sobre suelo de tipo III
- Tabla 3-15: Porcentaje de viviendas según numero de niveles y propuesta arquitectónica.

Al final se realizaron los siguientes cálculos:

$$\begin{array}{l} \text{(Numero de viviendas según zona sísmica)} \\ X \quad \text{(30\% tipo de suelo)} \\ X \quad \text{(porcentaje de viviendas según número de niveles y propuesta arquitectónica)} \\ \hline = \quad \text{Numero de viviendas según tipo arquitectónico, numero de niveles, tipo de suelo y zona sísmica} \end{array}$$

Por lo tanto a continuación se presentan las tablas de número de viviendas según los criterios de cálculos:

Nota: la distribución de viviendas según el tipo de suelo es de 33.3% para cada caso por lo tanto solo se necesita calcular las tablas para un tipo de suelo. Se eligió el tipo I de suelo como referencia.

1 LVL TIPO 1 ZONA A SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	12279	123	162	
	Adobe	5286	304	4931	
	Mamposteria	5286	299	73413	
1 LVL TIPO 1 ZONA B SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	33091	1801	461	
	Adobe	15869	9679	8382	
	Mamposteria	68642	8147	277265	
1 LVL TIPO 1 ZONA C SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	12267	735	122	
	Adobe	8354	3268	1393	
	Mamposteria	14846	2088	30840	
1 LVL TIPO 1 ZONA D SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	11136	914	111	
	Adobe	5207	9738	1548	
	Mamposteria	10757	3284	38034	
1 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	28519	285	376	
	Adobe	12276	705	11451	
	Mamposteria	12276	695	170503	
1 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	76854	4183	1072	
	Adobe	36391	20138	19467	
	Mamposteria	159422	18922	643953	
1 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	28489	1708	282	
	Adobe	14757	7589	3236	
	Mamposteria	34479	4850	71626	
1 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	25863	2122	258	
	Adobe	12186	15846	3596	
	Mamposteria	24984	7626	88334	
2 LVL TIPO 2 ZONA A SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	18705	187	246	
	Adobe	8051	463	7511	
	Mamposteria	8051	456	111829	
2 LVL TIPO 2 ZONA B SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	50407	2743	703	
	Adobe	23868	13221	12768	
	Mamposteria	104561	12411	422354	
2 LVL TIPO 2 ZONA C SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	18686	1120	185	
	Adobe	9979	4978	2122	
	Mamposteria	22614	3181	46978	
2 LVL TIPO 2 ZONA D SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	16963	1392	169	
	Adobe	7092	10292	2359	
	Mamposteria	16386	5002	57936	
1 LVL TIPO 2 ZONA A SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	23998	240	316	
	Adobe	10330	594	9638	
	Mamposteria	10330	585	143474	
1 LVL TIPO 2 ZONA B SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	64671	3520	902	
	Adobe	30622	16962	16381	
	Mamposteria	134150	15922	541872	
1 LVL TIPO 2 ZONA C SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	23973	1437	238	
	Adobe	12418	6386	2723	
	Mamposteria	28013	4081	60272	
1 LVL TIPO 2 ZONA D SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	21763	1785	217	
	Adobe	10254	13165	3026	
	Mamposteria	21023	6418	74331	
2 LVL TIPO 1 ZONA A SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	28256	283	372	
	Adobe	12183	689	11346	
	Mamposteria	12183	689	168933	
2 LVL TIPO 1 ZONA B SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	76147	4144	1062	
	Adobe	39359	19972	19288	
	Mamposteria	157954	18748	638022	
2 LVL TIPO 1 ZONA C SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	28227	1692	280	
	Adobe	14522	7519	3206	
	Mamposteria	34162	4806	70966	
2 LVL TIPO 1 ZONA D SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	25624	2102	256	
	Adobe	12073	15502	3583	
	Mamposteria	24754	7556	87520	
2 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	8670	87	114	
	Adobe	3732	214	3481	
	Mamposteria	3732	211	51832	
2 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	23363	1272	326	
	Adobe	11083	6128	5918	
	Mamposteria	48464	5752	195759	
2 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	8661	519	86	
	Adobe	4498	2307	984	
	Mamposteria	10482	1474	21774	
2 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO I	Material predominante en paredes		Material predominante en techos		
			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	7862	645	78	
	Adobe	3704	4756	1093	
	Mamposteria	7595	2318	26853	

3 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	3826	38	50
Adobe	1647	95	1536
Mamposteria	1647	93	22873

3 LVL
TIPO 2
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1999	20	26
Adobe	890	49	803
Mamposteria	890	49	11952

3 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	10310	561	144
Adobe	4882	2704	2612
Mamposteria	21386	2538	86385

3 LVL
TIPO 2
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	5387	293	75
Adobe	2551	1413	1365
Mamposteria	11175	1326	45139

3 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	3822	229	38
Adobe	1990	1018	434
Mamposteria	4625	651	9608

3 LVL
TIPO 2
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1997	120	20
Adobe	1034	532	227
Mamposteria	2417	340	5021

3 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	3469	285	35
Adobe	1635	2099	482
Mamposteria	3352	1023	11850

3 LVL
TIPO 2
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1813	149	18
Adobe	854	1097	252
Mamposteria	1751	535	6192

3 LVL
TIPO 3
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1863	19	25
Adobe	802	46	748
Mamposteria	802	45	11135

3 LVL
TIPO 3
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	5019	273	70
Adobe	2377	1316	1271
Mamposteria	10412	1236	42056

3 LVL
TIPO 3
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1861	112	18
Adobe	964	466	211
Mamposteria	2252	317	4678

3 LVL
TIPO 3
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1689	139	17
Adobe	796	1022	235
Mamposteria	1632	498	5769

IV. Costo de reparación:

El costo de reparación se define por la multiplicación de la probabilidad de daño, el número de viviendas y el costo de reparación total como se definió en el capítulo anterior. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Nota: El costo de reparación se presenta sobre la misma forma que las tablas anteriores es decir según el tipo arquitectónica, el número de niveles, zona sísmica y el tipo de suelo. Los resultados presentados se presentan en Millones de Pesos MXN.

