

**PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LA ESCALA DE
INTENSIDADES MODIFICADA DE MERCALLI (M.M.I.) PARA
GUATEMALA**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL



**PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LA ESCALA DE
INTENSIDADES MODIFICADA DE MERCALLI (M.M.I.) PARA
GUATEMALA**

ALBERTO JOSÉ PÉREZ ZARCO

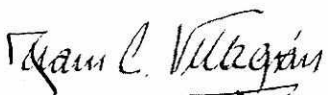
TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO PARA OPTAR AL
GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA
ESTRUCTURAL

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

GUATEMALA

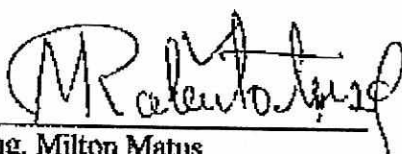
SEPTIEMBRE DE 2002


Vo. Bo. :


(f) _____
Dr. Juan Carlos Villagrán
Asesor

Tribunal:


(f) _____
Ing. Franklin Matzder


(f) _____
Ing. Milton Matus


(f) _____
Dr. Juan Carlos Villagrán

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

Félix Ramiro Pérez Alvarado
Hilda Zarco Laines de Pérez

A MI ASESOR

Ph.D. Juan Carlos Villagrán De León

A LOS QUE COLABORARON EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO

MSc. Franklin Matzdorf
MSc. Milton Matus

A LA COORDINADORA NACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES, C.O.N.R.E.D.

En especial a la Gerencia de Gestión para la Reducción del Riesgo.

A LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

A Mónica, Ximena e Isabella

Contenido

I.	Introducción	1
II.	Justificación	3
III.	Objetivos.	6
IV.	Amenaza Sísmica en Guatemala.	7
V.	Escala de intensidades MMI	18
VI.	El adobe	22
	1. Características como material de construcción.	22
	2. Su vulnerabilidad ante la amenaza sísmica.	24
VII.	Propuesta de modificación de la escala de Intensidades MMI para Guatemala.	25
VIII.	Intensidades registradas en Guatemala para algunos eventos sísmicos.	31
	1. La Perla, Jutiapa.	32
	2. Pochuta, Chimaltenango.	41
IX.	Resultados	49
X.	Conclusiones	50
XI.	Recomendaciones	52
XII.	Bibliografía	54
XIII.	Anexos	56

I. Introducción

Guatemala, como varios países del mundo, está situado en una zona de actividad sísmica frecuente, resultado de la interacción entre tres placas tectónicas. Esta dinámica entre las placas ha forjado a lo largo de millones de años la cadena volcánica que conocemos hoy en día, así como las sierras de los Cuchumatanes y de Las Minas.

Reconociendo el impacto que tienen los terremotos en las construcciones alrededor del mundo, sobre todo en las zonas de alta sismicidad, se han desarrollado escalas para medir la magnitud de tales terremotos, como la escala de Richter. Sin embargo, se ha reconocido que aunque el epicentro de un terremoto está en un punto específico del globo terrestre, sus impactos varían de una ciudad a otra, dadas las condiciones de atenuación de las ondas sísmicas que se propagan en la corteza, así como las condiciones geomorfológicas locales. Tomando como base este argumento, los científicos que analizan estos fenómenos han creado también escalas, pero de intensidad, para dimensionar de alguna manera los efectos de un terremoto en algún sitio en particular. Por lo general, estas escalas de intensidad se han desarrollado con base al estudio de casos históricos, sistematizando los impactos observados en estructuras y en la respuesta humana, para generar lo que se conoce hoy en día como la escala de intensidades.

El presente trabajo presenta una propuesta para modificar la escala de intensidades sísmicas utilizada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) institución estatal que rige los estudios sismológicos del país.

La escala utilizada hasta la fecha por dicha institución es la Escala Modificada de Mercalli comúnmente conocida como MMI, ésta se basa en los daños provocados

en estructuras por el evento sísmico, así como lo sensible que este fue para la población.

Por lo general, este tipo de escalas se han basado en estudios estadísticos de impactos de los sismos y terremotos en ciudades y poblados de naciones más desarrolladas de Europa y Norte América, que no necesariamente se ajustan a la realidad constructiva guatemalteca, por lo que es posible que no se puedan aplicar adecuadamente en el entorno nacional.

Esta propuesta se basa en evaluaciones de intensidad realizadas en diversas poblaciones para sismos recientes, con las cuales se trata de establecer algunas modificaciones a la escala MMI para que se acople de mejor manera a nuestra realidad y guarde las correlaciones que le den la credibilidad necesaria, para su utilización.

Aunque la información sobre estos temas es limitada y difícil de recolectar, se puede apreciar esta falta de correlación, especialmente con las estructuras de adobe, de muy alta vulnerabilidad ante los sismos.

Debido a la falta de información, se asumieron varios factores importantes para el cálculo de aceleraciones pico del terreno, así como de intensidades esperadas, lo que aunado a las incertidumbres propias en estas operaciones, deja algunos vacíos que deben ser llenados en otros trabajos de esta índole. Las estimaciones de aceleración pico e intensidad han sido deducidas a partir de estudios previamente realizados por científicos en el área de la ingeniería de terremotos.

Con todas sus limitaciones, el trabajo plantea algunas recomendaciones basadas en las conclusiones, producto de resultados que evidencian aunque sea en los pocos casos estudiados, el problema expuesto en el mismo.

II. Justificación

Guatemala es un país que, a lo largo de la historia, se ha visto azotado por eventos sísmicos de gran magnitud que han dejado grandes pérdidas humanas y materiales.

Como en todo país en vías de desarrollo, la red de vigilancia sísmica de Guatemala es deficiente haciendo que las evaluaciones de intensidad sean de gran ayuda para la estimación de la magnitud de los sismos (aquí magnitud no se refiere a magnitud sísmica sino a una determinación de tamaño).

Cualquier escala de intensidad consiste de una serie de descripciones de los efectos asociados a los distintos grados de vibración que provoca un terremoto sobre un número de objetos que se pueden encontrar en el ambiente cotidiano. Estos objetos se pueden considerar como sensores, porque su respuesta a las vibraciones se usa para medir la fuerza de la vibración, pero ellos no son partes de algún equipo especial que se instala por el investigador- porque son parte del ambiente normal, estos sensores son extremadamente comunes. Esta es una de las grandes ventajas de la intensidad como una herramienta: no requiere de instrumentos para ser medida (Comisión Sismológica Europea 1998). Estos sensores que se han usado históricamente en escalas de intensidad pueden dividirse en cuatro grupos:

Seres vivientes (gente y animales). Conforme aumenta la intensidad una mayor proporción de gente o animales (a) nota las vibraciones, y (b) se asusta debido a ellas (Comisión Sismológica Europea 1998).

Objetos ordinarios. Conforme la intensidad aumenta, un mayor número de objetos domésticos ordinarios (utensilios de cocina, libros) empiezan a vibrar, desordenarse y a caerse al suelo (Comisión Sismológica Europea 1998).

Edificios. Conforme aumenta la intensidad los edificios experimentan progresivamente más daños (Comisión Sismológica Europea. 1998).

El ambiente natural. Conforme aumenta la intensidad, existe la mayor probabilidad de que se manifiesten efectos tales como grietas en muros, derrumbes, y así sucesivamente (Comisión Sismológica Europea. 1998).

Cuando el usuario de la escala ha obtenido todos los datos descriptivos disponibles de un lugar particular para un terremoto particular, él debe comparar los datos con los grupos de diagnósticos para determinar la intensidad que se experimentó en ese lugar y tomar una decisión con respecto a cual se apega. Así es como se usa la escala de intensidad para asignar la intensidad en los términos más simples, recordando que no pueden existir dos términos de intensidad distintos para un sitio y terremoto particular (Comisión Sismológica Europea. 1998)

Cualquier escala de intensidades debe ser completa, lo que implica que cubre todos los posibles escenarios de daños en las estructuras y les asigna un valor de intensidad para que siempre sea aplicable para cualquier sismo que se manifieste.

La escala de intensidad se debe elaborar de manera que se logre una continuidad y una uniformidad entre los distintos niveles, para que cuando se comparen los impactos de dos sismos de magnitudes similares o no muy separadas, de igual manera los valores de intensidad registrados mantenga dicha similaridad o la separación adecuada.

Ante tal situación, el INSIVUMEH adoptó la escala MMI, la cual se desarrolló en Europa en 1,931. De esta forma cuando se manifiesta un sismo, dicha institución reporta tanto la magnitud usando la escala Richter, así como la intensidad para la ciudad de Guatemala con base a esta escala.

La determinación de la intensidad es de gran utilidad para la distribución de recursos a la hora de un desastre sísmico. Es por esto que existe la necesidad de tener una escala de intensidades que realmente represente los daños registrados y nos dé una verdadera idea de la magnitud del evento.

Históricamente la intensidad ha sido utilizada como escala de medición para sismos y es por eso que hoy en día puede ser una herramienta de gran utilidad como parámetro para la determinación de la vulnerabilidad, dentro del contexto de la gestión para la reducción del riesgo. Si podemos estimar que áreas serán las más afectadas ante un evento, podremos prepararnos mejor para afrontarlo o reducir nuestra vulnerabilidad, lo cual necesariamente bajará el nivel de intensidad.

Sin embargo, se debe mencionar que la escala MMI, como está planteada, presenta ambigüedades a la hora de ser aplicada en Guatemala, dado que está diseñada para Europa, donde las técnicas de construcción y de manufactura de materiales son distintas a las guatemaltecas. Más específicamente, en el caso de sismos recientes la escala presenta dos valores distintos de intensidad para una misma población, basado en el comportamiento de la mampostería reforzada y en el caso del adobe. Esta ambigüedad hace difícil la determinación adecuada de la intensidad de un sismo en una población. Para resolver esta ambigüedad que presenta la escala MMI es totalmente necesario adaptarla con datos nacionales que reflejen el comportamiento estructural de las distintas tipologías constructivas y estructurales del país. De esta manera se estará en la capacidad de asignar una sola intensidad a un sismo en una población específica,

que sea consistente con los daños observados en todas las estructuras presentes en dicha población.

III. Objetivos

- Exponer lo que es una escala de intensidades macrosísmicas y su importancia dentro de la ingeniería, para su mejor aprovechamiento por parte de los profesionales interesados en el tema.
- Modificar la escala de intensidades MMI para que se adapte de una mejor forma a las realidades constructivas de Guatemala y poder estimar de mejor manera los daños ocasionados por los eventos telúricos a los que nos enfrentamos con cierta regularidad.
- Recopilar información de sismos recientes, que puedan servir a otros investigadores, para realizar trabajos que los lleven a un mejor entendimiento del comportamiento de las distintas tipologías constructivas que se encuentran en el país.
- Crear una herramienta útil para las instituciones, involucradas en el manejo integral de los desastres, que les ayude a tomar decisiones acertadas para la distribución de los escasos recursos con los que cuenta el país
- Crear conciencia sobre el alto riesgo sísmico al que están expuestas las diversas poblaciones y ciudades en Guatemala, para estimular el interés en la reducción de la vulnerabilidad.

- Concienciar sobre la alta vulnerabilidad estructural ante sismos de las estructuras de adobe en la vivienda popular con el fin de buscar otras alternativas constructivas para la vivienda popular en el país

IV. Amenaza Sísmica en Guatemala

En Guatemala la convergencia de tres placas tectónicas hace que nuestro país se vea afectado continuamente por sismos tectónicos fuertes.

Guatemala está ubicada dentro de la zona de convergencia de las placas de Norteamérica, del Caribe y de Cocos.

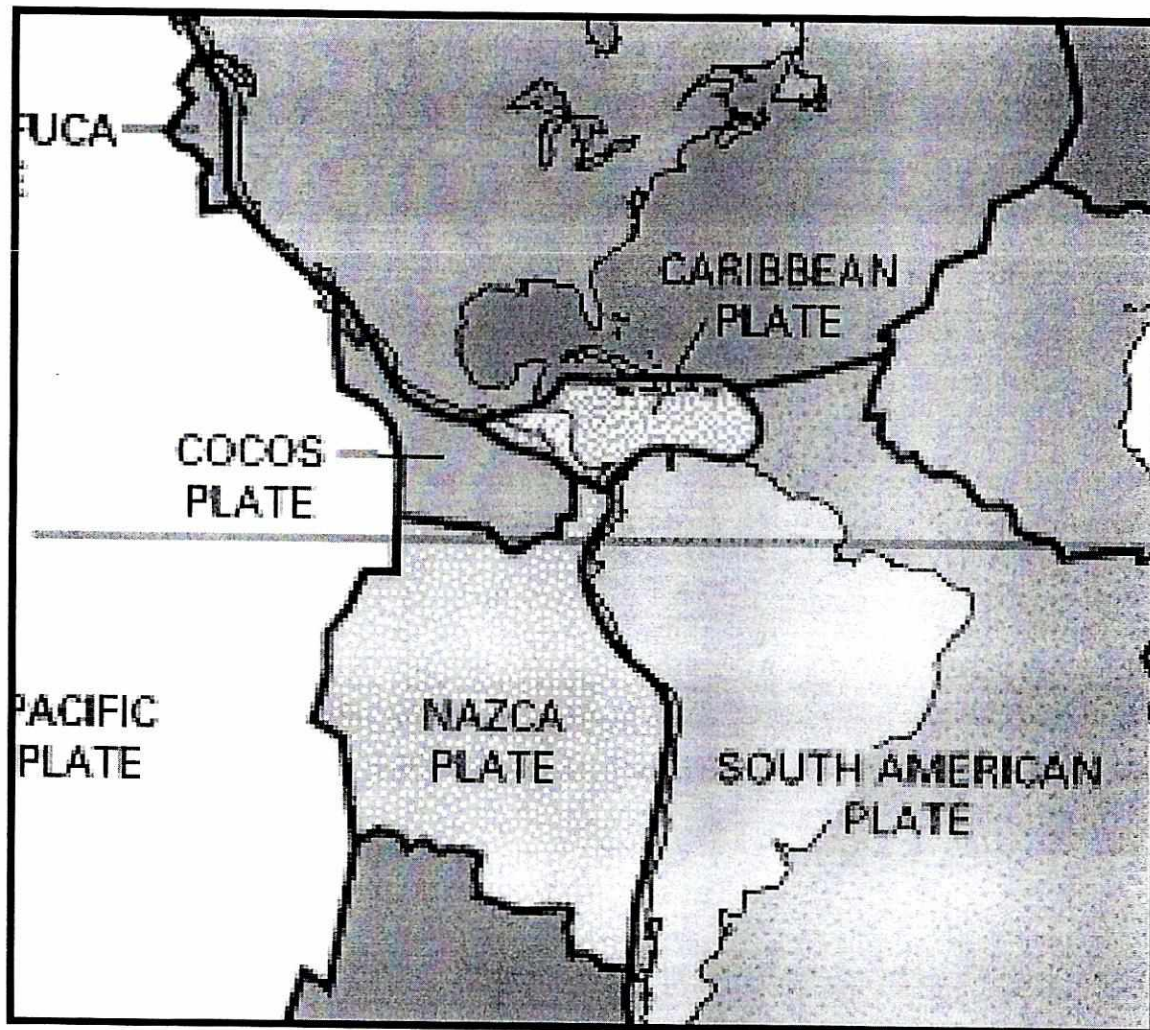
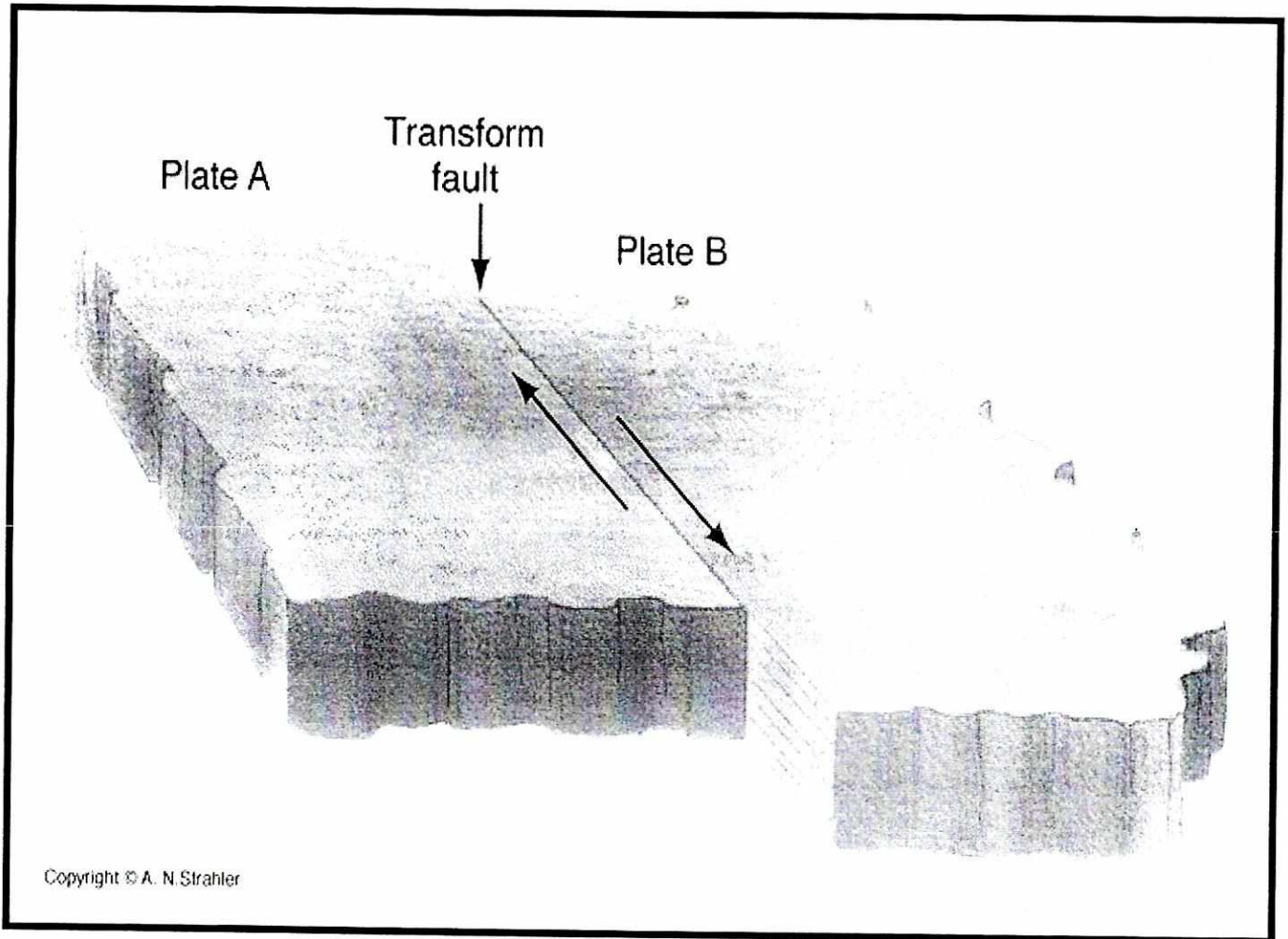