3 LVL TIPO 1 ZONA A SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 2 ZONA A SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	3826	38	50		Material ligero	1999	20	26
	Adobe	1647	95	1536		Adobe	660	49	803
	Mamposteria	1647	93	22873		Mamposteria	660	49	11952

3 LVL TIPO 1 ZONA B SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 2 ZONA B SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	10310	561	144		Material ligero	5387	293	75
	Adobe	4882	2704	2612		Adobe	2551	1413	1365
	Mamposteria	21386	2538	86385		Mamposteria	11175	1326	45139

3 LVL TIPO 1 ZONA C SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 2 ZONA C SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	3822	229	38		Material ligero	1997	120	20
	Adobe	1980	1018	434		Adobe	1034	532	227
	Mamposteria	4625	651	9608		Mamposteria	2417	340	5021

3 LVL TIPO 1 ZONA D SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			3 LVL TIPO 2 ZONA D SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto			Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	3469	285	35		Material ligero	1813	149	18
	Adobe	1635	2099	482		Adobe	854	1097	252
	Mamposteria	3352	1023	11850		Mamposteria	1751	535	6192

3 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	1863	19	25
	Adobe	802	46	749
	Mamposteria	802	45	11135

3 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	5019	273	70
	Adobe	2377	1316	1271
	Mamposteria	10412	1236	42056

3 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	1861	112	18
	Adobe	964	496	211
	Mamposteria	2252	317	4678

3 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO I	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	1689	139	17
	Adobe	796	1022	235
	Mamposteria	1632	498	5769

IV. Costo de reparación:

El costo de reparación se define por la multiplicación de la probabilidad de daño, el número de viviendas y el costo de reparación total como se definió en el capítulo anterior. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Nota: El costo de reparación se presenta sobre la misma forma que las tablas anteriores es decir según el tipo arquitectónica, el número de niveles, zona sísmica y el tipo de suelo. Los resultados presentados se presentan en Millones de Pesos MXN.

1 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	7.86	0.04	0.33
Adobe	39.22	1.41	38.46
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	42.24	0.25	1.59
Adobe	105.54	6.00	141.01
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	69.26	0.43	2.41
Adobe	138.66	8.24	175.53
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	83.39	2.64	3.44
Adobe	251.70	135.60	198.49
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	399.74	15.30	11.38
Adobe	498.89	306.20	334.94
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	509.60	21.61	12.47
Adobe	500.90	311.83	334.94
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	188.91	6.62	3.29
Adobe	203.33	117.40	55.68
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	244.84	16.74	3.40
Adobe	203.33	117.64	55.73
Mamposteria	13.36	1.07	65.01

1 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	245.09	16.74	3.40
Adobe	203.33	117.64	55.73
Mamposteria	13.36	1.07	65.01

1 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	214.92	17.45	3.11
Adobe	167.90	242.51	61.94
Mamposteria	1.29	0.21	15.52

1 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	222.49	21.86	3.11
Adobe	167.90	242.51	61.94
Mamposteria	69.06	12.82	532.78

1 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	222.49	21.86	3.11
Adobe	167.90	242.51	61.94
Mamposteria	69.06	12.82	532.78

1 LVL
TIPO 2
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	17.40	0.10	0.73
Adobe	53.37	2.97	81.91
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 2
ZONA A
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	94.79	0.56	3.62
Adobe	234.28	13.20	317.99
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 2
ZONA A
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	156.59	0.96	5.55
Adobe	318.16	18.65	409.53
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 2
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	185.93	5.91	7.76
Adobe	549.95	293.11	439.02
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 2
ZONA B
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	923.18	35.06	27.05
Adobe	1394.05	735.82	814.15
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 2
ZONA B
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	1194.60	49.84	30.11
Adobe	1222.45	756.48	818.25
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 2
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	442.90	20.35	7.93
Adobe	495.73	285.94	136.01
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

1 LVL
TIPO 2
ZONA C
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	596.93	40.30	8.31
Adobe	496.72	287.36	136.15
Mamposteria	21.76	1.63	107.58

1 LVL
TIPO 2
ZONA C
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	596.93	40.30	8.31
Adobe	496.72	287.36	136.15
Mamposteria	21.76	1.63	107.58

1 LVL
TIPO 2
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	519.04	41.24	7.60
Adobe	410.16	591.85	151.31
Mamposteria	1.56	0.00	25.27

1 LVL
TIPO 2
ZONA D
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	543.53	53.35	7.60
Adobe	410.16	592.45	151.31
Mamposteria	113.53	20.54	916.13

1 LVL
TIPO 2
ZONA D
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	543.53	53.35	7.60
Adobe	410.16	592.45	151.31
Mamposteria	113.53	20.54	916.13

1 LVL TIPO 1 ZONA A SUELO I	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 1 ZONA A SUELO II	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 1 ZONA A SUELO III	Material predominante en techos			
	Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	7.86	0.04	0.33		Material ligero	42.24	0.25	1.59		Material ligero	69.26	0.43	2.41
	Adobe	26.22	1.41	38.46		Adobe	103.57	6.00	141.01		Adobe	138.66	8.24	175.53
	Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00
1 LVL TIPO 1 ZONA B SUELO I	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 1 ZONA B SUELO II	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 1 ZONA B SUELO III	Material predominante en techos			
	Material ligero	83.39	2.64	3.44		Material ligero	399.74	15.30	11.35		Material ligero	509.60	21.61	12.47
	Adobe	261.70	135.60	198.49		Adobe	458.89	306.20	334.94		Adobe	500.90	311.83	334.94
	Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00
1 LVL TIPO 1 ZONA C SUELO I	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 1 ZONA C SUELO II	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 1 ZONA C SUELO III	Material predominante en techos			
	Material ligero	188.91	8.82	3.29		Material ligero	244.84	16.74	3.40		Material ligero	245.09	16.74	3.40
	Adobe	203.13	117.40	55.68		Adobe	233.33	117.54	55.73		Adobe	253.33	117.54	55.73
	Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	13.36	1.07	65.01		Mamposteria	13.36	1.07	65.01
1 LVL TIPO 1 ZONA D SUELO I	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 1 ZONA D SUELO II	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 1 ZONA D SUELO III	Material predominante en techos			
	Material ligero	214.92	17.45	3.11		Material ligero	222.49	21.88	3.11		Material ligero	222.49	21.88	3.11
	Adobe	167.90	242.51	61.94		Adobe	167.90	242.51	61.94		Adobe	167.90	242.51	61.94
	Mamposteria	1.29	0.21	15.52		Mamposteria	89.06	12.82	532.78		Mamposteria	69.06	12.82	532.78
1 LVL TIPO 2 ZONA A SUELO I	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 2 ZONA A SUELO II	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 2 ZONA A SUELO III	Material predominante en techos			
	Material ligero	17.40	0.10	0.73		Material ligero	94.79	0.56	3.62		Material ligero	156.59	0.96	5.65
	Adobe	55.37	2.97	81.91		Adobe	234.28	13.20	317.99		Adobe	315.38	18.65	409.53
	Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00
1 LVL TIPO 2 ZONA B SUELO I	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 2 ZONA B SUELO II	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 2 ZONA B SUELO III	Material predominante en techos			
	Material ligero	185.93	5.91	7.78		Material ligero	923.18	35.06	27.05		Material ligero	1194.80	49.84	30.11
	Adobe	549.58	283.11	439.02		Adobe	1204.08	735.82	814.15		Adobe	1222.45	759.48	818.25
	Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00
1 LVL TIPO 2 ZONA C SUELO I	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 2 ZONA C SUELO II	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 2 ZONA C SUELO III	Material predominante en techos			
	Material ligero	442.90	20.35	7.93		Material ligero	596.93	40.30	8.31		Material ligero	596.93	40.30	8.31
	Adobe	495.73	285.94	136.01		Adobe	499.72	287.38	136.15		Adobe	495.72	287.38	136.15
	Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	21.76	1.63	107.58		Mamposteria	21.76	1.63	107.58
1 LVL TIPO 2 ZONA D SUELO I	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 2 ZONA D SUELO II	Material predominante en techos				1 LVL TIPO 2 ZONA D SUELO III	Material predominante en techos			
	Material ligero	519.04	41.24	7.60		Material ligero	543.53	53.35	7.60		Material ligero	543.53	53.35	7.60
	Adobe	410.10	691.86	151.31		Adobe	410.10	692.45	151.31		Adobe	410.10	692.45	151.31
	Mamposteria	1.58	0.00	25.27		Mamposteria	113.53	20.54	916.13		Mamposteria	113.53	20.54	916.13

1 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO I	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>47.91</td> <td>0.28</td> <td>2.02</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>94.10</td> <td>4.01</td> <td>140.28</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	47.91	0.28	2.02	Adobe	94.10	4.01	140.28	Mampostería	0.00	0.00	0.00	1 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO II	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>250.54</td> <td>1.51</td> <td>9.02</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>394.90</td> <td>21.95</td> <td>537.87</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	250.54	1.51	9.02	Adobe	394.90	21.95	537.87	Mampostería	0.00	0.00	0.00	1 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO III	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>397.27</td> <td>2.53</td> <td>12.79</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>534.15</td> <td>31.02</td> <td>687.77</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	397.27	2.53	12.79	Adobe	534.15	31.02	687.77	Mampostería	0.00	0.00	0.00
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	47.91	0.28	2.02																																																											
Adobe	94.10	4.01	140.28																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	250.54	1.51	9.02																																																											
Adobe	394.90	21.95	537.87																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	397.27	2.53	12.79																																																											
Adobe	534.15	31.02	687.77																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
1 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO I	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>500.32</td> <td>16.16</td> <td>20.06</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>622.23</td> <td>488.02</td> <td>745.40</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	500.32	16.16	20.06	Adobe	622.23	488.02	745.40	Mampostería	0.00	0.00	0.00	1 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO II	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>2036.26</td> <td>85.21</td> <td>50.57</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>2005.31</td> <td>1224.21</td> <td>1355.90</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	2036.26	85.21	50.57	Adobe	2005.31	1224.21	1355.90	Mampostería	0.00	0.00	0.00	1 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO III	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>2404.78</td> <td>114.37</td> <td>52.19</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>2033.94</td> <td>1283.58</td> <td>1361.35</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	2404.78	114.37	52.19	Adobe	2033.94	1283.58	1361.35	Mampostería	0.00	0.00	0.00
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	500.32	16.16	20.06																																																											
Adobe	622.23	488.02	745.40																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	2036.26	85.21	50.57																																																											
Adobe	2005.31	1224.21	1355.90																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	2404.78	114.37	52.19																																																											
Adobe	2033.94	1283.58	1361.35																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
1 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO I	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>891.43</td> <td>46.69</td> <td>13.75</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>624.76</td> <td>475.73</td> <td>226.29</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	891.43	46.69	13.75	Adobe	624.76	475.73	226.29	Mampostería	0.00	0.00	0.00	1 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO II	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>996.13</td> <td>70.93</td> <td>13.84</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>625.42</td> <td>478.12</td> <td>226.51</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>39.82</td> <td>2.72</td> <td>213.09</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	996.13	70.93	13.84	Adobe	625.42	478.12	226.51	Mampostería	39.82	2.72	213.09	1 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO III	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>996.13</td> <td>70.93</td> <td>13.84</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>625.42</td> <td>478.12</td> <td>226.51</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>39.82</td> <td>2.72</td> <td>213.09</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	996.13	70.93	13.84	Adobe	625.42	478.12	226.51	Mampostería	39.82	2.72	213.09
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	891.43	46.69	13.75																																																											
Adobe	624.76	475.73	226.29																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	996.13	70.93	13.84																																																											
Adobe	625.42	478.12	226.51																																																											
Mampostería	39.82	2.72	213.09																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	996.13	70.93	13.84																																																											
Adobe	625.42	478.12	226.51																																																											
Mampostería	39.82	2.72	213.09																																																											
1 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO I	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>899.76</td> <td>81.18</td> <td>12.64</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>632.40</td> <td>994.69</td> <td>251.73</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>2.52</td> <td>0.00</td> <td>42.05</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	899.76	81.18	12.64	Adobe	632.40	994.69	251.73	Mampostería	2.52	0.00	42.05	1 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO II	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>905.19</td> <td>89.02</td> <td>12.65</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>632.40</td> <td>995.67</td> <td>251.73</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>233.47</td> <td>38.44</td> <td>1986.72</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	905.19	89.02	12.65	Adobe	632.40	995.67	251.73	Mampostería	233.47	38.44	1986.72	1 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO III	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>905.19</td> <td>89.02</td> <td>12.65</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>632.40</td> <td>995.67</td> <td>251.73</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>233.47</td> <td>38.44</td> <td>1986.72</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	905.19	89.02	12.65	Adobe	632.40	995.67	251.73	Mampostería	233.47	38.44	1986.72
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	899.76	81.18	12.64																																																											
Adobe	632.40	994.69	251.73																																																											
Mampostería	2.52	0.00	42.05																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	905.19	89.02	12.65																																																											
Adobe	632.40	995.67	251.73																																																											
Mampostería	233.47	38.44	1986.72																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	905.19	89.02	12.65																																																											
Adobe	632.40	995.67	251.73																																																											
Mampostería	233.47	38.44	1986.72																																																											