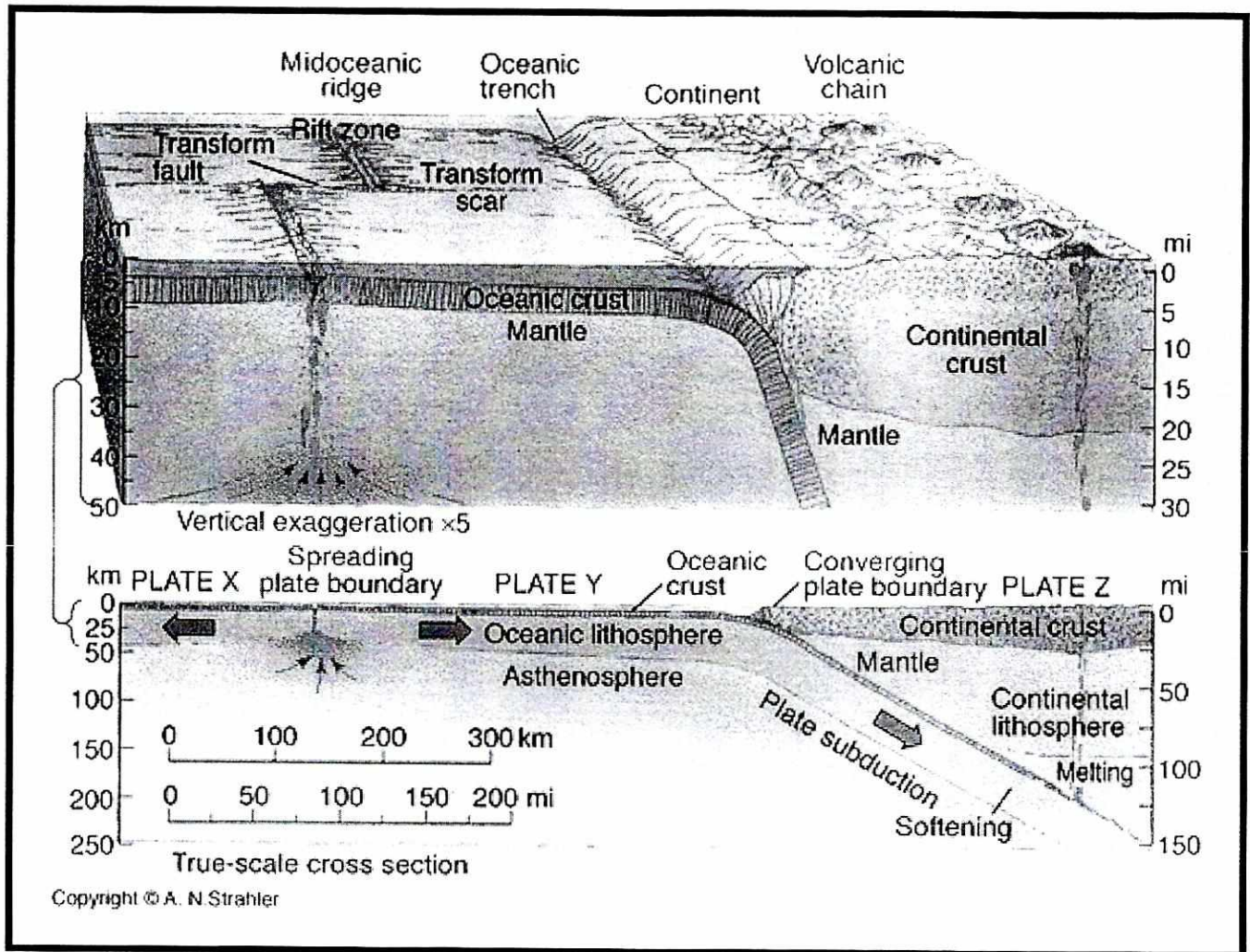
Imagen USGS.

De acuerdo con el conocimiento actual sobre la interacción de las placas la placa del Caribe se desplaza hacia el Este de la de Norteamérica en forma transcurrente, lo cual está evidenciado por el sistema de fallas Motagua-Chixoy-Polochic.



Proceso de Transcurrencia (Strahler, A. 2000).

En el Sur, la placa de Cocos se sumerge (subduce) bajo la placa del Caribe, lo cual ha dado a lugar a la formación de la fosa Mesoamericana, la falla de Jocotán y la falla de Jalpatagua (Autores Varios, AGIES. 1997).

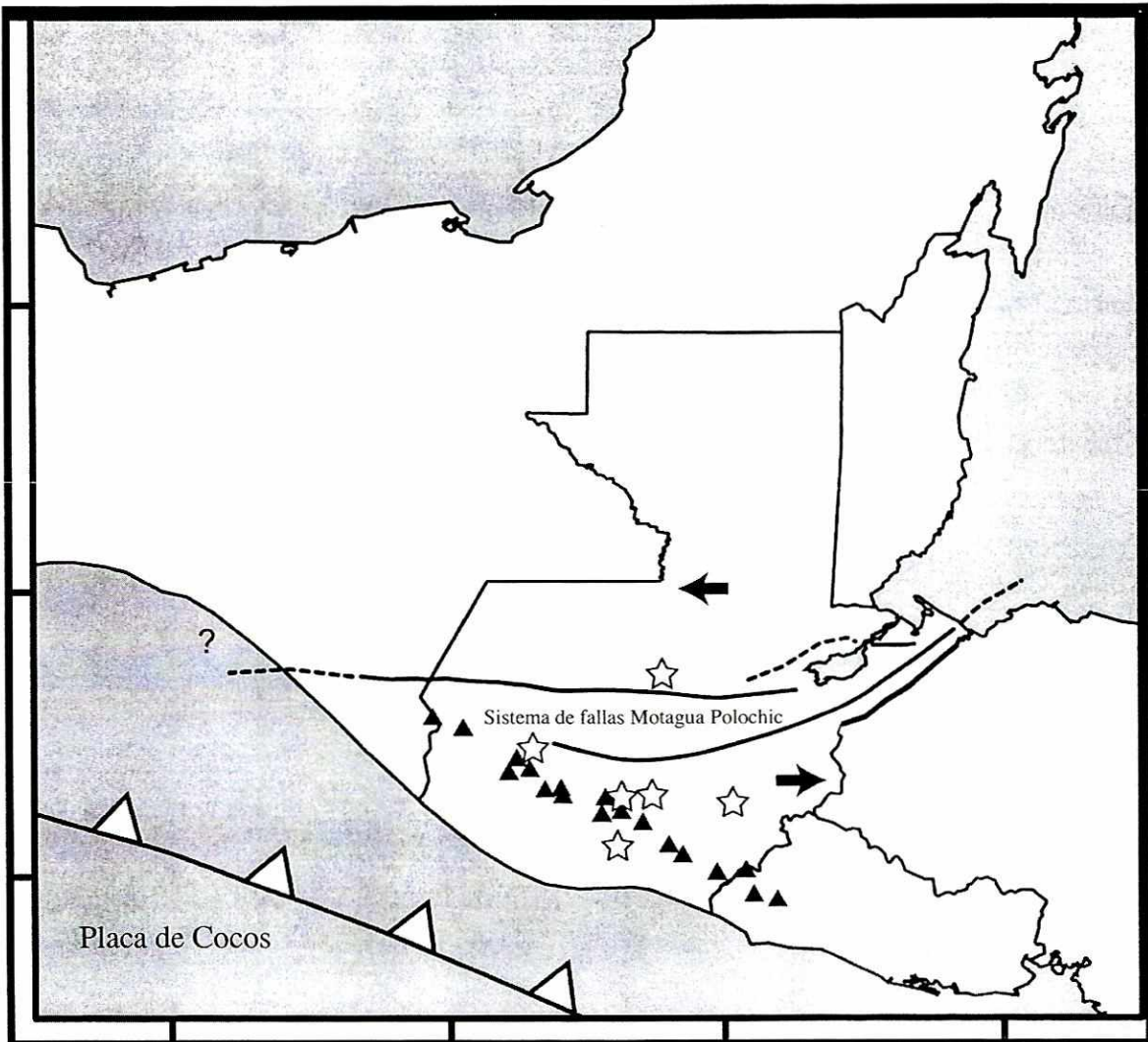


Proceso de Subducción (Strahler, A. 2000).

La interacción de las tres placas tectónicas ha generado esfuerzos tensionales dentro de la placa del Caribe, los cuales han provocado grandes sistemas de fallas normales (tipo graben-horst) de orientación Norte -Sur, como el de la ciudad de Guatemala (Autores Varios, AGIES. 2000).

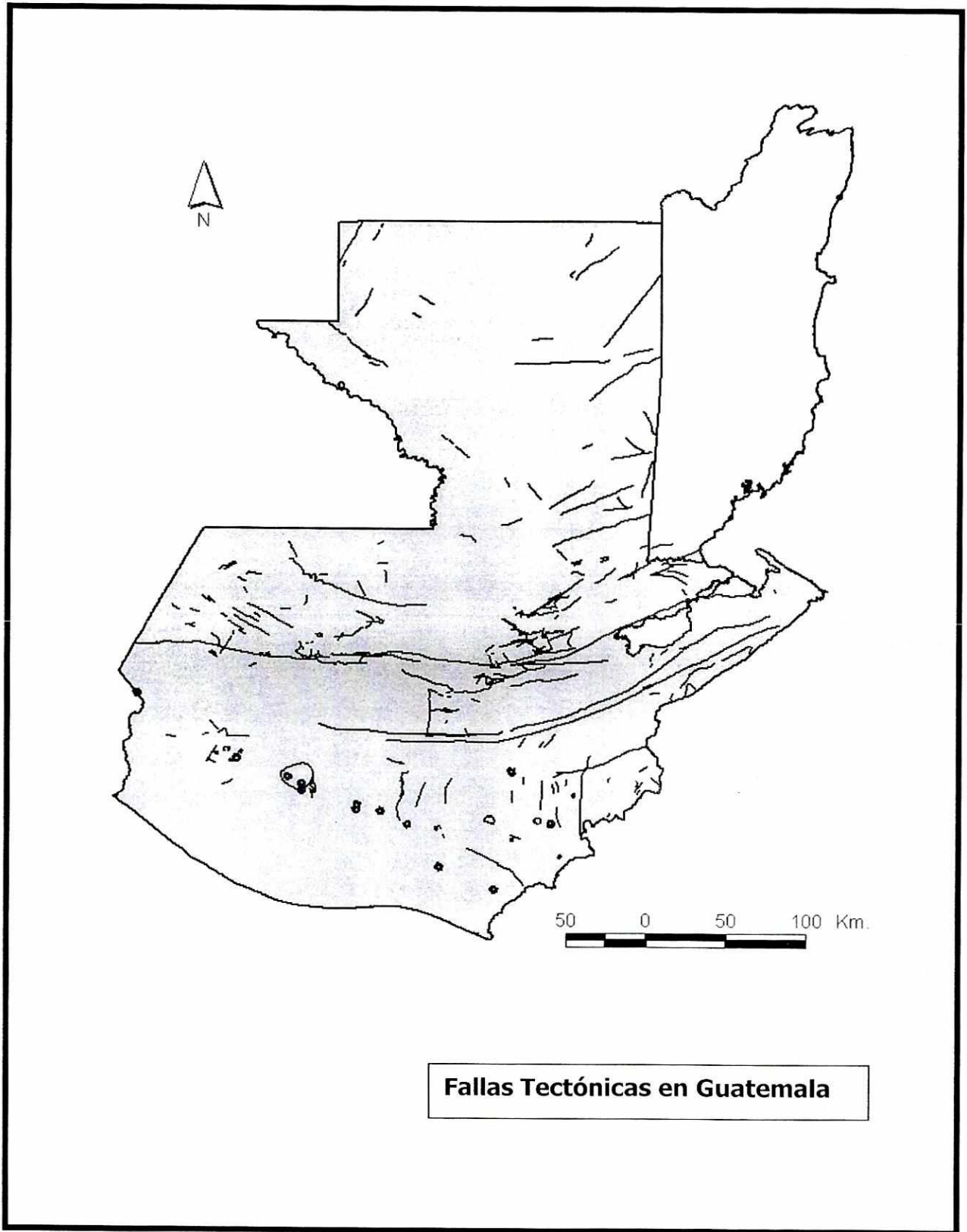
La hipótesis de la tectónica de placas provee un concepto para discutir el origen del terremoto de 1976 y otras actividades sísmicas regionales. La placa del Caribe está rodeada por franjas sísmicas. Varios sismos de gran intensidad ocurrieron a lo largo de la misma (Autores Varios, AGIES. 2000).

Imagen CONRED.



En Guatemala se tiene una serie de fuentes sísmicas, que producen una gran cantidad de sismos, como lo evidencia la "Distribución espacial de epicentros de sismos localizados por la red mundial (WWSSN) durante el período 1963-1980. En nuestro país se pueden mencionar las siguientes fuentes sísmicas:

- Sistema de fallas Motagua-San Agustín.
- Sistema de fallas Chixoy-Polochic.
- Sistema de fallas Jocotán-Chamelecón.
- Sistema de fallas Mixco.
- Sistema de fallas de Santa Catarina Pinula.
- Sistema de fallas del Graben de Ipala.
- Cinturón Volcánico
- Sistema de fallas de Ixcán.
- Zona de Subducción en el Pacífico.



El terremoto de Guatemala en 1976 se originó en el límite noroeste de la Placa Caribe con la Placa de Norte América. Este límite presenta un movimiento lateral izquierdo de la Placa de Norte América, tanto en Guatemala como en la Fosa de Caimán. Más al este, en la Fosa de Puerto Rico, la Placa Caribe se mueve al este nordeste con respecto a la Placa de Norte América (Autores Varios, AGIES. 2000).

La intensa investigación realizada en la región del Caribe ha permitido definir en gran parte su estructura geológica y en menor grado la tectónica. Se ha determinado un arreglo geométrico de las placas tectónicas involucradas y dinámicamente se han establecido los tipos de límites entre ellas así como su movimiento relativo. La zona de falla Polochic-Motagua, límite conservativo al norte y la zona de subducción mesoamericana, límite destructivo al Sur-occidente, son los elementos tectónicos que tienen influencia directa en la sismicidad del territorio nacional (Autores Varios, AGIES. 2000).

En la costa suroeste de México y Centroamérica se encuentra la subducción de la Placa de Cocos debajo de la de Norte América y Caribe. Esta unión de gran actividad sísmica se puede encontrar aproximadamente al suroeste de Guatemala (Autores Varios, AGIES. 2000).

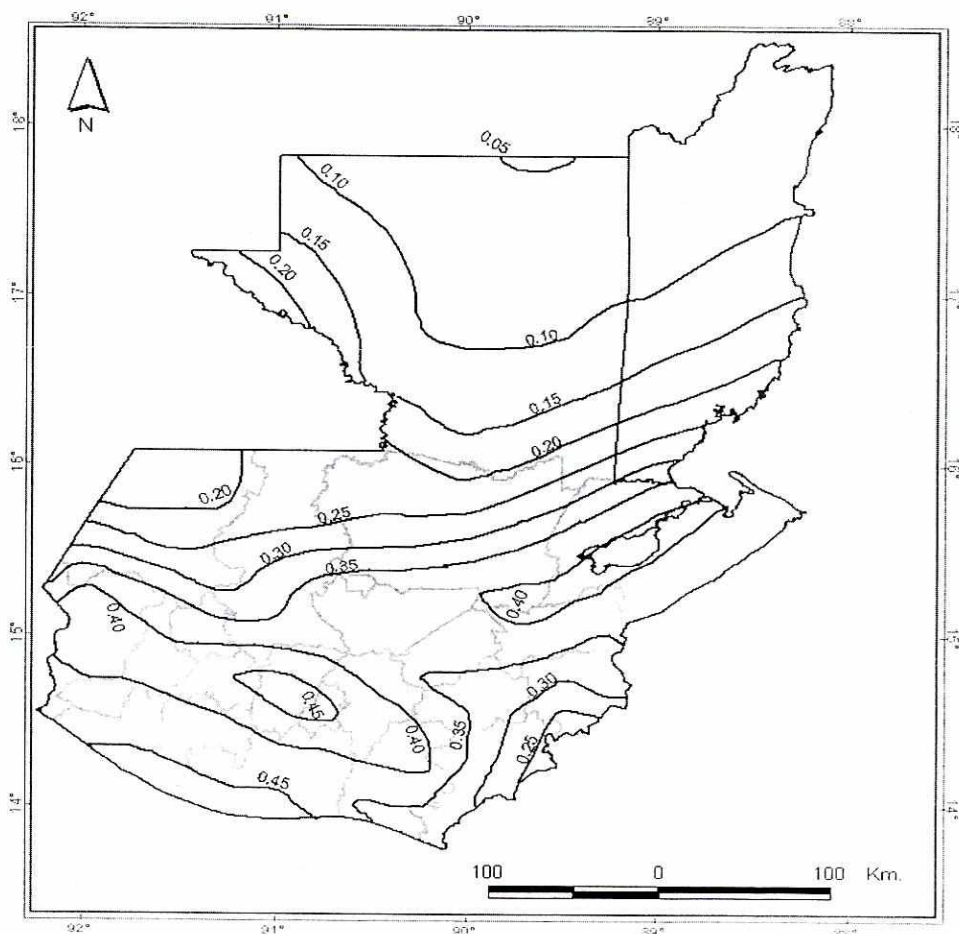
Otros focos sísmicos de importancia son las cadenas volcánicas, aunque su actividad sísmica es de menor intensidad que en la zona de subducción o transcurrencia, han generado algunos eventos muy destructivos en centros poblacionales de Guatemala, El Salvador y Nicaragua .