2 LVL TIPO 1 ZONA A SUELO I	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>79.68</td> <td>0.70</td> <td>3.02</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>135.10</td> <td>7.57</td> <td>159.30</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	79.68	0.70	3.02	Adobe	135.10	7.57	159.30	Mampostería	0.00	0.00	0.00	2 LVL TIPO 1 ZONA A SUELO II	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>330.60</td> <td>3.17</td> <td>6.99</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>342.12</td> <td>21.99</td> <td>416.17</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	330.60	3.17	6.99	Adobe	342.12	21.99	416.17	Mampostería	0.00	0.00	0.00	2 LVL TIPO 1 ZONA A SUELO III	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>444.75</td> <td>4.55</td> <td>10.10</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>370.82</td> <td>24.48</td> <td>447.94</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	444.75	4.55	10.10	Adobe	370.82	24.48	447.94	Mampostería	0.00	0.00	0.00
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	79.68	0.70	3.02																																																											
Adobe	135.10	7.57	159.30																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	330.60	3.17	6.99																																																											
Adobe	342.12	21.99	416.17																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	444.75	4.55	10.10																																																											
Adobe	370.82	24.48	447.94																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
2 LVL TIPO 1 ZONA B SUELO I	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>709.69</td> <td>36.11</td> <td>22.50</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>637.63</td> <td>584.34</td> <td>641.13</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	709.69	36.11	22.50	Adobe	637.63	584.34	641.13	Mampostería	0.00	0.00	0.00	2 LVL TIPO 1 ZONA B SUELO II	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>1501.61</td> <td>94.99</td> <td>29.70</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>1152.84</td> <td>718.27</td> <td>770.75</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>9.48</td> <td>1.20</td> <td>86.77</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	1501.61	94.99	29.70	Adobe	1152.84	718.27	770.75	Mampostería	9.48	1.20	86.77	2 LVL TIPO 1 ZONA B SUELO III	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>1519.89</td> <td>98.67</td> <td>29.73</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>1153.60</td> <td>718.90</td> <td>771.52</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>28.43</td> <td>3.60</td> <td>216.93</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	1519.89	98.67	29.73	Adobe	1153.60	718.90	771.52	Mampostería	28.43	3.60	216.93
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	709.69	36.11	22.50																																																											
Adobe	637.63	584.34	641.13																																																											
Mampostería	0.00	0.00	0.00																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	1501.61	94.99	29.70																																																											
Adobe	1152.84	718.27	770.75																																																											
Mampostería	9.48	1.20	86.77																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	1519.89	98.67	29.73																																																											
Adobe	1153.60	718.90	771.52																																																											
Mampostería	28.43	3.60	216.93																																																											
2 LVL TIPO 1 ZONA C SUELO I	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>563.41</td> <td>40.28</td> <td>7.83</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>467.42</td> <td>270.69</td> <td>128.24</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>6.15</td> <td>0.92</td> <td>24.13</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	563.41	40.28	7.83	Adobe	467.42	270.69	128.24	Mampostería	6.15	0.92	24.13	2 LVL TIPO 1 ZONA C SUELO II	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>564.54</td> <td>40.60</td> <td>7.83</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>467.40</td> <td>270.69</td> <td>128.24</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>250.06</td> <td>36.29</td> <td>941.01</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	564.54	40.60	7.83	Adobe	467.40	270.69	128.24	Mampostería	250.06	36.29	941.01	2 LVL TIPO 1 ZONA C SUELO III	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>564.54</td> <td>40.60</td> <td>7.83</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>467.40</td> <td>270.69</td> <td>128.24</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>250.06</td> <td>36.29</td> <td>941.01</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	564.54	40.60	7.83	Adobe	467.40	270.69	128.24	Mampostería	250.06	36.29	941.01
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	563.41	40.28	7.83																																																											
Adobe	467.42	270.69	128.24																																																											
Mampostería	6.15	0.92	24.13																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	564.54	40.60	7.83																																																											
Adobe	467.40	270.69	128.24																																																											
Mampostería	250.06	36.29	941.01																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	564.54	40.60	7.83																																																											
Adobe	467.40	270.69	128.24																																																											
Mampostería	250.06	36.29	941.01																																																											
2 LVL TIPO 1 ZONA D SUELO I	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>512.49</td> <td>50.40</td> <td>7.16</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>390.31</td> <td>558.06</td> <td>142.52</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>41.59</td> <td>13.06</td> <td>267.81</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	512.49	50.40	7.16	Adobe	390.31	558.06	142.52	Mampostería	41.59	13.06	267.81	2 LVL TIPO 1 ZONA D SUELO II	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>512.49</td> <td>50.45</td> <td>7.16</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>392.35</td> <td>558.08</td> <td>142.52</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>622.61</td> <td>261.63</td> <td>4439.73</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	512.49	50.45	7.16	Adobe	392.35	558.08	142.52	Mampostería	622.61	261.63	4439.73	2 LVL TIPO 1 ZONA D SUELO III	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Material predominante en paredes</th> <th colspan="3">Material predominante en techos</th> </tr> <tr> <th>Material Ligero</th> <th>Teja</th> <th>Losa de concreto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Material ligero</td> <td>512.49</td> <td>50.45</td> <td>7.16</td> </tr> <tr> <td>Adobe</td> <td>392.35</td> <td>558.08</td> <td>142.52</td> </tr> <tr> <td>Mampostería</td> <td>622.61</td> <td>261.63</td> <td>4439.73</td> </tr> </tbody> </table>	Material predominante en paredes	Material predominante en techos			Material Ligero	Teja	Losa de concreto	Material ligero	512.49	50.45	7.16	Adobe	392.35	558.08	142.52	Mampostería	622.61	261.63	4439.73
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	512.49	50.40	7.16																																																											
Adobe	390.31	558.06	142.52																																																											
Mampostería	41.59	13.06	267.81																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	512.49	50.45	7.16																																																											
Adobe	392.35	558.08	142.52																																																											
Mampostería	622.61	261.63	4439.73																																																											
Material predominante en paredes	Material predominante en techos																																																													
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto																																																											
Material ligero	512.49	50.45	7.16																																																											
Adobe	392.35	558.08	142.52																																																											
Mampostería	622.61	261.63	4439.73																																																											

2 LVL TIPO 2 ZONA A SUELO I	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 2 ZONA A SUELO II	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 2 ZONA A SUELO III	Material predominante en techos			
	Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	60.79	0.53	2.32		Material ligero	258.59	2.46	7.22		Material ligero	353.99	3.57	6.27
	Adobe	35.99	5.45	115.29		Adobe	223.27	17.22	330.47		Adobe	308.21	19.85	366.62
	Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00

2 LVL TIPO 2 ZONA B SUELO I	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 2 ZONA B SUELO II	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 2 ZONA B SUELO III	Material predominante en techos			
	Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	550.70	27.74	17.86		Material ligero	1234.97	77.45	24.57		Material ligero	1257.66	81.32	24.57
	Adobe	633.31	424.79	497.96		Adobe	553.77	594.35	637.77		Adobe	553.77	594.35	638.41
	Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	35.90		Mamposteria	15.68	1.99	143.60

2 LVL TIPO 2 ZONA C SUELO I	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 2 ZONA C SUELO II	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 2 ZONA C SUELO III	Material predominante en techos			
	Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	466.20	33.19	6.48		Material ligero	467.14	33.60	6.48		Material ligero	467.14	33.60	6.48
	Adobe	326.76	223.77	106.12		Adobe	267.15	223.99	106.12		Adobe	357.18	223.99	106.12
	Mamposteria	3.39	0.51	15.97		Mamposteria	144.17	20.87	551.05		Mamposteria	144.17	20.87	551.05

2 LVL TIPO 2 ZONA D SUELO I	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 2 ZONA D SUELO II	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 2 ZONA D SUELO III	Material predominante en techos			
	Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	423.64	41.71	5.93		Material ligero	424.07	41.75	5.93		Material ligero	424.07	41.75	5.93
	Adobe	319.63	461.77	117.93		Adobe	319.63	461.77	117.93		Adobe	319.63	461.77	117.93
	Mamposteria	23.35	7.20	152.66		Mamposteria	527.23	166.47	3028.62		Mamposteria	527.23	166.47	3028.62

2 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO I	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO II	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 3 ZONA A SUELO III	Material predominante en techos			
	Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	63.11	0.56	2.32		Material ligero	224.54	2.25	5.34		Material ligero	275.22	2.97	5.57
	Adobe	53.71	3.40	72.37		Adobe	171.36	11.60	211.76		Adobe	198.74	12.51	236.88
	Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	0.00

2 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO I	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO II	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 3 ZONA B SUELO III	Material predominante en techos			
	Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	505.35	26.49	14.19		Material ligero	816.08	52.93	15.98		Material ligero	816.90	53.35	15.98
	Adobe	437.25	208.47	317.32		Adobe	616.50	365.87	413.84		Adobe	616.50	365.87	414.26
	Mamposteria	0.00	0.00	0.00		Mamposteria	0.00	0.00	23.30		Mamposteria	10.18	1.29	69.89

2 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO I	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO II	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 3 ZONA C SUELO III	Material predominante en techos			
	Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	302.82	21.78	4.21		Material ligero	303.12	21.80	4.21		Material ligero	303.12	21.80	4.21
	Adobe	290.99	145.20	68.86		Adobe	291.22	145.35	68.86		Adobe	291.23	145.35	68.86
	Mamposteria	2.20	0.33	7.77		Mamposteria	100.15	14.37	409.39		Mamposteria	100.15	14.37	409.39