Como amenaza sísmica podemos definir la probabilidad de que se produzca un evento sísmico con la capacidad de hacer daño a bienes o vidas humanas. Por esto, la cuantificación de la amenaza sísmica se basa en las fuentes

sismogeneradoras que pueden afectar a la región de estudio y de la capacidad de las mismas de provocar daños.

La mejor forma de caracterizar la amenaza sísmica es mediante mapas de iso-líneas, que pueden ser de aceleración pico, intensidad, etc.

En este caso utilizaremos curvas de iso-aceleraciones con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años. De estos mapas existen varias versiones y estas varían de autor en autor. Tal metodología se seleccionó debido a que los autores le dieron un papel importante a la zona de transcurrencia, la cual debido



Curvas de Iso-aceleración;
10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

Fuente: Kiremidjian, A. S., Shah, H., Zsutty, T.
1977. Seismic Hazard Mapping for Guatemala.
Modelo Poisson



a su largo período de retorno no es tomada muy en cuenta por otros autores, y en mapas con 10% de probabilidad de excedencia en 10 años casi no toma parte, pero fue la causante de la mayor catástrofe natural en la historia del país. Aunque se pueden mencionar una gran cantidad de sismos de grandes proporciones en la historia del país, aquí se presentan los más grandes y devastadores del último siglo, entre éstos se puede mencionar el que hasta la fecha más energía ha liberado registrando una magnitud de ondas de superficie Ms de 8.3

Lista de los eventos sísmicos más importantes de los últimos 100 años.

Evento	Parámetros	Comentarios
Terremoto de 1902	Fecha 18 de abril de 1902 Hora 20:23:50. Magnitud 7.5 14.90°N 91.50°O Profundidad aprox. 60km.	Fuertes daños en Quetzaltenango y Sololá, 200 muertos. Se cree que hubo más fallecidos.
Terremoto de 1913	Fecha 8 de marzo de 1913 Hora 8:55. No hay localización exacta de epicentro.	Destruyó Cuilapa Santa Rosa. Se reportaron muchas víctimas. Poca profundidad (5 a 6.5 Km.) y magnitud
Terremotos de 1917	Del 27 de noviembre al 26 de diciembre de 1917	No se tiene mayor información. Afectó la ciudad de Guatemala y Villa Nueva. Se reportaron 250 personas fallecidas.
Terremotos de 1918	Fecha 4 de enero de 1918 Hora 4:30:10 y 4:32:25 y otro el 24 de enero a las 7:30:10	No se sabe cual fue más fuerte. Se tiene información de intensidades equivalentes a VI (MMI)
Terremoto 1942	Fecha 6 de agosto de 1942 Hora 23:36:58 Magnitud Ms 8.3 13.9°N 90.8°O Profundidad 60 Km.	Es el mayor sismo registrado en la historia del país. Se reportaron daños en todo el país. Aunque no se encontró información sobre fallecidos, por el tamaño del sismo y los daños causados, es de esperar

		un número elevado de ellos.
Terremoto de 1959	Fecha 20 de febrero de 1959 Hora 18:16:33 15.94° N 90.59° O Profundidad 48km	No se tiene registro de magnitud. El evento destructor más al norte del país. Destruyó Ixcán, El Quiché.
Terremoto de 1976	Fecha 4 de febrero de 1976 Hora 3:03:33 Magnitud Ms 7.5 15.32° N 89.10°O Profundidad 5 Km.	El peor desastre del siglo, 25,000 muertos y 75,000 heridos. Miles de millones de pérdidas materiales.
Terremoto de Uspantán 1985	Fecha 11 de octubre de 1985 Hora 3:39:17 Magnitud Ms 5.0 15.3°N 90.9°O Profundidad 5 Km.	Destruye Uspantán casi por completo. Muy superficial y local. El evento destructor con menor magnitud en el siglo.
Terremoto de Pochuta 1991	Fecha 18 de septiembre de 1991 Hora 3:48:13 Magnitud Mc 5.3 14.48°N 91.01°O Profundidad 32 Km.	Destruyó parcialmente San Miguel Pochuta, Chimaltenango. Se registraron 436 réplicas. 25 muertos, 185 heridos y 2300 viviendas destruidas.
Sismos del 10 de enero de 1998.	Desde el 10 hasta el 20 de enero.	Este fue un gran enjambre de sismos. Durante los 10 días se registraron 35 sismos con magnitudes entre 3.3 y 5.8 Mc. Afectó toda la zona sur del país No se reportaron fallecidos. 4 heridos y 520 afectadas.
Terremoto El Salvador 2001	Fecha 13 de enero de 2001. Hora 11:33 Magnitud Mw 7.6 Profundidad 60 Km.	En Guatemala afectó la zona sur-oriental del país. El departamento de Jutiapa fue el más lastimado. Se reportaron 8 personas fallecidas. 156 casa destruidas, más de 800 personas afectadas.

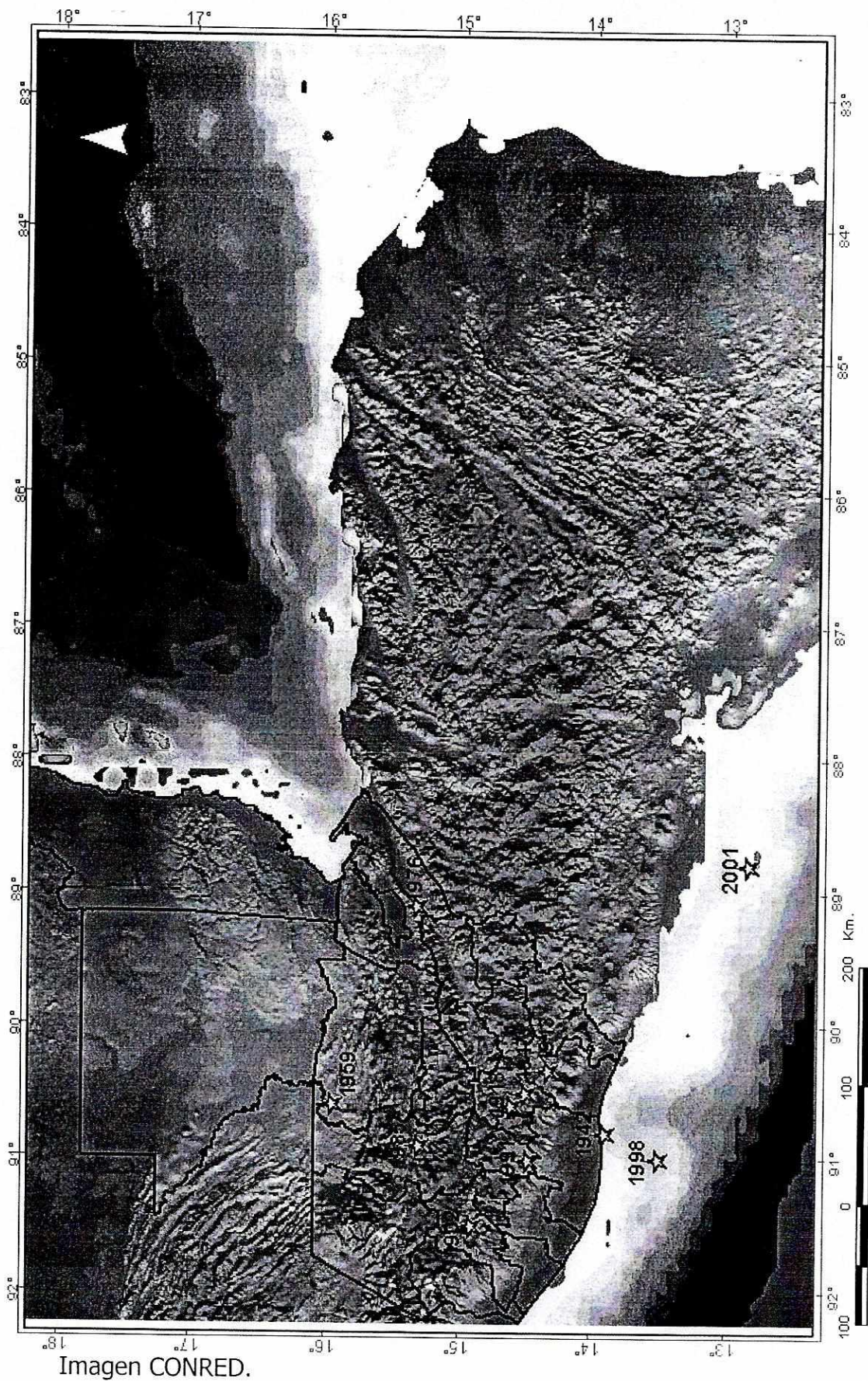


Imagen CONRED.

EPICENTROS DE SISMOS IMPORTANTES REGISTRADOS EN EL ÚLTIMO SIGLO

V. Escala de Intensidades M.M.I.

Existen dos maneras de medir un sismo, la primera se refiere a la energía liberada por el mismo, para esto utilizamos distintas escalas de magnitud; Magnitud de ondas de superficie ***Ms***, Magnitud de ondas de cuerpo ***mb***, etc.

Por otro lado un sismo puede ser medido según el daño que ha provocado o por lo sensible que este fue para la población, mediante la aplicación de escalas de intensidades como la European Macroseismic Scale (EMS) y Escala Modificada de Mercalli (MMI), esta última será la estudiada en este trabajo debido a su importancia al ser la utilizada por el INSIVUMEH, institución de vigilancia científica oficial para la República de Guatemala.

Escala de Intensidades Mercalli Modificada (MMI)

La escala de intensidades preparada por De Rossi y Forel en 1883 fue revisada y modificada por Mercalli en 1902, ampliada de 10 a 12 grados por Cancani y presentada en forma más elaborada por Sieberg en 1923. En 1931 Neumann y Wood publicaron la denominada "ESCALA MODIFICADA DE MERCALLI", denominada comúnmente como **MMI**. Se elaboraron dos versiones: una resumida para uso rápido y otra más detallada en la que se retuvieron las descripciones de la versión de 1923.

Cada grado en la escala de intensidades es caracterizado por un conjunto de observaciones sobre los efectos en las construcciones y en el medio ambiente, así como por efectos sentidos por el hombre o reacciones de animales. En fecha reciente, el nivel de correlación entre las descripciones que caracterizan cada grado de intensidad fue evaluado a partir de una muestra de 400,000 asignaciones de intensidad recabadas entre 1928 y 1974. Esto condujo al reordenamiento de las descripciones de cada grado. La tabla a continuación

presenta la escala resumida, la versión detallada se puede encontrar en el anexo A de este trabajo.

Tabla de Intensidades según Escala de Mercalli **Modificada de 1931.**

- I. No se siente. Sólo lo sienten algunas personas en situaciones muy favorables.

- II. Sentido sólo por personas que se encuentran descansando, especialmente en los pisos altos de los edificios. Objetos delicados que se encuentran suspendidos pueden moverse.

- III. Se puede sentir en interiores, especialmente en pisos superiores de edificios altos. Muchas personas no lo reconocen como un evento sísmico. Vibraciones como las que produce un camión al pasar. Se puede estimar su duración.

- IV. Durante el día es sentido por muchos en interiores y por algunos en exteriores. Si es por la noche algunas personas se despiertan. Ventanas, platos y puertas hacen ruido y se mueven. Sensación de un camión golpeando el edificio.

- V. Lo sienten casi todos, muchos son despertados si ocurre de noche. Algunos platos y ventanas se quiebran. Objetos inestables se caen. Árboles y objetos altos se ven afectados, algunos relojes de péndulo se paran.

- VI. Sentido por todos, muchos se asustan y corren a exteriores. Objetos pesados se mueven. Se dañan chimeneas. Daños generales pequeños.

- VII. Todos corren a exteriores. Algunos daños menores son visibles en edificios bien diseñados y construidos; daños de menores a moderados en edificios ordinarios bien construidos; daños considerables en

edificios construidos pobremente. Sentido por personas dentro de vehículos.

- VIII. Pequeños daños en estructuras especialmente diseñadas; considerables en edificios ordinarios con colapsos parciales y tremendos en estructuras pobremente construidas. Paredes de tabicación sacadas de los marcos de las estructuras. Fallan chimeneas y monumentos. Muebles pesados se caen. Personas dentro de automóviles se disturban.

- IX. Daños considerables en estructuras especialmente diseñadas; estructuras de marcos bien diseñadas son sacadas de la vertical; grandes daños o colapso parcial en edificaciones normales. Edificios movidos de sus cimientos. Tuberías subterráneas rotas. Rajaduras en el suelo visibles. Algunos deslizamientos y zonas de licuefacción.

- X. Algunas estructuras de madera bien construidas colapsan, la mayoría de las estructuras de marcos o mampostería son destruidos. Se doblan las vías férreas. El suelo severamente rajado. Deslizamientos y zonas de licuefacción considerables.

- XI. Algunos si es que algún edificio de mampostería se mantiene en pie; puentes destruidos; tuberías subterráneas completamente fuera de servicio; vías férreas completamente dobladas; grandes deslizamientos y zonas de licuefacción.

- XII. Destrucción total. Ondas vistas en la superficie terrestre. Topografía modificada. Objetos lanzados por los aires.

Traducido de:

Wood, Harry O. and Frank Neumann, Modified Mercalli Intensity Scale of 1931, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 21, no. 4, 283 December 1931.



Imagen CONRED

VI. El Adobe

a) El adobe como material de construcción

El adobe ha sido utilizado como material de construcción desde la época prehispánica. En la época colonial fue utilizado como el principal material de construcción en Guatemala y estructuras de este tipo pueden ser observadas en Antigua Guatemala, así como en varios sectores de la Ciudad de Guatemala. Las estructuras de adobe antiguas a diferencia de las actuales si parecen encajar en la escala de intensidades MMI debido a que cuentan con muros de gran espesor dándoles un mucho mayor momento de inercia, mejora la continuidad entre muros y genera un mejor acople en las esquinas por lo que se comportan distinto a una estructura de adobe actual y son una muestra de las construcciones de adobe europeas con las que se generó esta escala.

Con el pasar del tiempo y la llegada de otros materiales de construcción como el mampuesto de concreto liviano y el propio concreto, su uso se limitó a la vivienda popular rural.

En la actualidad el adobe es muy utilizado en el área rural del país debido a su bajo costo y facilidad para su elaboración a partir de materiales del lugar.

El adobe se elabora moldeando arcilla con agua y paja u otra fibra vegetal para luego ser secada la masa ya moldeada al aire libre (Cordova, M. 2002).

Las estructuras para viviendas se forman colocando hileras de adobes pegados con arcilla humedecida. El adobe puede ir colocando de canto, de soga o de punta para formar las paredes. Su resistencia a la compresión es del orden de 10 a 15 Kg. /cm² unas seis veces mayor que su resistencia a la tensión, su resistencia al corte como muro en conjunto depende de la adherencia y al roce seco por presión (fricción) entre sus bloques (Cordova, M. 2002).

Las resistencias anteriormente mencionadas se deterioran rápidamente con presencia de humedad por lo que es recomendable proteger la estructura contra la intemperie. Su principal propiedad dinámica es la fragilidad, esto es, su carga de fisuración es prácticamente igual a la carga de colapso o de puesta fuera de servicio (Cordova, M. 2002).

Este tipo de construcción se acostumbra entre la población de bajos recursos económicos del país. Por lo general se repella con mortero de cal. El techo más utilizado en este tipo de construcción es la teja o lámina metálica galvanizada, sobre una armadura de madera. La construcción de este tipo de vivienda es realizada en el sector informal y se realiza de forma muy precaria, sin planos, licencia, ni supervisión profesional calificada, y bajo la dirección de una persona por lo general sin estudios básicos (Cordova, M. 2002).

Este tipo de construcción muestra muchas deficiencias constructivas y de estructuración como desplomes de paredes, deformaciones excesivas de miembros estructurales, mezclas y morteros de baja resistencia, poco control de calidad en los materiales de construcción así como muros muy largos sin refuerzo transversal para formar una estructura de cajón, deficientes uniones en las esquinas y falta total de continuidad entre muros.

Es importante hacer notar que debido a que el adobe se fabrica a partir de materiales propios del lugar de la edificación, este puede variar en calidad y resistencia de un lugar a otro.

b) Su vulnerabilidad ante la amenaza sísmica

Durante sismos recientes en Guatemala se han encontrado varios tipos de falla en estructuras hechas de adobe. Se ha comprobado su comportamiento deficiente ante eventos sísmicos ya sea por errores de estructuración o deficiencias propias del material. A continuación se describen algunos daños típicos que se manifiestan en este tipo de estructuras durante un sismo fuerte.