2 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO I	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO II	Material predominante en techos				2 LVL TIPO 3 ZONA D SUELO III	Material predominante en techos			
	Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto		Material predominante en paredes	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	275.17	27.09	3.85		Material ligero	275.17	27.09	3.85		Material ligero	275.17	27.09	3.85
	Adobe	207.45	229.54	76.53		Adobe	207.45	229.64	76.53		Adobe	207.45	229.64	76.53
	Mamposteria	14.35	4.41	102.26		Mamposteria	386.77	121.78	2281.61		Mamposteria	386.77	121.78	2281.61

3 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	23.03	0.23	0.78
Adobe	20.92	1.36	26.67
Mampostería	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	66.87	0.75	1.40
Adobe	49.00	3.23	59.17
Mampostería	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 1
ZONA A
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	74.45	0.87	1.41
Adobe	52.36	3.33	61.20
Mampostería	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	158.98	9.39	3.89
Adobe	106.53	85.37	94.43
Mampostería	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	205.99	13.45	4.03
Adobe	158.06	97.25	104.46
Mampostería	3.85	0.49	23.50

3 LVL
TIPO 1
ZONA B
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	206.20	13.45	4.03
Adobe	156.22	97.36	104.46
Mampostería	0.00	1.62	76.36

3 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	76.44	5.49	1.06
Adobe	63.35	39.66	17.36
Mampostería	2.50	4.16	8.49

3 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	76.44	5.50	1.06
Adobe	63.35	36.65	17.36
Mampostería	73.26	11.62	260.70

3 LVL
TIPO 1
ZONA C
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	76.44	5.50	1.06
Adobe	63.35	36.65	17.36
Mampostería	73.26	11.62	260.70

3 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	69.39	6.83	0.97
Adobe	52.31	75.66	19.30
Mampostería	13.47	4.65	83.00

3 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	69.39	6.83	0.97
Adobe	52.31	75.66	19.30
Mampostería	168.11	56.18	773.56

3 LVL
TIPO 1
ZONA D
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	69.39	6.83	0.97
Adobe	52.31	75.66	19.30
Mampostería	168.11	56.18	773.56

3 LVL
TIPO 2
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	19.52	0.19	0.67
Adobe	18.67	1.15	21.52
Mampostería	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 2
ZONA A
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	42.43	0.47	0.51
Adobe	31.46	2.07	37.65
Mampostería	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 2
ZONA A
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	48.18	0.56	0.92
Adobe	33.64	2.20	39.81
Mampostería	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 2
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	139.53	8.18	3.50
Adobe	118.14	75.76	82.43
Mampostería	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 2
ZONA B
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	134.55	8.79	2.63
Adobe	101.63	63.62	68.16
Mampostería	1.66	0.21	7.67

3 LVL
TIPO 2
ZONA B
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	134.68	8.79	2.63
Adobe	102.04	63.62	68.23
Mampostería	5.03	0.64	34.53

3 LVL
TIPO 2
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	69.89	5.02	0.97
Adobe	57.93	33.61	15.88
Mampostería	1.52	0.23	5.38

3 LVL
TIPO 2
ZONA C
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	49.92	3.59	0.69
Adobe	41.28	23.94	11.34
Mampostería	34.44	5.47	125.04

3 LVL
TIPO 2
ZONA C
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	49.92	3.59	0.69
Adobe	41.38	23.94	11.34
Mampostería	34.44	5.47	125.04

3 LVL
TIPO 2
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	45.32	4.46	0.63
Adobe	34.17	49.35	12.60
Mampostería	6.04	2.05	36.84

3 LVL
TIPO 2
ZONA D
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	45.32	4.46	0.63
Adobe	34.17	49.35	12.60
Mampostería	64.04	31.73	469.47

3 LVL
TIPO 2
ZONA D
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	45.32	4.46	0.63
Adobe	34.17	49.35	12.60
Mampostería	64.04	31.73	469.47

3 LVL
TIPO 3
ZONA A
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	27.51	0.28	0.86
Adobe	16.54	6.95	18.90
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 3
ZONA A
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	62.45	0.72	1.20
Adobe	45.32	2.61	48.37
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 3
ZONA A
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	64.93	0.77	1.20
Adobe	44.04	2.63	51.78
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 3
ZONA B
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	157.40	9.61	3.41
Adobe	105.87	82.85	74.94
Mamposteria	0.00	0.00	0.00

3 LVL
TIPO 3
ZONA B
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	175.68	11.46	3.43
Adobe	132.96	82.85	88.91
Mamposteria	0.00	0.14	10.01

3 LVL
TIPO 3
ZONA B
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	175.68	11.47	3.43
Adobe	133.00	82.94	89.00
Mamposteria	1.03	0.69	35.03

3 LVL
TIPO 3
ZONA C
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	65.12	4.68	0.90
Adobe	33.67	31.23	14.79
Mamposteria	1.18	0.18	3.90

3 LVL
TIPO 3
ZONA C
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	65.12	4.68	0.90
Adobe	33.97	31.23	14.79
Mamposteria	48.94	7.88	197.61

3 LVL
TIPO 3
ZONA C
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	65.12	4.68	0.90
Adobe	53.97	31.23	14.79
Mamposteria	48.94	7.88	197.61

3 LVL
TIPO 3
ZONA D
SUELO I

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	59.12	5.82	0.83
Adobe	44.57	64.37	16.44
Mamposteria	7.71	2.68	51.49

3 LVL
TIPO 3
ZONA D
SUELO II

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	59.12	5.82	0.83
Adobe	44.57	64.37	16.44
Mamposteria	136.72	46.19	664.54

3 LVL
TIPO 3
ZONA D
SUELO III

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	59.12	5.82	0.83
Adobe	44.67	64.37	16.44
Mamposteria	136.72	46.19	664.54

- A continuación se presenta el resumen de los costos de reparación según tipología y según zona sísmica en millones de Pesos MXN y Dólares US 2008.