- Fisuras en el centro y las uniones de las paredes o muros portantes, debido a la acción de fuerzas sísmicas actuando en forma perpendicular al plano de la pared, las mismas que generan tracciones por flexión en el centro y tienden a empujar los muros separándolos en las uniones.

- A causa de las mismas fuerzas sísmicas actuando en forma perpendicular al muro, suelen aparecer fisuras en el triángulo superior que conforma el tímpano o culata, utilizado para formar los techos a dos aguas, donde la viga de la cumbrera produce empujes importantes sobre la pared, provocando usualmente su destrucción o grandes boquetes.

- Las fuerzas laterales actuando en el mismo plano de la pared producen esfuerzos cortantes que generan tensión diagonal, provocando fisuras. En los sitios donde existen aberturas, por la presencia de puertas y ventanas, las fisuras se inician a 45° desde las esquinas y se propagan en forma curva hacia arriba. Cuando las fuerzas sísmicas son mayores, aparecen las grietas a 45° en ambas direcciones, dejando la bien conocida "X" o marca del sismo.

El proceso de agrietamiento arriba descrito resulta muy peligroso puesto que impide el trabajo integrado de los muros, quedando los elementos estructurales sueltos, sin arriostramiento, permitiendo un trabajo aislado de cada uno de ellos, por lo que al continuar el movimiento sísmico, éstos tienden a su destrucción total o parcial.

Usualmente las casas de adobe existentes no cuentan con la denominada viga solera, la misma que permite integrar los muros para su trabajo de conjunto y limitar el crecimiento de las potenciales grietas. Lo anterior nos ilustra lo vulnerable que es una estructura de adobe tradicional ante los efectos de un sismo.

VII. Propuesta de modificación de la escala de Intensidades MMI para Guatemala.

Después del terremoto de El Salvador en febrero de 2001, se realizaron varias expediciones para la evaluación de daños registrados en el Departamento de Jutiapa, colindante con la República de El Salvador donde se reportaron varias viviendas dañadas.

Las evaluaciones duraron varios días y se pudo apreciar un comportamiento bastante interesante y recurrente; la gran mayoría de las viviendas con daños severos o moderados era de adobe, mientras las viviendas de mampostería reforzada o confinada no presentaron ningún daño. Esto contraviene el daño esperado según la correlación descrita por la escala de intensidades de Mercalli (MMI).

Se encontró que en la ciudad de Jutiapa, cabecera departamental, donde la mayoría de viviendas están construidas de mampostería sin diseño especial sismorresistente, los daños fueron mínimos y las únicas edificaciones que presentaron daño fueron aquellas de adobe. Esto sugiere que en este sitio la intensidad del terremoto se puede catalogar bajo grado VI, si se estima dicha intensidad con base a las estructuras de mampostería reforzada, pero grado VII

y hasta VIII si se estima con base en los daños encontrados en estructuras de adobe.

En contraste, a pocos kilómetros de la cabecera departamental en la población llamada La Esmeralda, cuya tipología constructiva se basa en viviendas de adobe se encontraron grandes daños, varias de las viviendas de adobe tuvieron que ser evacuadas y algunas se encontraban parcialmente destruidas mientras las pocas edificaciones de mampostería reforzada o confinada no presentaron daños visibles. Esto sugiere que en este sitio la intensidad del terremoto se puede catalogar bajo grado VIII si se toman como base los daños en estructuras de adobe, pero grado V si se estima con base a las estructuras de mampostería reforzada.

Cabe mencionar que La Esperanza se encuentra prácticamente a la misma distancia del epicentro del sismo que la propia cabecera departamental y a simple vista no parece encontrarse ninguna razón para pensar en una amplificación debida a efectos de sitio como para justificar la intensidad observada.

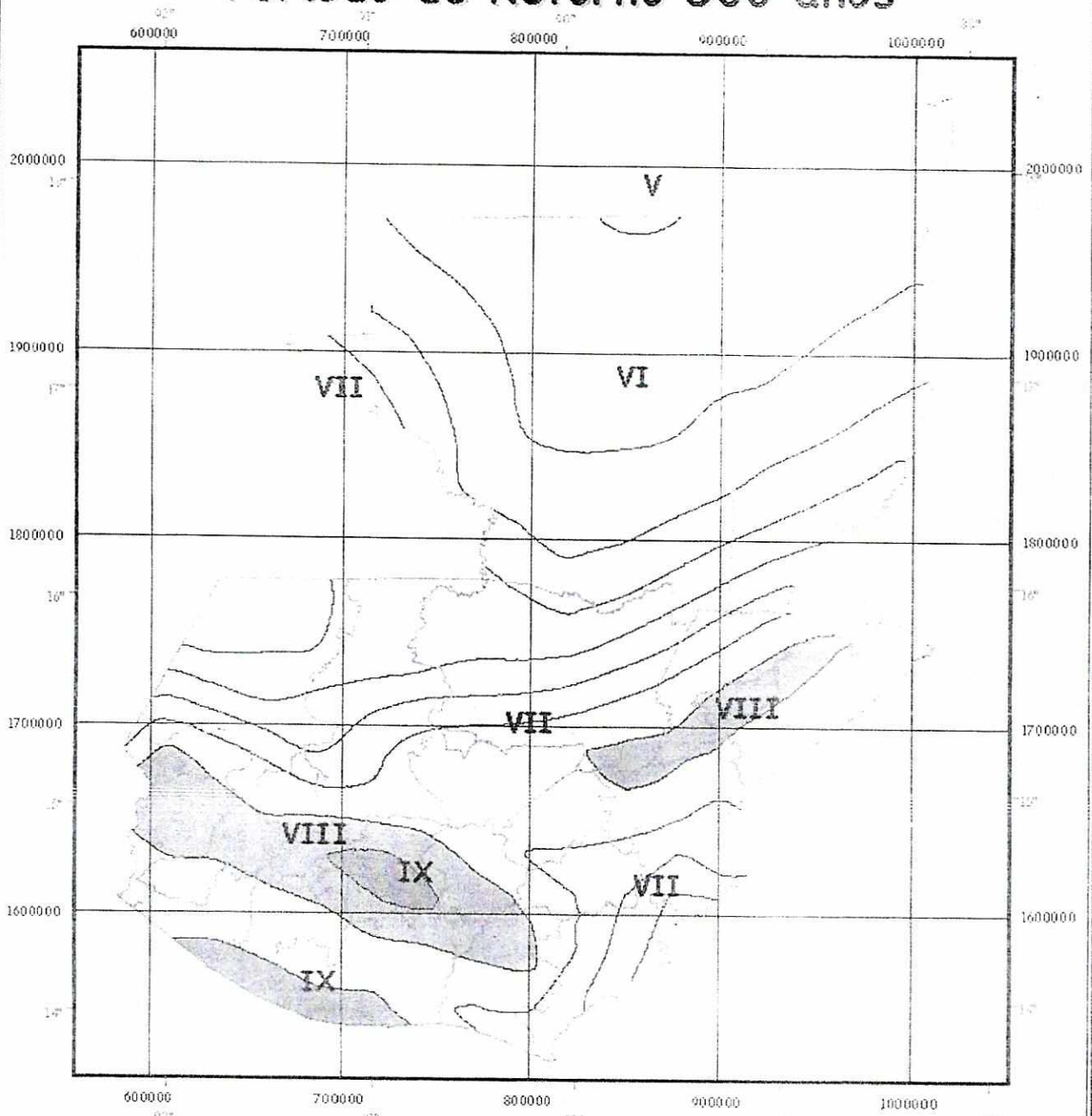
Lo anterior nos lleva a pensar que si se aplica la escala de acuerdo a los criterios europeos establecidos en la MMI, los valores de intensidad difieren ampliamente cuando se evalúan para el caso de vivienda de adobe y el caso de vivienda de mampostería (si se toma el adobe como una estructura pobremente construida, como lo describe la escala).

Para proponer una explicación a esta divergencia, se debe tomar en cuenta que este tipo de escalas se basan en datos y estudios estadísticos, la mayoría con datos provenientes de Europa, por lo que es posible que la realidad constructiva del país en lo que al adobe se refiere no se acopla de manera satisfactoria a la MMI.

En el presente trabajo se propone agregar como parámetro de evaluación las edificaciones de adobe de una manera explícita, dejando los demás parámetros de evaluación intactos (comportamiento de animales, humanos, estremecimiento de utensilios caseros etc.). No se pretende modificar la escala MMI en lo que a la asignación de grados se refiere, debido a que se debería reanalizar todos los sismos y catalogarlos bajo una misma escala. Únicamente se trata de ajustar el comportamiento de las construcciones de adobe a una escala ya establecida.

Esta propuesta se basa no sólo en el hecho, que pareciera que el adobe se comporta de una manera que no se acopla a la escala sino también debido a que en el país la mayoría de viviendas en el área rural están construidas con este tipo de material y ha quedado demostrado su alta vulnerabilidad ante la amenaza sísmica, por lo que pueden ser significativas las modificaciones que se realicen especialmente si se toma la escala de intensidades como un parámetro por parte de las instituciones de emergencia y socorro para la toma de decisiones y la distribución de recursos.

Intensidades Esperadas M.M.I. Período de Retorno 500 años



60 0 60 120 Kilómetros

Escala Grafica: 1:3,000,000

Fuente: Perez A. Basado en Kiremidjian A. S.
et. al. 1977

elaborado por: Mario Rodriguez
Alberto Perez

Imagen CONRED

Tabla de Intensidades Propuesta para Guatemala MMI-PV.

Esta escala de intensidades macrosísmicas es una modificación de la escala MMI y se basa en las evaluaciones realizadas en Jutiapa y La Esmeralda, mencionadas anteriormente, luego se utilizará en la caracterización de intensidades en la aldea La Perla para el mismo evento y el municipio de Pochuta en el departamento de Chimaltenango para un evento local de 1991.

- I. No se siente. Sólo lo sienten algunas personas en situaciones muy favorables.
- II. Sentido sólo por personas que se encuentran descansando, especialmente en los pisos altos de los edificios. Objetos delicados que se encuentran suspendidos pueden moverse.
- III. Se puede sentir en interiores, especialmente en pisos superiores de edificios altos. Muchas personas no lo reconocen como un evento sísmico. Vibraciones como las que produce un camión al pasar. Se puede estimar su duración. **Algunas viviendas de adobe presentan pequeñas grietas.**
- IV. Durante el día es sentido por muchos en interiores y por algunos en exteriores. Si es por la noche algunas personas se despiertan. Ventanas, platos y puertas hacen ruido y se mueven. Sensación de un camión golpeando el edificio. **La mayoría de las viviendas de adobe presentan pequeños daños, algunas grietas en las esquinas y pequeñas rajaduras diagonales en los muros.**
- V. Lo sienten casi todos, muchos son despertados si ocurre de noche. Algunos platos y ventanas se quiebran. Objetos inestables se caen. Árboles y objetos altos se ven afectados, algunos relojes de péndulo se paran. **Daños moderados en viviendas de adobe, dislocación de esquinas grietas en forma de equis en los muros, grietas moderadas en dinteles de puertas y ventanas. Daños serios o destrucción parcial en tímpanos o culatas.**
- VI. Sentido por todos, muchos se asustan y corren a exteriores. Objetos pesados se mueven. Se dañan chimeneas. Daños generales pequeños. **Algunas viviendas de adobe destruidas, daños generales en viviendas de adobe severos, dinteles fallados en ventanas y**

puertas, esquinas totalmente desacopladas. Culatas o tímpanos destruidos.

- VII.** Todos corren a exteriores. Algunos daños menores son visibles en edificios bien diseñados y contruidos; daños de menores a moderados en edificios ordinarios bien contruidos; daños considerables en edificios contruidos pobremente. Sentido por personas dentro de vehículos. **Viviendas de adobe desplomadas totalmente o presentando daños muy severos.**
- VIII.** Pequeños daños en estructuras especialmente diseñadas; considerables en edificios ordinarios con colapsos parciales y tremendos en estructuras pobremente contruidas. Paredes de tabicación sacadas de los marcos de las estructuras. Fallan chimeneas y monumentos. Muebles pesados se caen. Persones dentro de automóviles se disturban. **Casi ninguna casa de adobe sigue en pie.**
- IX. Daños considerables en estructuras especialmente diseñadas; estructuras de marcos bien diseñadas son sacadas de la vertical; grandes daños o colapso parcial en edificaciones normales. Edificios movidos de sus cimientos. Tuberías subterráneas rotas. Rajaduras en el suelo visibles. Algunos deslizamientos y zonas de licuefacción.
- X. Algunas estructuras de madera bien contruidas colapsan, la mayoría de las estructuras de marcos o mampostería son destruidos. Se doblan las vías férreas. El suelo severamente rajado. Deslizamientos y zonas de licuefacción considerables.
- XI. Algunos si es que algún edificio de mampostería se mantiene en pie; puentes destruidos; tuberías subterráneas completamente fuera de servicio; vías férreas completamente dobladas; grandes deslizamientos y zonas de licuefacción.
- XII. Destrucción total. Ondas vistas en la superficie terrestre. Topografía modificada. Objetos lanzados por los aires.

VIII. Intensidades registradas en Guatemala para algunos eventos sísmicos.

Para validar la escala propuesta se utilizará en la estimación de intensidad en otra población cercana a La Esmeralda durante el terremoto de El Salvador de 2001 y en Pochuta Chimaltenango para el sismo de 1991.

El criterio para la elección de los sismos de estudio y las poblaciones afectadas se basó en tres parámetros principales:

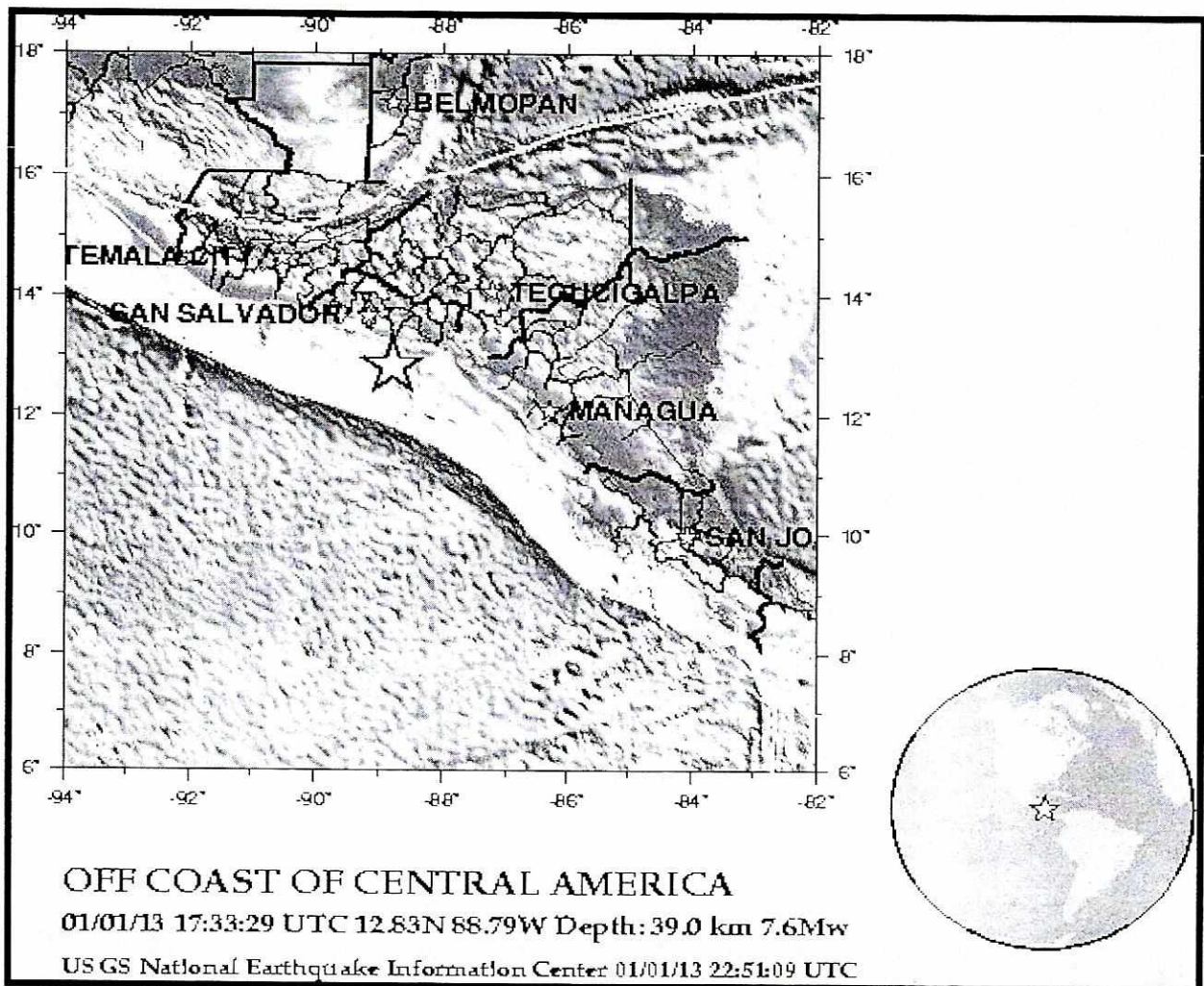
1. Que fueran de fecha reciente, por lo menos después del terremoto de 1976. Esto debido a que a partir de este evento lo más probable es que las prácticas de construcción cambiaron, por lo que se puede dividir las estructuras en pre y posterremoto.
2. Que registraran daños relevantes en estructuras de adobe. Debido a que la escala propuesta se basa en los daños registrados en viviendas de adobe
3. Que exista suficiente información confiable sobre los mismos. Ya que la mayoría de la información existente es de periódicos, los cuales hasta la fecha no cuentan con personal capacitado para poder dar opinión técnica en este tema.

Se utilizaron estas poblaciones con sus respectivos sismos debido a que en la investigación únicamente se pudo encontrar información suficiente y confiable para estos dos sismos.

a) La Perla, Jutiapa

La Perla, del municipio de Yupiltepeque, del departamento de Jutiapa fue elegida para la validación de la Escala Modificada de Mercalli PV (MMI-PV) debido a su tamaño , la cantidad de información recabada en el lugar, lo afectado de la zona y la cercanía con nuestros puntos de referencia: la ciudad de Jutiapa y la aldea La Esmeralda

El terremoto de El Salvador del 13 de Enero de 2001 trajo consigo gran destrucción en el vecino país y llegó a afectar parte del oriente de Guatemala. El sismo tuvo una magnitud de 7.6Mw, una profundidad de 60 kilómetros y se localizó en la latitud 12.83 Norte y longitud 88.79 Oeste.



El casco urbano de la aldea La Perla se localiza sobre una pequeña ladera de no más 15% de inclinación en los lugares más quebrados, cuenta con aproximadamente 100 viviendas de las cuales el 95% son de adobe; de estas aproximadamente el 90% contaba con techo de teja, 8% techo de lámina de zinc, y el 2% techo de paja.

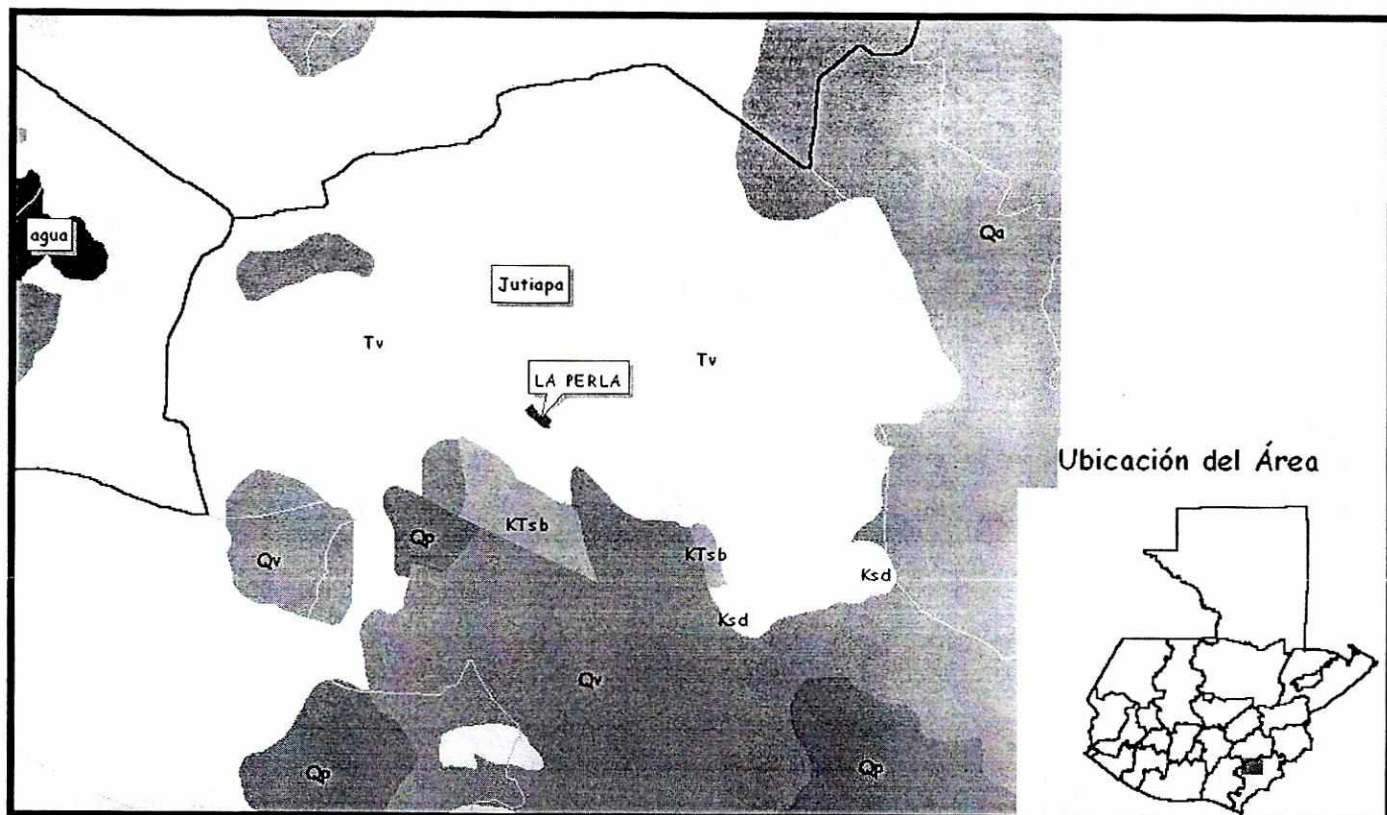


Imagen CONRED

Los daños registrados en la aldea proponen un patrón bien definido, donde las viviendas de adobe presentaron rajaduras severas especialmente en las esquinas, efecto p-delta y destrucción total, mientras las pocas viviendas de mampostería confinada (bloque de concreto liviano confinado en marcos de concreto reforzado) no presentaron en su gran mayoría daño aparente.

A partir de los daños observados y los relatos de los habitantes recabados en tres evaluaciones hechas por CONRED entre los meses de enero y marzo del 2001, se trata de hacer una primera aproximación de la intensidad registrada en

esta área, la cual puede encontrarse entre los VI y VIII grados MMI, como se puede observar en la tabla siguiente, siguiendo los parámetros expuesto en la tabla #2.

EVALUACIÓN	VIVIENDAS EVALUADAS	DAÑO EN VIVIENDAS		
		SEVERO	MODERADO	LEVE
14 DE ENERO DE 2001	92	50	20	22
2 DE FEBRERO DE 2001	83	63	19	1
5 DE MARZO DE 2001	22	0	4	18

Tabla #1

Debido a que la segunda evaluación se realizó luego de varios días en los que se registraron varias réplicas con magnitudes entre los 3 y 5 grados Mw y que la tercera se realizó luego del terremoto del 13 de febrero con magnitud 6.0 Mw, lo que no nos deja claro saber cuántas de estas viviendas fueron revaluadas o pasaron de tener daños leves a moderados o de moderados a severos, estas evaluaciones no se tomarán en cuenta para este trabajo y se utilizará únicamente la evaluación del 14 de enero, tomando las otras dos sólo como una referencia.

La evaluación del 14 de enero del 2001 arrojó los siguientes resultados.



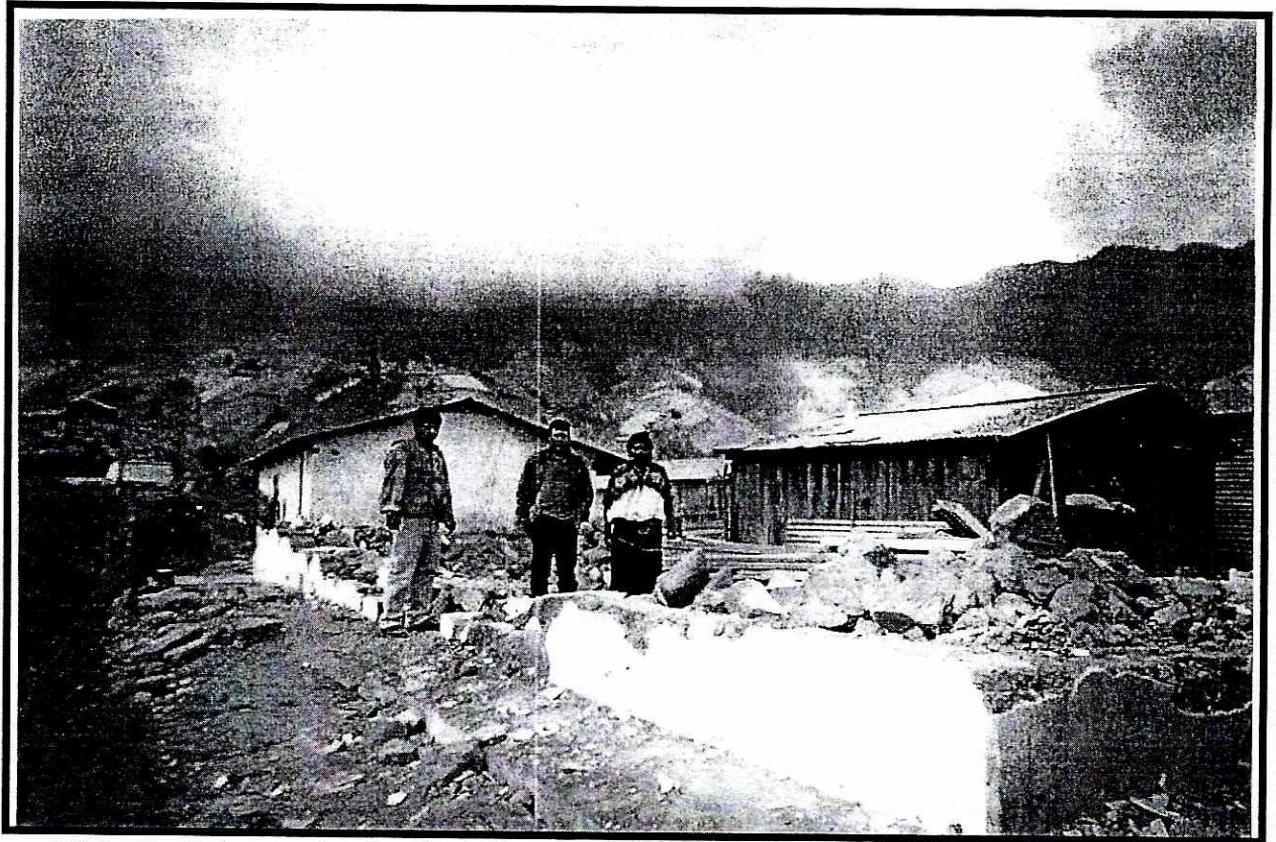
Para este rango de Intensidades la siguiente tabla nos puede dar una idea de los daños esperados

Tipo de Construcción	Daño máximo probable en porcentaje (%)			
	VI	VII	VIII	IX
Moderna considerando carga de sismo	0	1	5	20
Moderna sin considerar carga de sismo	0	5	20	50
Mampostería confinada	1	10	40	80
Adobe	5	20	70	100

Tabla #2

Los criterios para establecer la intensidad según la Escala de Mercalli Modificada no se pueden correlacionar con el patrón de daño debido a que se encontró bastante destrucción en viviendas construidas con adobe mientras que las pocas de mampostería confinada registraron daño muy leve o ninguno, lo cual no se acopla a lo descrito por la escala MMI, como se puede observar en las descripciones de intensidades siguientes:

- VI. Sentido por todos, muchos se asustan y corren a exteriores. Objetos pesados se mueven. Se dañan chimeneas. Daños generales pequeños.
- VII. Todos corren a exteriores. Algunos daños menores son visibles en edificios bien diseñados y construidos; daños de menores a moderados en edificios ordinarios bien construidos; daños considerables en edificios construidos pobremente. Sentido por personas dentro de vehículos.



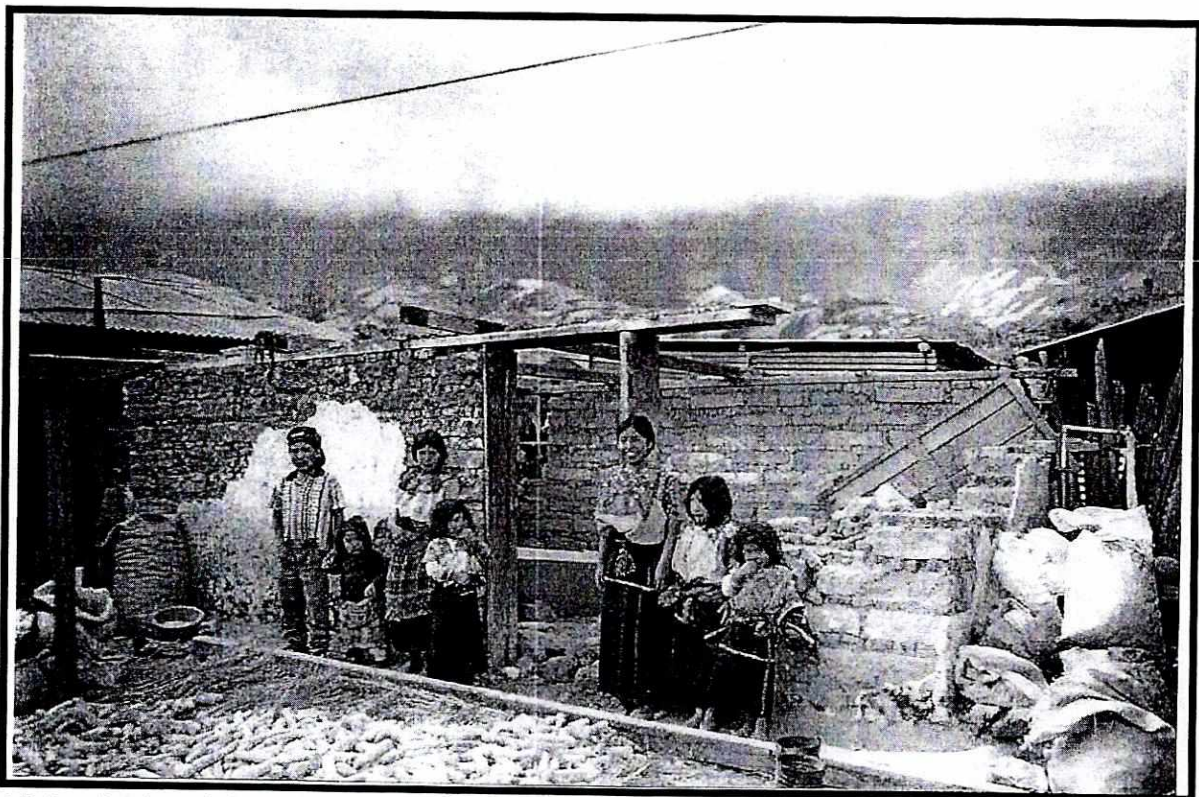
Vivienda Totalmente desplomadas, Jutiapa, 2001. (Foto CONRED).

VIII. Pequeños daños en estructuras especialmente diseñadas; considerables en edificios ordinarios con destrucción parcial y tremendos en estructuras pobremente construidas. Paredes de tabicación sacadas de los marcos de las estructuras. Fallan chimeneas y monumentos. Muebles pesados se caen. Personas dentro de automóviles se disturban.

Analizando lo anterior podemos decir que la intensidad estimada tomando como referencia las estructuras de mampostería reforzada o confinada ronda la intensidad VI, mientras para viviendas de adobe la intensidad puede llegar a VIII. Esto deja una diferencia de dos grados.

Para verificar la intensidad registrada en el área, calcularemos por medio de métodos teóricos aproximados la aceleración pico del suelo que pudo afectar la aldea y aplicaremos una amplificación de sitio dada para un suelo S2 de 2.25 (Según la norma recomendada por la Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales y Sísmicos) y con esto hacer una estimación de la intensidad.

Para estos cálculos utilizamos tres funciones de atenuación, Esteva. 1970, Donovan. 1973 y Climent. 1994, seleccionando a esta última como la más precisa para este caso. Esto se vio respaldado por el hecho que la función de Climent fue realizada con datos de la zona de subducción de Centroamérica y México por lo que se puede decir es la más apegada a la realidad



Vivienda de adobe totalmente colapsada, Jutiapa, 2001 (foto CONRED).

Información del sismo dada por USGS.

Magnitud del sismo = 7.6 Mw

Distancia epicentral = 203 Km.

Profundidad = 60 Km.

Distancia hipocentral dada por:

$$R = \sqrt{\text{dist.epi}^2 + \text{profundidad}^2}$$

De donde tenemos que $R = 211$ Km.