POR ZONA SISMICA en PESOS MXN

ZONA A	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	3604	32	101
	Adobe	4132	252	5252
	Mamposteria	0	0	0

ZONA B	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	18640	990	441
	Adobe	17814	10896	12280
	Mamposteria	75	12	763

ZONA C	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	9796	662	140
	Adobe	5387	4850	2299
	Mamposteria	1459	210	5807

ZONA D	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	9132	878	128
	Adobe	5915	9987	2551
	Mamposteria	5215	1546	30963

POR ZONA SISMICA en DOLARES US

ZONA A	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	346	3	10
	Adobe	397	24	504
	Mamposteria	0	0	0

ZONA B	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	1788	95	42
	Adobe	1709	1045	1178
	Mamposteria	7	1	73

ZONA C	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	940	64	13
	Adobe	695	485	221
	Mamposteria	141	20	557

ZONA D	Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
		Material Ligero	Teja	Losa de concreto
	Material ligero	876	84	12
	Adobe	663	958	245
	Mamposteria	600	148	2971

POR TIPOLOGIA Y MILLONES DE PESOS MXN

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	41172	2561	810
Adobe	37249	25985	22383
Mamposteria	6760	1768	37533

POR TIPOLOGIA Y MILLONES DE DOLARES US

Material predominante en paredes	Material predominante en techos		
	Material Ligero	Teja	Losa de concreto
Material ligero	3951	246	78
Adobe	3574	2493	2148
Mamposteria	649	170	3601

Por lo tanto el precio total de reparación para todas las viviendas de México se define por la suma del precio de reparación calculado en las tablas anteriores de cada tipología. Se obtiene por lo tanto los siguientes resultados:

COSTO TOTAL DE REPARACION EN MEXICO en PESOS mxn

176220

COSTO TOTAL DE REPARACION EN MEXICO en DOLARES us

16908

V. Conclusiones del análisis de riesgo:

Los resultados obtenidos satisfacen de una manera el orden de valor del costo de reparación total para toda la republica mexicana. Sin embargo se pueden hacer las siguientes conclusiones en cuanto a los diferentes resultados obtenidos.

A. Funciones de vulnerabilidad:

Se muestra claramente que la viviendas con material predominante en paredes de material ligero y de adobe son las que ofrecen menos resistencia a fuerzas sísmicas, por lo tanto son las viviendas mas dañadas en el análisis, es decir con una probabilidad de daño alta.

B. Probabilidad de daño:

Las probabilidades de daño se calcularon con respecto a las graficas de vulnerabilidad y las aceleraciones máximas de cada zona sísmica y de cada tipo de suelo. Observando los resultados se nota que las viviendas de adobe y de material ligero son las viviendas que sufren mas daño pero lo interesante es que el daño es total en la mayoría de los casos en zona sísmicas C y D. Estas cifras pueden ser más realistas si se diseñaran funciones de vulnerabilidad para cada tipo de viviendas de manera independiente, analizando el comportamiento a sismo de las viviendas y comprobando los resultados en laboratorios.

Por lo tanto el precio total de reparación para todas las viviendas de México se define por la suma del precio de reparación calculado en las tablas anteriores de cada tipología. Se obtiene por lo tanto los siguientes resultados:

COSTO TOTAL DE REPARACION EN MEXICO en PESOS mxn

176220

COSTO TOTAL DE REPARACION EN MEXICO en DOLARES us

16908

V. Conclusiones del análisis de riesgo:

Los resultados obtenidos satisfacen de una manera el orden de valor del costo de reparación total para toda la republica mexicana. Sin embargo se pueden hacer las siguientes conclusiones en cuanto a los diferentes resultados obtenidos.

A. Funciones de vulnerabilidad:

Se muestra claramente que la viviendas con material predominante en paredes de material ligero y de adobe son las que ofrecen menos resistencia a fuerzas sísmicas, por lo tanto son las viviendas mas dañadas en el análisis, es decir con una probabilidad de daño alta.

B. Probabilidad de daño:

Las probabilidades de daño se calcularon con respecto a las graficas de vulnerabilidad y las aceleraciones máximas de cada zona sísmica y de cada tipo de suelo. Observando los resultados se nota que las viviendas de adobe y de material ligero son las viviendas que sufren mas daño pero lo interesante es que el daño es total en la mayoría de los casos en zona sísmicas C y D. Estas cifras pueden ser más realistas si se diseñaran funciones de vulnerabilidad para cada tipo de viviendas de manera independiente, analizando el comportamiento a sismo de las viviendas y comprobando los resultados en laboratorios.

C. Numero de viviendas:

El número de viviendas se repartió por propuesta arquitectónica, número de niveles, tipología, zona sísmica y tipo de suelo. Esta repartición hubiera sido más interesante en una manera si hubiera realizado por estado o por municipio, sin embargo esto representaría una base de datos más de 8 veces más grande que la propuesta en este análisis.

D. Costo de reparación:

En los resultados obtenidos, se nota que las viviendas que representan más pérdidas económicas son las viviendas de material ligero. Sin embargo se nota igualmente que las viviendas de mampostería representan una gran parte de las pérdidas económicas aun que sean las viviendas con más resistencia a fuerzas sísmicas en el presente análisis.

Esto se explica por el hecho que las viviendas de mampostería representan el 79% de las viviendas en México mientras que las viviendas de adobe y de material ligero representan el 21%, y combinando las dos tipologías sobrepasan el valor calculado para las viviendas de mampostería.