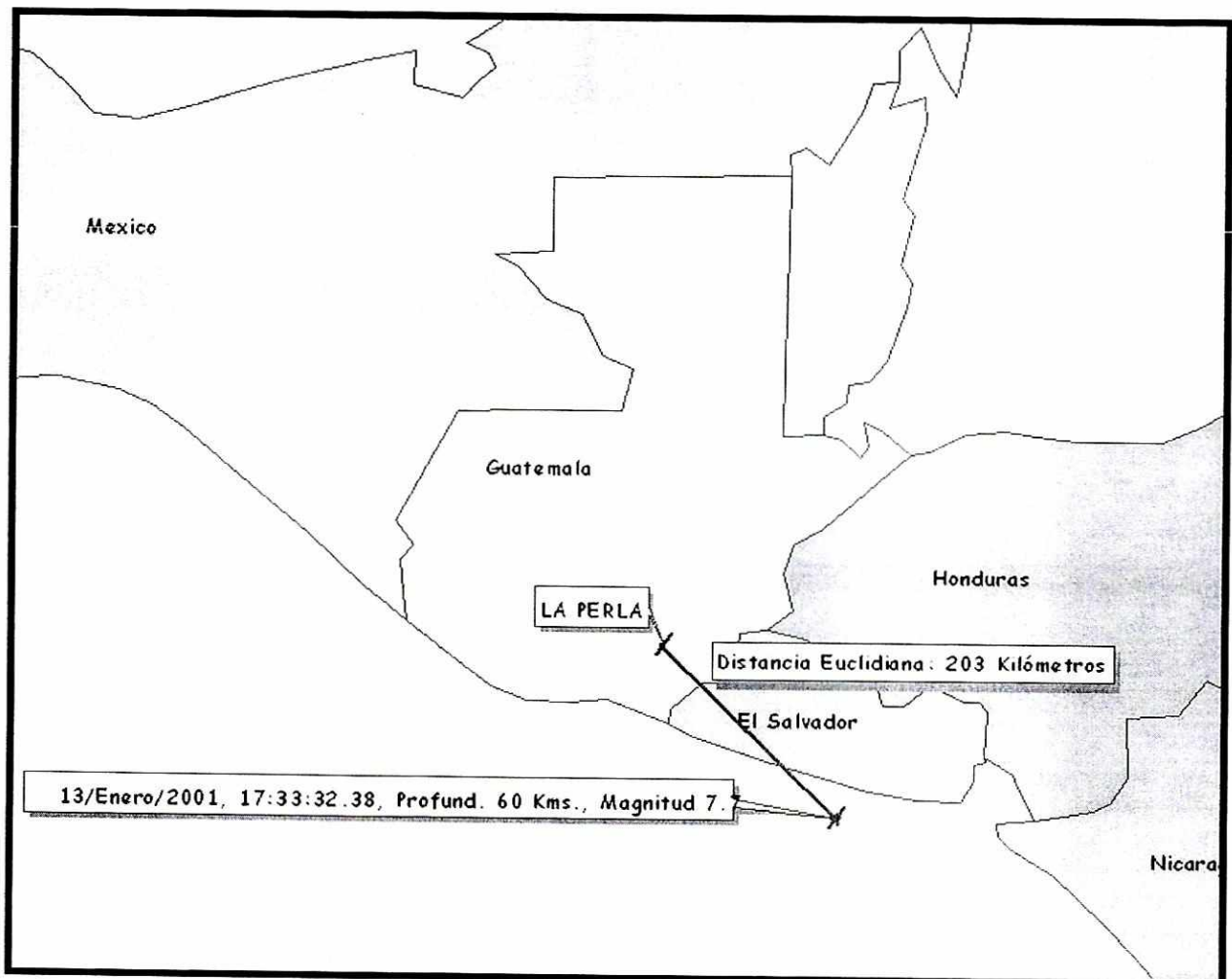


Imagen CONRED.

Tomando estos datos calculamos la función de atenuación, para lo cual utilizaremos tres opciones; Esteva (1970), Donovan (1973) y Climent (1994). Se utilizaron estas tres funciones de atenuación debido a que se acoplan de buena manera al evento a evaluar.

Esteva (1970)

$$A_g = \frac{1230e^{0.8M}}{(R + 25)^2}$$

Donde la aceleración pico del suelo A_g está dada en gals. (Cm. /seg²)

A partir de esto encontramos una aceleración pico del suelo de 15.5 gals. Lo que es equivalente a $0.016 \text{ g} \times 2.25 = 0.036\text{g}$.

Donovan (1973)

$$A_g = \frac{1320e^{0.58M}}{(R + 25)^{1.52}}$$

De donde tenemos una aceleración de $0.038 \text{ g} \times 2.25 = 0.0855\text{g}$.

Climent (1994)

$$\ln PGA = -1.687 + 0.533M - 0.537 \ln(R) - 0.00302R + 0.327S \pm \ln \xi$$

De aquí tenemos para roca $0.037\text{g} \times 2.25 = 0.083 \text{ g}$

Con la aceleración pico del suelo, podemos hacer una aproximación de la intensidad esperada en el lugar utilizando un método aproximado de relación aceleración pico del suelo – intensidad MMI. En este caso la relación de McCann y Shah, la cual fue elegida debido a su forma exponencial que hasta donde se sabe es la que mejor se acopla a la realidad donde:

$$\text{Log}Ag = -0.024I^2 + 0.595I + 0.68$$

McCann-Shah (1979)

Esta relación aceleración pico del suelo-Intensidad nos lleva a la tabla siguiente:

P.G.A	M.M.I
0.03g-0.08g	V
0.08g-0.15g	VI
0.15g-0.25g	VII
0.25g-0.45g	VIII
0.45g-0.60g	IX
0.60g-0.80g	X
0.80g-0.90g	XI
0.90g +	XII

P.G.A (Aceleración Pico del Suelo en g)

M.M.I (Escala Modificada de Mercalli)

Aplicando la tabla encontramos que las intensidades esperadas para esta zona deben de estar entre **V** para Esteva (1970) y **VI** para Donovan (1973) y Climent (1994) lo que no representa el daño encontrado en el lugar, si utilizamos la escala MMI. Sin embargo, estas intensidades se ajustan al utilizar MMI-PV, como se puede observar a continuación

- V. Lo sienten casi todos, muchos son despertados si ocurre de noche. Algunos platos y ventanas se quiebran. Objetos inestables se caen. Árboles y objetos altos se ven afectados, algunos relojes de péndulo se paran. **Daños moderados en viviendas de adobe, dislocación de esquinas grietas en forma de equis en los muros, grietas moderadas en dinteles de puertas y ventanas. Daños serios o destrucción parcial en tímpanos o culatas.**
- VI. Sentido por todos, muchos se asustan y corren a exteriores. Objetos pesados se mueven. Se dañan chimeneas. Daños generales pequeños. **Algunas viviendas de adobe desplomadas, daños generales en viviendas de adobe severos, dinteles fallados en ventanas y puertas, esquinas totalmente desacopladas. Tímpanos o culatas destruidas.**

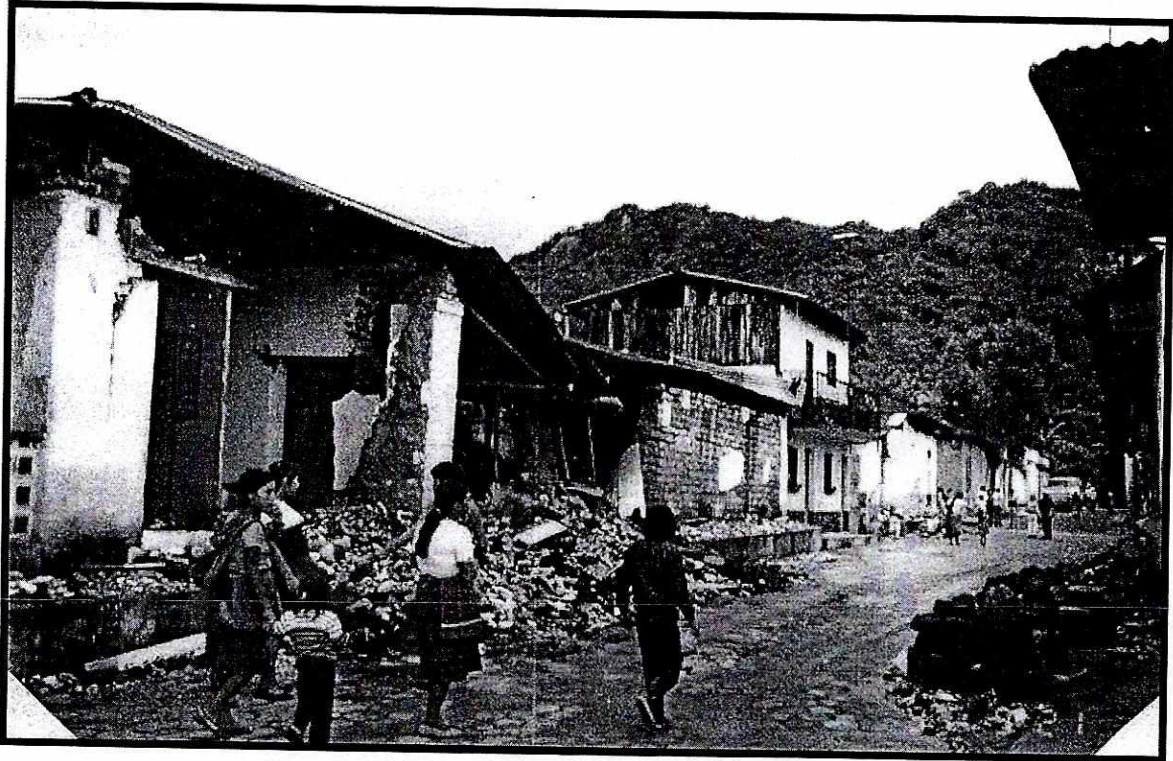
b) Pochuta, Chimaltenango

El evento se registró en 18 de Septiembre de 1991 a las 9:48 horas GMT. Fue un evento superficial local de 5.3 grados en la escala de Richter en la región Sur-Oeste de Chimaltenango, el cual causó destrozos en por lo menos el 80% de la ciudad de Pochuta, registrándose una intensidad máxima de VII MMI (Matus,M. Arce,A. 1991). La profundidad del sismo es difícil de definir, pero se estima que fue bastante superficial con una profundidad máxima de 15 Km. (Villagrán,M. et.al. 1997).

Posteriormente al evento principal se desarrolló un enjambre sísmico que en las primeras 24 horas registró por lo menos 436 réplicas que oscilaron entre 0.6 y 4.0 grados en la escala de Richter (Matus,M. Arce,A. 1991).

Pocos días después de registrarse el evento se realizó una evaluación de daños con el apoyo de la Universidad del Valle de Guatemala, esta evaluación fue llevada a cabo por profesionales especialistas en el campo de reconocido prestigio en el país por lo que la información es de primera calidad y de gran confiabilidad.

De las notas y fotografías de este reporte y otros realizados por el INSIVUMEH, se planteará la situación encontrada en el sitio y se comparará con el cálculo teórico-matemático de la intensidad y las dos escalas de intensidades la MMI y MMI-PV.



Daños en Pochuta, 1991 (Foto M. Matus)

Descripción de daños.

"El saldo final fue de 25 personas muertas, 185 con heridas de consideración y 2300 viviendas destruidas aproximada (Dato obtenido del informe del Comité Nacional de Emergencia – CONE-) (Matus,M. Arce,A. 1991).

"Debe en consideración que en su mayor parte los destrozos fueron ocasionados debido a la mala construcción de las viviendas del lugar (en su mayoría construcciones de adobe)..... (Matus,M. Arce,A. 1991).

"Casas de Block con columnas de concreto, soleras, sillares y dinteles de concreto. Techo lámina de zinc, tendales de madera. Daños: **Ninguno**" (Matus,M. Arce,A. 1991).

"Edificios escolares de block con columnas, soleras y vigas no presentan daño aparente"(Matus,M. Arce,A. 1991).

"Oficinas de mampostería reforzada y bodegas de dos aguas de marcos de acero no presentan daños"(Matus,M. Arce,A. 1991).



Casa de adobe colapsada totalmente, Pochuta, 1991 (Foto M. Matus)

"Paredes de adobe con repellos gruesos (aproximadamente de 3 a 4 cm.) Techo de madera y lámina de zinc a 2 aguas. Se cayó una de las paredes. (Notar que el techo se está apoyando por la puerta de madera)"(Matus,M. Arce,A. 1991).

"Mercado municipal: Estructuras en concreto reforzado de dos niveles a base de marcos rígidos. Está a la izquierda de la iglesia y frente del parque. No presenta grietas que puedan atribuirse al sismo" Entrepiso y losa de concreto." (Matus,M. Arce,A. 1991).

Mercado Municipal San Miguel Pochuta, 1991 (Foto M. Matus)



"Casas de adobe con algunas paredes caídas, mientras que puertas permanecen de pié....."(Matus,M. Arce,A. 1991).



Notar que vivienda de mampostería no tiene daño, mientras hay viviendas de adobe colapsadas Pochuta, 1991 (Foto M. Matus).

"Algunas casas de adobe sufrieron colapso total....."(Matus,M. Arce,A. 1991).



Vivienda de adobe colapsó totalmente, Pochuta, 1991 (Foto M.Matus).

".....Una muestra de que las casas de block a ladrillo reforzadas con columnas y soleras de concreto se comportan estructuralmente bien. En la fotografía siguiente tenemos un a casa de dos niveles que no muestran la menor grieta debido a la acción del sismo."(Matus,M. Arce,A. 1991).



*Casa de dos niveles de mampostería reforzada sin daño alguno, Pochuta, 1991
(Foto, M. Matus)*

“Casas de ladrillo o block sin reforzar, techo de tejas. Los ladrillos estaban puestos de canto, aumentando la esbeltez de los muros y reduciendo el área disponible del muro para poder resistir los esfuerzos inducidos por el sismo. Los daños a los techos eran menores. El daño mayor estaba concentrado en las paredes”. (Matus, M. Arce, A. 1991).

Basados en los daños registrados en Pochuta, Chimaltenango, principalmente en las viviendas construidas de adobe podemos estimar la intensidad y localizarla entre VII y VIII usando la escala MMI, aunque la intensidad dada oficialmente fue de VII MMI, se encontró destrucción total y daños severos en varias viviendas de adobe, lo cual encaja de la siguiente forma en la tabla de intensidades MMI.

- VII. Todos corren a exteriores. Algunos daños menores son visibles en edificios bien diseñados y construidos; daños de menores a moderados en edificios ordinarios bien construidos; daños considerables en edificios construidos pobremente. Sentido por personas dentro de vehículos.
- VIII. Pequeños daños en estructuras especialmente diseñadas; considerables en edificios ordinarios con destrucción parcial y tremendos en estructuras pobremente construidas. Paredes de tabicación sacadas de los marcos de las estructuras. Fallan chimeneas y monumentos. Muebles pesados se caen. Personas dentro de automóviles se disturban.

Sin embargo es interesante hacer notar que en varias viviendas de mampostería reforzada no se encontraron daños y para una intensidad de VII esperaríamos daños moderados en este tipo de construcción.

Teniendo conocimiento de la magnitud del sismo y su localización, se puede estimar una intensidad de forma teórica, mediante ecuaciones aproximadas. Estas ecuaciones están basadas en la teoría de Intensidad Mercalli Epicentral I_0 , la cual funciona únicamente para sismos superficiales y muy cercanos a la población de estudio ya que no toma en cuenta la variable distancia. Es muy útil para deducir magnitudes a partir de datos históricos de intensidad.

Se utilizarán dos ecuaciones para hacer los cálculos correspondientes:

Gutenberg y Richter

$$Ml - Ms = 1 + \frac{2}{3} I_0$$

Donde

I_0 es la intensidad epicentral

M_s magnitud de ondas de superficie.

M_l magnitud local.

Bolinger

$$M_l - M_s = 2.1 + \frac{1}{2} I_0$$

Donde

I_0 es la intensidad epicentral

M_s magnitud de ondas de superficie.

M_l magnitud local.

Utilizando estas ecuaciones podemos llegar a decir que la intensidad esperada para este sismo se encuentra en VI MMI para ambas ecuaciones, lo cual se ajusta bastante bien a lo que describe la escala propuesta MMI-PV.

- VI.** Sentido por todos, muchos se asustan y corren a exteriores. Objetos pesados se mueven. Se dañan chimeneas. Daños generales pequeños. **Algunas viviendas de adobe destruidas, daños generales en viviendas de adobe considerables, dinteles fallados en ventanas y puertas, esquinas totalmente desacopladas. Culatas o tímpanos destruidos.**

IX. Resultados

Está claro el hecho de que aún falta mucho por investigar y muchos de los resultados y conclusiones de este trabajo están basados en cálculos aproximados donde existen varias incertidumbres las cuales fueron asumidas.

Es muy importante mencionar que no se incluyeron otros eventos y localidades debido a lo difícil que es encontrar la información de la calidad necesaria.

En ningún momento se pretende que esta tesis sea concluyente, más bien se espera que sea el principio de una línea de trabajo de investigación que nos lleve a una mejor aproximación del comportamiento estructural de la vivienda popular ante sismos y con esto a una mejor estimación de nuestra vulnerabilidad.

Tomando en cuenta lo anterior se presentan los siguientes resultados:

- ❖ Según lo observado en estos dos casos de investigación la escala de intensidades MMI pierde la correlación entre las estructuras de adobe y las de mampostería reforzada.
- ❖ En el caso de la aldea La Perla la diferencia entre las dos tipologías constructivas es de dos grados de intensidad en la MMI, lo cual es una diferencia sustancial.
- ❖ En el caso de Pochuta la diferencia es únicamente de un grado de intensidad MMI al establecido como oficial, pero debe quedar claro que esta estimación de intensidad tampoco se acopla con los daños encontrados en las estructuras de adobe, los cuales parecen estar un

grado más arriba de lo establecido oficialmente, dejando nuevamente una diferencia de dos grados de intensidad MMI.

- ❖ En ambos casos la escala de intensidad MMI-PV propuesta se acopla de mejor manera al desempeño de las estructuras de adobe así como a las de mampostería reforzada que la tradicional MMI utilizada hasta la fecha.

X. Conclusiones

- a. La escala de intensidades MMI actualmente utilizada por INSIVUMEH no guarda la correlación necesaria para con las estructuras de adobe, en los dos casos presentados en este trabajo, por lo que es necesario modificarla para que acople de mejor manera a la realidad constructiva del país.
- b. Para los casos de estudio en este trabajo queda comprobado la alta vulnerabilidad de las viviendas de adobe ante sismos y su gran desventaja ante otros tipos de sistemas constructivos, por lo que se debe buscar otras alternativas constructivas para vivienda popular en el país o bien metodologías para el reforzamiento de las ya existentes.
- c. En los casos presentados en este trabajo, la escala de intensidades macrosísmica propuesta MMI-PV se acopla de mejor manera a la realidad constructiva del país, que la que es utilizada en la actualidad, por lo que se deben realizar investigaciones para poder validar o desvirtuar la escala que aquí se describe y buscar otras alternativas de estimar la intensidad, pudiendo ser ésta la utilización de otra escala más objetiva como EMS-98.

- d. Debido a las aproximaciones utilizadas en los cálculos y los valores asumidos de ciertas incertidumbres, así como a factores propios del lugar y características propias de cada sismo como patrón de radiación, contenido de frecuencias, etc. no se puede tomar este trabajo como concluyente, pero sí como la base para el inicio de una línea de investigación que lleve a la validación del mismo o a una mejor aproximación de la escala de intensidades.

- e. Existe la necesidad de crear líneas de investigación que lleven a crear herramientas como escalas de intensidad macrosísmica con el fin de poder estimar de una manera más veraz los daños provocados por un evento sísmico y con esto tener una buena base que ayude en la toma de decisiones, por parte de las instituciones encargadas de atender emergencias y reducir de esta manera nuestra vulnerabilidad ante este tipo de amenaza.

- f. El mayor problema en la realización de este trabajo fue la dificultad en la localización y recopilación de información con la calidad necesaria, ya sea por lo escaso de la misma o por su inexistencia lo que trajo consigo la necesidad de asumir muchos parámetros e incertidumbres, que no permitieron una validación concluyente de la escala propuesta.

XI. Recomendaciones

1. Tomando en cuenta los resultados y conclusiones de este trabajo se hace necesario como primer paso establecer programas nacionales de capacitación para el reforzamiento de estructuras de adobe, para luego encontrar las vías políticas, técnicas y económicas para su prohibición, como en otros países de América Latina, y se pueda disminuir la vulnerabilidad estructural ante sismo en el país.
2. Se recomienda la continuación en la investigación en esta rama de la ingeniería con el fin de proporcionar herramientas necesarias para la toma de decisiones y distribución de recursos por parte de todas aquellas entidades estatales y privadas involucradas en el campo de la reducción del riesgo y atención a emergencias.
3. Es necesario el acopio de información de intensidades de eventos sísmicos por parte de las instituciones pertinentes con el fin de facilitar la investigación y poder ya sea validar la presente escala, o proponer otra que se ajuste de una mejor manera a la realidad de Guatemala.
4. La recopilación de la información en forma de censos realizada por las instituciones del estado deja muchos vacíos, los cuales deben ser llenados utilizando formatos y metodologías que faciliten la extracción de elementos importantes del mar de información que es adquirida en estos.
5. Se debe establecer por parte de las instituciones de atención a desastres formatos que permitan estimar intensidades macrosísmicas y que cumplan su papel de cuantificar daños. Estos formatos deben estar acordes a la realidad constructiva del país y no pueden ser importados de otros lugares

con tipologías constructivas tan distintas a las locales que alteren de manera sustancial los resultados obtenidos, dando una falsa imagen de los daños que realmente ha dejado el evento.

6. Debe ser obligación de las instituciones del estado afines al problema, la creación de sistemas de estimación de daños que realmente representen la magnitud de los eventos.

XII. Bibliografía

1. INSIVUMEH. 2000. Amenaza sísmica en Guatemala. Trifoliar informativo.
2. Autores Varios. VI curso UNESCO/RELACIS DE SISMORESISTENCIA. Módulo I AGIES, Guatemala 1997.
3. Grases, J. Pérdidas como Consecuencia de Terremotos: métodos para su estimación. 1986. Seguros Caracas, Venezuela. p 63.
4. Matus, M. Arce, A. Reporte sobre visita a las Áreas Afectadas por el Sismo de Pochuta del 18 de Septiembre de 1991. Universidad del Valle de Guatemala. s.n.p.
5. Villagrán, M. Mayol, P. 1991. Algunos Aspectos Geofísicos del Enjambre Sísmico Ocurrido en Pochuta, Chimaltenango en el mes de Septiembre de 1991. Informe Técnico. INSIVUMEH.
6. Cordova, M. 2002. "Vulnerabilidad de la Vivienda ante los Sismos en Guatemala" Presentada en el V Curso Internacional de Diseño y Construcción Sismorresistente. México D.F.
7. Kiremidjian. A,S, Shah.H, Lubetkin. L. 1977. Seismic Hazard Mapping for Guatemala, Stanford University.
8. Molina, E. 1999. Amenaza Sísmica en San Miguel Pochuta, Chimaltenango. Informe Técnico. INSIVUMEH.
9. Villagrán, M. Lindholm, C. Dahle, A. Cowan, H. Bungum,H. 1997. Seismic Hazard Assessment for Guatemala City. Kluwer Academic Publishers.Netherland.
10. Pérez, A. 2002. "Vulnerabilidad Estructural de la Vivienda Popular ante la Amenaza de Sismo en Guatemala" Presentada en el V Curso Internacional de Diseño y Construcción Sismorresistente. México D.F.
11. Strahler, A., Strahler, A. 2000. Introducing Physical Geography. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc. USA. 575 Pages.
12. Climent, A. et al. 1994,Spectral strong motion attenuation in Central America. Technical Report No.2-16, NORSAR.

13. Wood, Harry O. and Frank Neumann, Modified Mercalli Intensity Scale 1931, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 21, no. 4, 283 December 1931.
14. Espinosa, A.F, Asturias, J, Quesada, A. Applying the lesson learned in the 1976 Guatemalan Earthquake to Earthquake-Hazard-Zoning Problems in Guatemala.
15. Matus,M. Notas y copias de clase de Maestría en Estructuras "Ingeniería de Terremotos" Universidad del Valle de Guatemala 1999.
16. Comisión Sismológica Europea. 1998. Escala de Intensidad Macrosísmica EMS-98. GeoForschungsZentrum Potsdam, Alemania.

Anexo A

Escala de intensidades macrosísmicas MMI

Grado	Descripción	σ
I	a. No sentido, excepto por una o dos personas acostadas en los pisos superiores de edificios altos	0.1087
II	a. Sentido por pocos o algunos. b. Descrito como suave o ligero	0.0029 0.4264
III	a. Objetos pequeños colgados oscilaron. b. Pocas o algunas personas fueron despertadas. c. El movimiento fue descrito como oscilante o lento. d. Sentido por algunos. Sentido notablemente dentro de las edificaciones especialmente en los pisos superiores. Sentido por varios o muchos adentro. Muchas personas no lo identifican al principio como un temblor.	0.0287 0.1643 0.3440 0.4877
IV	a. Algunos objetos fueron movidos. b. Asustó a pocos; causó ligera excitación. c. El movimiento fue descrito como brusco, violento, bamboleante o rápido. d. Oscilación de objetos colgados (ningún adjetivo calificativo utilizado por el observador). e. Sentido por muchos. Sentido por todos en casa o todos los edificios. f. Sentido al aire libre por pocos o algunos. g. Algunos sintieron náuseas o mareos. h. Vibración de platos, ventanas y puertas. Platos y vasos chocaron entre sí en armarios. Paredes crujieron. i. Movimiento de líquidos en vasijas abiertas. j. Despertó a muchos o la mayoría. Despertó a todos en casas. k. Ruidos como ráfagas de viento fueron reportados. l. Descrito como moderado. m. Árboles y arbustos fueron sacudidos ligeramente. n. La dirección del movimiento fue notado dentro de edificaciones o sin especificación de localización (dentro o afuera). o. Relojes de péndulo se detuvieron, comenzaron a anadar o cambiar el ritmo marcadamente. p. Descrito como sacudidas múltiples.	0.0184 0.0283 0.0982 0.1165 0.1446 0.1504 0.1573 0.1751 0.1869 0.2410 0.2473 0.3738 0.3854 0.9348 0.9613 1.0113

	q. La duración fue estimada en segundos o minutos.	1.1818
	r. Sonidos de choques fueron reportados.	1.6703
	s. Movimiento descrito como una vibración rápida.	2.9141
V	a. Sonidos retumbantes, tronantes o subterráneos fueron reportados.	0.0069
	b. Objetos colgantes oscilaron en numerosos casos. Objetos colgantes o puertas oscilaron generalmente o considerablemente.	0.0278
	c. Descrito como fuerte	0.0388
	d. Árboles y arbustos fueron sacudidos moderadamente	0.1032
	e. Pequeños objetos fueron movidos de posición; muebles livianos fueron movidos de posición.	0.1479
	f. Los cuadros fueron golpeados contra la pared o movidos de posición.	0.1788
	g. Sentido prácticamente por todos. Sentido por la mayoría o casi todos.	0.1930
	h. Sensación similar al choque de un camión contra un edificio.	0.2903
	i. Los animales estaban asustados, corrieron en estampida, o escaparon de sus encierros.	0.5867
	j. Movimientos en los postes y otros objetos altos fueron notados en algunos casos. Edificios oscilaron.	0.5957
	k. Vibraciones similares a aquellas causadas por el paso de un camión fueron reportadas.	0.7452
	l. El friso fue cuarteado.	0.8932
	m. Unas pocas personas corrieron hacia fuera.	1.4324
	n. Oscilación de automóviles detenidos.	1.6041
VI	a. Los líquidos se derramaron de sus recipientes.	0.0084
	b. Sonidos rugientes fueron reportados.	0.0707
	c. La dirección del movimiento fue estimada por observadores que estaban fuera de las casas.	0.0836
	d. Los líquidos fueron puestos en fuerte movimiento.	0.0929
	e. Daño ligero. Ocasionalmente se especificó construcción de pobre calidad.	0.1030
	f. Sonaron campanas pequeñas. Las alarmas de fuego y robo fueron activadas.	0.1240
	g. Los edificios se estremecieron completamente.	0.1329
	h. Muchos corrieron hacia fuera.	0.2065
	i. Sentidos por todos (sin calificación). Sentidos por todos en la comunidad.	0.2396
	j. Muchos fueron asustados. La excitación fue general con alguna alarma.	0.3810
	k. Objetos pequeños e inestables fueron volcados.	0.4024

	l. Cayeron ornamentos arquitectónicos.	0.4343
	m. Algunos muebles de clase moderadamente pesada (sillas, mesas, sofás pequeños, gaveteros pequeños, etc.), fueron movidos de posición.	0.4888
	n. Cayeron objetos desde repisas y estantes. La mercancía cayó desde los estantes en las tiendas.	0.5616
	o. Tuberías de agua o gas fueron rotas en casos aislados.	0.6073
	p. Árboles y arbustos fueron sacudidos fuertemente.	0.7452
	q. Todos fueron despertados.	0.7909
	r. Caída de friso en cantidades pequeñas a moderadas. Las chimeneas fueron fisuradas.	0.8461
	s. Algunos platos, cristalería y ventanas se rompieron.	0.8951
	t. El daño fue despreciable en estructuras bien diseñadas y estructuras de buena construcción.	4.7965
	u. Vibraciones comparables a aquellas causadas por camiones pesados o con cargas muy pesadas.	8.4622
VII	a. paredes aisladas y externas de mampostería fisuradas.	0.0109
	b. Todos fueron asustados. Hubo alarma general.	0.2250
	c. Cambios temporales o permanentes en el flujo de manantiales y pozos fueron reportados; se notaron cambios en la temperatura de estas fuentes.	0.4270
	d. Estructuras ordinarias bien construidas fueron dañadas de ligera a moderadamente.	0.5889
	e. Cornisas, mamposterías, rejas y piedras cayeron de paredes externas y parapetos de edificios.	0.6119
	f. Varios deslizamientos de tierra fueron reportados. Cantidades pequeñas de rocas y pedruscos fueron sacudidos de las laderas y terraplenes en casos individuales.	0.8945
	g. Se rompieron chimeneas. Chimeneas, con relación entre la altura sobre el techo a dimensión lateral en el techo en exceso de 5, fueron rotas agudamente a la altura del techo.	0.9506
	h. Terreno húmedo, fisurado (ningún adjetivo calificativo).	1.0146
	i. Personas que conducían automóviles se perturbaron. Notado por personas que conducían automóviles.	1.0734
	j. Algunos encontraron dificultad en permanecer de pie. Personas perdieron el equilibrio.	1.2369
	k. Se reportó el sonido como similar a un estruendo o	

	a una explosión.	1.3717
	l. Suministro de electricidad fue interrumpido.	1.8700
	m. El agua en riachuelos y lagunas llegó a ser turbia y fangosa.	2.4280
	n. Se produjeron olas en lagunas, lagos, ríos, embalses y cursos de agua.	4.8429
	o. Arena y lodo fueron movidos horizontalmente en playas y llanuras.	6.4558
	p. El agua salpicó las márgenes de canales, lagos, ríos, etc. El agua fue expelida de piscinas y lagunas pequeñas.	7.7291
VIII	a. Paredes libremente apoyadas y paredes de mampostería en edificios, cayeron	0.0291
	b. Edificios comunes, fueron dañados considerablemente.	0.2072
	c. Muebles rotos en algunos casos.	0.2253
	d. El mobiliario fue volcado. Esto incluye aquel descrito como "pesado" así como aquellos sin adjetivos de calificación.	0.2756
	e. Se vieron ondas sobre la superficie del terreno.	0.3033
	f. Teléfonos puestos fuera de servicio.	0.3842
	g. Chimeneas, monumentos, torres de fábricas, etc. Cayeron. Monumentos fueron rotados sobre sus bases.	0.4253
	h. Puertas y contra-ventanas fueron abiertas y cerradas bruscamente (puertas de armarios y gabinetes incluidos).	0.4548
	i. Estructuras pobremente construidas o mal diseñadas fueron dañadas grandemente. Las paredes fueron sacadas del pórtico estructural. Estructuras construidas pobremente o no diseñadas apropiadamente, sufrieron daños considerables.	0.5354
	j. Los rieles de las vías férreas fueron torcidos ligeramente, moderadamente.	0.6101
	k. Numerosas ventanas se rompieron.	0.6981
	l. Todos corrieron fuera de su casa.	0.8632
	m. Paredes libres de roca sólida fueron seriamente agrietadas y rotas.	0.9544
	n. Árboles y arbustos fueron sacudidos violentamente. Troncos y ramas fueron partidos.	1.8798
	o. Tuberías subterráneas fueron rotas.	1.9200
	p. Edificios oscilaron violentamente.	2.4120
	q. Relleno, terraplenes de ferrocarriles, bases de vías,	

	tierra compactada y acceso a puentes se asentaron o bajaron.	2.7753
	r. Platos y cristalería fueron rotos en cantidades considerables. Algunas ventanas se rompieron.	7.8443
	s. Estructuras especialmente diseñadas sufrieron leve daño.	Ninguno
IX	a. Caída de friso en grandes cantidades. Caída de estuco.	0.0320
	b. El terreno fue severamente agrietado, con grietas de varias pulgadas de ancho y fisuras de hasta un metro de anchura. El terreno se agrietó notablemente. Grietas abiertas y pliegues extensos y ondulantes fueron formados en pavimentos de cemento y asfalto.	0.0861
	c. Edificios pequeños, tales como casas de una planta, fueron movidos de sus fundaciones.	0.1708
	d. Gran cantidad de edificios de mampostería sufrieron daños considerables con colapso parcial.	0.2848
	e. Eyección de arena y lodo en pequeñas cantidades. Hervideros de arena y cráteres de lodo fueron formados.	0.5053
	f. Represas, diques y terraplenes fueron seriamente dañados. Los embalses fueron dañados seriamente, moderadamente, levemente.	0.5860
	g. Arena y grava en los bancos de ríos fueron excavados en cierto grado. Ocurrieron deslizamientos de tierra, rupturas de superficie. Desprendimiento y deslizamientos de tierra ocurrieron en terrenos blandos y húmedos. Casos de desprendimiento de bancos de ríos fueron numerosos y extensivos.	1.2437
	h. Los deslizamientos fueron considerables en las orillas de ríos y costas escarpadas.	1.2773
	i. Muebles bastante pesados (cocinas, neveras, armarios grandes, cajas de caudales, etc.) fueron movidos de su posición notablemente o volcados.	1.2824
	j. Fallas verticales menores de 5 pies (1.5 metros) o sin dimensiones declaradas, fueron reportadas.	1.3455
	k. Alarma próxima al pánico.	1.5559
	l. Se formaron diques tipo topo.	1.6763
	m. Estructuras aporticadas bien diseñadas fueron sacadas de la vertical.	1.6994
	n. Estructuras de mampostería especialmente diseñadas para resistir sismos, sufrieron daños	

	considerables.	2.1314
	o. Las personas no pudieron permanecer en pie, fueron sacadas de la cama o de las sillas.	2.9976
	p. Algunas estructuras de madera bien construidas fueron destruidas.	3.0006
X	a. Canales de concreto para irrigación fueron dañados considerablemente.	0.0649
	b. Anchas fisuras se formaron en el terreno. Fundaciones, pisos de cemento, pavimentos, carreteras y aceras, se agrietaron.	0.1073
	c. Las cercas fueron desplazadas, rotas en pedazos o comprimidas.	0.3153
	d. Tuberías subterráneas fueron rotas en pedazos, aplastadas o pandeadas.	0.4278
	e. Algunos objetos saltaron al aire	0.4561
	f. Algunas estructuras de madera bien construidas fueron destruidas.	0.9295
	g. Tanques de petróleo, gas y agua fueron severamente torcidos o derribados.	2.0739
	h. Ocurrieron deslizamientos masivos de extensión, comparable al deslizamiento del Río Madison asociado con el sismo del Lago Hebgen, Mont. De 1959. El volumen del material deslizado igualó o excedió 35 millones de yardas cúbicas (aproximadamente 27 millones de metros cúbicos).	Ninguno
	i. La licuefacción de suelos causó el hundimiento de edificios en el terreno, algunas veces verticalmente. Licuefacción desigual causó la falla de fundaciones, inclinándose de lado los edificios. Hundimiento en laderas causando desprendimientos y deslizamientos que por el análisis se determinó haber sido causados por licuefacción inicial del subsuelo.	Ninguno
XI	a. Se reportan severas compresiones y extensiones de superficie. Se produjeron grietas de tensión. Se formaron ondulaciones por presión en el terreno. Se produjeron grietas "en echelon". Se formaron grietas por cambios en el equilibrio de cargas. Se formaron fracturas por extensión, grietas abiertas y fisuras.	0.2736
	b. Fallas horizontales y desplazamientos horizontales fueron reportados sin dar cantidades del desplazamiento.	0.5047
	c. Los rieles se doblaron apreciablemente, y/o se	