E. Comparación con el sismo histórico de 1985:

El sismo que ocurrió en México en 1985 en la ciudad de México ocasiono una pérdida de 4,500 millones de dólares. Más de 30,000 viviendas fueron dañadas totalmente y 60,000 otras sufrieron daños importantes. Además, las viviendas de la ciudad de México representan más del 80% de las viviendas en la zona sísmica B, la cual se compone de más de 13 Millones de viviendas mientras que la zonas C y D se componen de 4.7 Millones de viviendas. La repartición de la actividad sísmica en la ciudad de México representa una buena aproximación de la alta actividad sísmica que se observa en la costa pacífica dado que su tipo de terreno no es homogéneo. Por lo tanto, basándose en las pérdidas económicas del sismo de 1985 de la ciudad de México, obtener más de 16,000 Millones de pérdidas en dólares US para toda la república Mexicana parece ser una buena estimación considerando los precios de reparación por metros cuadrado que se establecieron.

Capítulo V-

Recomendaciones

La presente investigación se realizó en la óptica de definir, analizar, cuantificar y sintetizar el riesgo sísmico para la vivienda en México. Para cumplir con las expectativas se planteó una propuesta de metodología. Esta metodología se basa en proyectos, investigaciones y trabajos previos a la propuesta enunciada en la presente investigación. Sin embargo la metodología propuesta no puede ser la representación real del riesgo sísmico en México, pero sí una aproximación del resultado que se esperaría de un análisis que tome la totalidad de los factores de riesgo en cuenta. Lo que se puede discutir del presente análisis es ¿que tanto se acercan los resultados de la realidad?

Los resultados del presente análisis se compararon a eventos sísmicos históricos que afectaron el país de México y generaron altas pérdidas en el dominio de la vivienda. Para ajustar los resultados que se presentaron anteriormente se presentan a continuación las recomendaciones que deberían de tomarse en cuenta si se desea complementar la presente investigación. Las recomendaciones se dividen en tres partes: tipología, peligro sísmico y vulnerabilidad.

I. Tipología:

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, México posee una gran diversidad de viviendas y cada una con características diferentes estructurales y arquitectónicas diferentes. Por lo tanto, la tipología propuesta en el análisis puede ser mejorado aplicando las siguientes recomendaciones:

- Aumentar el número de tipología de viviendas diferenciando el tipo de material de construcción sin realizar simplificaciones, el número de niveles exacto basado en una encuesta nacional, aumentar el número de propuestas arquitectónicas más representativas del caso actual de las viviendas al día de hoy.
- La base de datos utilizada es una de las mejores en México, sin embargo tomar como criterio de conteo el material predominante en techos o paredes puede resaltar como un criterio demasiado simplificador. Por lo tanto se podría realizar o validar la existencia de otras fuentes de información que tomen en cuenta más criterios de conteo de viviendas lo que permitiría suponer el tipo estructural de la vivienda.

Sin embargo la tipología de las viviendas en México es tan amplia que se necesita realizar simplificaciones. Sin embargo se tiene que comprobar las simplificaciones con un trabajo en campo.

II. Peligro sísmico:

El peligro sísmico se definió con respecto a las zonas sísmicas de México. Como se ha mencionado anteriormente, un criterio de evaluación del peligro sísmico es la aceleración del suelo cuando ocurre un sismo. Para la presente investigación se utilizaron los espectros de diseño propuestos por el CFE. Sin embargo, los espectros del CFE son una simplificación que se puede mejorar por el uso de espectros normalizados o uso de leyes de atenuación de los espectros.

Otra recomendación específica que tiene que ser apuntada es la ciudad de México. La ciudad de México representa más del 80% de las viviendas de la zona sísmica B, sin embargo en el presente análisis se considero que la totalidad de las viviendas de la ciudad de México se establecían en la zona sísmica B. En varias literaturas, se ha confirmado que el tipo de suelo que se establece en la ciudad de México es muy diferente del tipo de suelo que se encuentra en el resto de la República Mexicana. Las zonas de lago, las zonas de transición, las zonas de terreno blando, entre otras, hacen que las aceleraciones máximas propuestas por los espectros de diseño del CFE no cumplen con la realidad. Por lo tanto, se necesitaría realizar un análisis que tome en cuenta la diversidad del suelo en la ciudad de México, utilizando espectros normalizados para obtener resultados más comprobantes.

Además, en el análisis se ha supuesto que la repartición de las viviendas según el tipo de suelo era de 30% de las viviendas según su zona sísmica por tipo de suelo. Sin embargo, esta simplificación puede resaltar errónea por el hecho que no se ha comprobado en campo. Por lo tanto, se recomienda ajustar los porcentajes de viviendas según el tipo de suelo para mejorar los resultados del análisis.

III. Vulnerabilidad:

La vulnerabilidad de las viviendas se estableció según una propuesta de metodología de evaluación de la vulnerabilidad para viviendas de mampostería con muros de carga. Las simplificaciones e hipótesis que se realizaron tienen una influencia sobre el resultado final del análisis. Se ha comprobado la eficiencia de la metodología para viviendas de mampostería realizando pruebas en laboratorios, obteniendo resultados cercanos a los de la realidad. Sin embargo, la construcción de las funciones de vulnerabilidad de las viviendas de material ligero y adobe como material predominante en paredes se baso en el trabajo realizado para viviendas de mampostería. Sin embargo es evidente que el comportamiento de la mampostería varía con respecto a los otros materiales de construcción. Por lo tanto, una de las recomendaciones más importantes sería realizar una propuesta de metodología para la construcción de las funciones de vulnerabilidad de las viviendas para cada tipo de material de construcción, o elemento estructural predominante tomando en cuenta el comportamiento de la vivienda sujeta a sismo. Se podría por entonces obtener una evaluación más precisa de la vulnerabilidad de la vivienda según su tipología.

Un análisis de riesgo sísmico siempre puede ser mejorado. Las herramientas y el tiempo que se necesite para realizarlo fluctúan según los objetivos y alcance del análisis. Por lo tanto, con el tiempo que se utilizo y las herramientas disponibles se realiza el presente trabajo de investigación el cual propone un análisis de riesgo sísmico para las viviendas en México.

Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey



30002007153885

<http://biblioteca.mty.itesm.mx>