	<p>encajaron en sus extremos o pandearon.</p> <p>d. Conductos de gas natural, quedaron fuera de servicio.</p> <p>e. Pocas estructuras de mampostería permanecieron de pie.</p> <p>f. Puentes grandes, bien contruidos, fueron destruidos. Los soportes y estribos del puente fueron tan dañados, que la integridad del puente se perdió.</p> <p>g. Tuberías subterráneas y conductos quedaron fuera de servicio.</p> <p>h. Presas, diques y terraplenes fueron resquebrajados, rotos o dañados severamente hasta una condición donde la falla era probable.</p> <p>i. Se generaron "tsunamis" significativos.</p> <p>j. Agua subterránea fue expulsada en grandes cantidades con actividad tipo "geiser" continúa por horas o días.</p>	<p>0.7505</p> <p>0.8483</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p>
XII	<p>a. El daño fue total sobre un área apreciable, mayor de cuatro manzanas urbanas adyacentes, un área con un radio de 500 yardas (0.5 kilómetros), o sobre cualquier área mayor a éstas. (para áreas más pequeñas se debe asignar intensidades de menor grado a las estructuras individuales).</p> <p>b. Se formaron nuevas fallas en rocas competentes formalmente cristalinas.</p> <p>c. Canales y cursos de agua, cuencas, acuíferos fueron modificados notablemente Ríos y otros cursos de agua fueron desviados hacia nuevos canales o fueron represados temporalmente por desplazamientos de sus lechos anteriores.</p>	<p>0.2731</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p>

ANEXO B

Escala de intensidades macrosísmicas propuesta para Guatemala MMI-PV

Grado	Descripción	σ
I	a. No sentido, excepto por una o dos personas acostadas en los pisos superiores de edificios altos	0.1087
II	a. Sentido por pocos o algunos. b. Descrito como suave o ligero	0.0029 0.4264
III	a. Objetos pequeños colgados oscilaron. b. Pocas o algunas personas fueron despertadas. c. El movimiento fue descrito como oscilante o lento. d. Sentido por algunos. Sentido notablemente dentro de las edificaciones especialmente en los pisos superiores. Sentido por varios o muchos adentro. Muchas personas no lo identifican al principio como un temblor. e. Algunas pocas viviendas de adobe presentan pequeñas grietas.	0.0287 0.1643 0.3440 0.4877
IV	a. Algunos objetos fueron movidos. b. Asustó a pocos; causó ligera excitación. c. El movimiento fue descrito como brusco, violento, bamboleante o rápido. d. Oscilación de objetos colgados (ningún adjetivo calificativo utilizado por el observador). e. Sentido por muchos. Sentido por todos en casa o todos los edificios. f. Sentido al aire libre por pocos o algunos. g. Algunos sintieron náuseas o mareos. h. Vibración de platos, ventanas y puertas. Platos y vasos chocaron entre sí en armarios. Paredes crujieron. i. Movimiento de líquidos en vasijas abiertas. j. Despertó a muchos o la mayoría. Despertó a todos en casas. k. Ruidos como ráfagas de viento fueron reportados. l. Descrito como moderado.	0.0184 0.0283 0.0982 0.1165 0.1446 0.1504 0.1573 0.1751 0.1869 0.2410 0.2473 0.3738 0.3854

	<p>m. Árboles y arbustos fueron sacudidos ligeramente.</p> <p>n. La dirección del movimiento fue notado dentro de edificaciones o sin especificación de localización (dentro o afuera).</p> <p>o. Relojes de péndulo se detuvieron, comenzaron a anadar o cambiar el ritmo marcadamente.</p> <p>p. Descrito como sacudidas múltiples.</p> <p>q. La duración fue estimada en segundos o minutos.</p> <p>r. Sonidos de choques fueron reportados.</p> <p>s. Movimiento descrito como una vibración rápida.</p> <p>t. La mayoría de las viviendas de adobe presentan pequeños daños, algunas grietas en las esquinas y pequeñas rajaduras diagonales en los muros.</p>	<p>0.9348</p> <p>0.9613</p> <p>1.0113</p> <p>1.1818</p> <p>1.6703</p> <p>2.9141</p>
V	<p>a. Sonidos retumbantes, tronantes o subterráneos fueron reportados.</p> <p>b. Objetos colgantes oscilaron en numerosos casos. Objetos colgantes o puertas oscilaron generalmente o considerablemente.</p> <p>c. Descrito como fuerte</p> <p>d. Árboles y arbustos fueron sacudidos moderadamente</p> <p>e. Pequeños objetos fueron movidos de posición; muebles livianos fueron movidos de posición.</p> <p>f. Los cuadros fueron golpeados contra la pared o movidos de posición.</p> <p>g. Sentido prácticamente por todos. Sentido por la mayoría o casi todos.</p> <p>h. Sensación similar al choque de un camión contra un edificio.</p> <p>i. Los animales estaban asustados, corrieron en estampida, o escaparon de sus encierros.</p> <p>j. Movimientos en los postes y otros objetos altos fueron notados en algunos casos. Edificios oscilaron.</p> <p>k. Vibraciones similares a aquellas causadas por el paso de un camión fueron reportadas.</p> <p>l. El friso fue cuarteado.</p> <p>m. Unas pocas personas corrieron hacia fuera.</p> <p>n. Oscilación de automóviles detenidos.</p> <p>o. Daños moderados en viviendas de adobe, dislocación de esquinas grietas en forma de equis en los muros, grietas moderadas en dinteles de puertas y ventanas. Daños serios</p>	<p>0.0069</p> <p>0.0278</p> <p>0.0388</p> <p>0.1032</p> <p>0.1479</p> <p>0.1788</p> <p>0.1930</p> <p>0.2903</p> <p>0.5867</p> <p>0.5957</p> <p>0.7452</p> <p>0.8932</p> <p>1.4324</p> <p>1.6041</p>

	o colapsos parciales en tímpanos o culatas.	
VI	a. Los líquidos se derramaron de sus recipientes. b. Sonidos rugientes fueron reportados. c. La dirección del movimiento fue estimada por observadores que estaban fuera de las casas. d. Los líquidos fueron puestos en fuerte movimiento. e. Daño ligero. Ocasionalmente se especificó construcción de pobre calidad. f. Sonaron campanas pequeñas. Las alarmas de fuego y robo fueron activadas. g. Los edificios se estremecieron completamente. h. Muchos corrieron hacia fuera. i. Sentidos por todos (sin calificación). Sentidos por todos en la comunidad. j. Muchos fueron asustados. La excitación fue general con alguna alarma. k. Objetos pequeños e inestables fueron volcados. l. Cayeron ornamentos arquitectónicos. m. Algunos muebles de clase moderadamente pesada (sillas, mesas, sofás pequeños, gaveteros pequeños, etc.), fueron movidos de posición. n. Cayeron objetos desde repisas y estantes. La mercancía cayó desde los estantes en las tiendas. o. Tuberías de agua o gas fueron rotas en casos aislados. p. Árboles y arbustos fueron sacudidos fuertemente. q. Todos fueron despertados. r. Caída de friso en cantidades pequeñas a moderadas. Las chimeneas fueron fisuradas. s. Algunos platos, cristalería y ventanas se rompieron. t. El daño fue despreciable en estructuras bien diseñadas y estructuras de buena construcción. u. Vibraciones comparables a aquellas causadas por camiones pesados o con cargas muy pesadas. v. Algunas viviendas de adobe colapsadas, daños generales en viviendas de adobe severos, dinteles fallados en ventanas y puertas, esquinas totalmente desacopladas. Culatas o tímpanos colapsados	0.0084 0.0707 0.0836 0.0929 0.1030 0.1240 0.1329 0.2065 0.2396 0.3810 0.4024 0.4343 0.4888 0.5616 0.6073 0.7452 0.7909 0.8461 0.8951 4.7965 8.4622
VII	a. paredes aisladas y externas de mampostería fisuradas. b. Todos fueron asustados. Hubo alarma general.	0.0109 0.2250

	<p>c. Cambios temporales o permanentes en el flujo de manantiales y pozos fueron reportados; se notaron cambios en la temperatura de estas fuentes.</p> <p>d. Estructuras ordinarias bien construidas fueron dañadas de ligera a moderadamente.</p> <p>e. Cornisas, mamposterías, rejas y piedras cayeron de paredes externas y parapetos de edificios.</p> <p>f. Varios deslizamientos de tierra fueron reportados. Cantidades pequeñas de rocas y pedruscos fueron sacudidos de las laderas y terraplenes en casos individuales.</p> <p>g. Se rompieron chimeneas. Chimeneas, con relación entre la altura sobre el techo a dimensión lateral en el techo en exceso de 5, fueron rotas agudamente a la altura del techo.</p> <p>h. Terreno húmedo, fisurado (ningún adjetivo calificativo).</p> <p>i. Personas que conducían automóviles se perturbaron. Notado por personas que conducían automóviles.</p> <p>j. Algunos encontraron dificultad en permanecer de pie. Personas perdieron el equilibrio.</p> <p>k. Se reportó el sonido como similar a un estruendo o a una explosión.</p> <p>l. Suministro de electricidad fue interrumpido.</p> <p>m. El agua en riachuelos y lagunas llegó a ser turbia y fangosa.</p> <p>n. Se produjeron olas en lagunas, lagos, ríos, embalses y cursos de agua.</p> <p>o. Arena y lodo fueron movidos horizontalmente en playas y llanuras.</p> <p>p. El agua salpicó las márgenes de canales, lagos, ríos, etc. El agua fue expelida de piscinas y lagunas pequeñas.</p> <p>q. Viviendas de adobe colapsadas totalmente o presentando daños muy severos.</p>	<p>0.4270</p> <p>0.5889</p> <p>0.6119</p> <p>0.8945</p> <p>0.9506</p> <p>1.0146</p> <p>1.0734</p> <p>1.2369</p> <p>1.3717</p> <p>1.8700</p> <p>2.4280</p> <p>4.8429</p> <p>6.4558</p> <p>7.7291</p>
VIII	<p>a. Paredes libremente apoyadas y paredes de mampostería en edificios, cayeron</p> <p>b. Edificios comunes, fueron dañados considerablemente.</p> <p>c. Muebles rotos en algunos casos.</p> <p>d. El mobiliario fue volcado. Esto incluye aquel descrito como "pesado" así como aquellos sin adjetivos de calificación.</p>	<p>0.0291</p> <p>0.2072</p> <p>0.2253</p> <p>0.2756</p>

	e. Se vieron ondas sobre la superficie del terreno.	0.3033
	f. Teléfonos puestos fuera de servicio.	0.3842
	g. Chimeneas, monumentos, torres de fábricas, etc. Cayeron. Monumentos fueron rotados sobre sus bases.	0.4253
	h. Puertas y contra-ventanas fueron abiertas y cerradas bruscamente (puertas de armarios y gabinetes incluidos).	0.4548
	i. Estructuras pobremente construidas o mal diseñadas fueron dañadas grandemente. Las paredes fueron sacadas del pórtico estructural. Estructuras construidas pobremente o no diseñadas apropiadamente, sufrieron daños considerables.	0.5354
	j. Los rieles de las vías férreas fueron torcidos ligeramente, moderadamente.	0.6101
	k. Numerosas ventanas se rompieron.	0.6981
	l. Todos corrieron fuera de su casa.	0.8632
	m. Paredes libres de roca sólida fueron seriamente agrietadas y rotas.	0.9544
	n. Árboles y arbustos fueron sacudidos violentamente. Troncos y ramas fueron partidos.	1.8798
	o. Tuberías subterráneas fueron rotas.	1.9200
	p. Edificios oscilaron violentamente.	2.4120
	q. Relleno, terraplenes de ferrocarriles, bases de vías, tierra compactada y acceso a puentes se asentaron o bajaron.	2.7753
	r. Platos y cristalería fueron rotos en cantidades considerables. Algunas ventanas se rompieron.	7.8443
	s. Estructuras especialmente diseñadas sufrieron leve daño.	Ninguno
	t. Casi ninguna casa de adobe sigue en pie.	
IX	a. Caída de friso en grandes cantidades. Caída de estuco.	0.0320
	b. El terreno fue severamente agrietado, con grietas de varias pulgadas de ancho y fisuras de hasta un metro de anchura. El terreno se agrietó notablemente. Grietas abiertas y pliegues extensos y ondulantes fueron formados en pavimentos de cemento y asfalto.	0.0861
	c. Edificios pequeños, tales como casas de una planta, fueron movidos de sus fundaciones.	0.1708
	d. Gran cantidad de edificios de mampostería sufrieron daños considerables con colapso parcial.	0.2848
	e. Eyección de arena y lodo en pequeñas cantidades.	

	Hervideros de arena y cráteres de lodo fueron formados.	0.5053
	f. Represas, diques y terraplenes fueron seriamente dañados. Los embalses fueron dañados seriamente, moderadamente, levemente.	0.5860
	g. Arena y grava en los bancos de ríos fueron excavados en cierto grado. Ocurrieron deslizamientos de tierra, rupturas de superficie. Desprendimiento y deslizamientos de tierra ocurrieron en terrenos blandos y húmedos. Casos de desprendimiento de bancos de ríos fueron numerosos y extensivos.	1.2437
	h. Los deslizamientos fueron considerables en las orillas de ríos y costas escarpadas.	1.2773
	i. Muebles bastante pesados (cocinas, neveras, armarios grandes, cajas de caudales, etc.) fueron movidos de su posición notablemente o volcados.	1.2824
	j. Fallas verticales menores de 5 pies (1.5 metros) o sin dimensiones declaradas, fueron reportadas.	1.3455
	k. Alarma próxima al pánico.	1.5559
	l. Se formaron diques tipo topo.	1.6763
	m. Estructuras aporricadas bien diseñadas fueron sacadas de la vertical.	1.6994
	n. Estructuras de mampostería especialmente diseñadas para resistir sismos, sufrieron daños considerables.	2.1314
	o. Las personas no pudieron permanecer en pie, fueron sacadas de la cama o de las sillas.	2.9976
	p. Algunas estructuras de madera bien construidas fueron destruidas.	3.0006
X	a. Canales de concreto para irrigación fueron dañados considerablemente.	0.0649
	b. Anchas fisuras se formaron en el terreno. Fundaciones, pisos de cemento, pavimentos, carreteras y aceras, se agrietaron.	0.1073
	c. Las cercas fueron desplazadas, rotas en pedazos o comprimidas.	0.3153
	d. Tuberías subterráneas fueron rotas en pedazos, aplastadas o pandeadas.	0.4278
	e. Algunos objetos saltaron al aire	0.4561
	f. Algunas estructuras de madera bien construidas fueron destruidas.	0.9295
	g. Tanques de petróleo, gas y agua fueron	

	<p>severamente torcidos o derribados.</p> <p>h. Ocurrieron deslizamientos masivos de extensión, comparable al deslizamiento del Río Madison asociado con el sismo del Lago Hebgen, Mont. De 1959. El volumen del material deslizado igualó o excedió 35 millones de yardas cúbicas (aproximadamente 27 millones de metros cúbicos).</p> <p>i. La licuefacción de suelos causó el hundimiento de edificios en el terreno, algunas veces verticalmente. Licuefacción desigual causó la falla de fundaciones, inclinándose de lado los edificios. Hundimiento en laderas causando desprendimientos y deslizamientos que por el análisis se determinó haber sido causados por licuefacción inicial del subsuelo.</p>	<p>2.0739</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p>
XI	<p>a. Se reportan severas compresiones y extensiones de superficie. Se produjeron grietas de tensión. Se formaron ondulaciones por presión en el terreno. Se produjeron grietas "en echelon". Se formaron grietas por cambios en el equilibrio de cargas. Se formaron fracturas por extensión, grietas abiertas y fisuras.</p> <p>b. Fallas horizontales y desplazamientos horizontales fueron reportados sin dar cantidades del desplazamiento.</p> <p>c. Los rieles se doblaron apreciablemente, y/o se encajaron en sus extremos o pandearon.</p> <p>d. Conductos de gas natural, quedaron fuera de servicio.</p> <p>e. Pocas estructuras de mampostería permanecieron de pie.</p> <p>f. Puentes grandes, bien contruidos, fueron destruidos. Los soportes y estribos del puente fueron tan dañados, que la integridad del puente se perdió.</p> <p>g. Tuberías subterráneas y conductos quedaron fuera de servicio.</p> <p>h. Presas, diques y terraplenes fueron resquebrajados, rotos o dañados severamente hasta una condición donde la falla era probable.</p> <p>i. Se generaron "tsunamis" significativos.</p> <p>j. Agua subterránea fue expulsada en grandes cantidades con actividad tipo "geiser" continúa por horas o días.</p>	<p>0.2736</p> <p>0.5047</p> <p>0.7505</p> <p>0.8483</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p>

XII	<p>a. El daño fue total sobre un área apreciable, mayor de cuatro manzanas urbanas adyacentes, un área con un radio de 500 yardas (0.5 kilómetros), o sobre cualquier área mayor a éstas. (para áreas más pequeñas se debe asignar intensidades de menor grado a las estructuras individuales).</p> <p>b. Se formaron nuevas fallas en rocas competentes formalmente cristalinas.</p> <p>c. Canales y cursos de agua, cuencas, acuíferos fueron modificados notablemente Ríos y otros cursos de agua fueron desviados hacia nuevos canales o fueron represados temporalmente por desplazamientos de sus lechos anteriores.</p>	<p>0.2731</p> <p>Ninguno</p> <p>Ninguno</p>
-----	--	---