

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



ESTIMACIÓN DE INTENSIDAD MACROSÍSMICA
MEDIANTE ENCUESTAS DIRIGIDAS

Trabajo de Investigación presentado por
Francisco Alberto Lizama Bautista

para optar al Grado Académico de
MAESTRO DE CIENCIAS EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

Guatemala
2007

**ESTIMACIÓN DE INTENSIDAD MACROSÍSMICA
MEDIANTE ENCUESTAS DIRIGIDAS**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



ESTIMACIÓN DE INTENSIDAD MACROSÍSMICA
MEDIANTE ENCUESTAS DIRIGIDAS

Trabajo de Investigación presentado por
Francisco Alberto Lizama Bautista

para optar al Grado Académico de
MAESTRO DE CIENCIAS EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

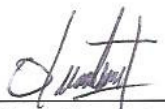
Guatemala
2007

Vo. Bo.:


(f) 

Ing. Alejandro Maldonado Lutomirsky
Asesor

Tribunal:

(f) 

Dr. David Anibal Monterroso

(f) 

Ing. Alberto José Pérez Zarco

(f) 

Ing. Alejandro Maldonado Lutomirsky

P R E F A C I O

La necesidad de establecer la severidad del movimiento y los daños ocasionados por los sismos, siempre ha sido de gran utilidad para la asistencia y recuperación de las comunidades afectadas. Una manera de medir la intensidad de los sismos es mediante la apreciación de los seres humanos a través de escalas de intensidad.

En una ocasión reunido con el Ing. Alejandro Maldonado, mencionó que la información que se recopilaba para asistir a una población después de un evento sísmico, se dificultaba enormemente debido a que la misma era confusa, desordenada y de poca utilidad para determinar la intensidad de un sismo. Y que actualmente existe un cuestionario dirigido de Internet del Centro de Encuestas Geológicas de los EUA (U. S. Geological Survey) que podría ser útil para mejorar la calidad de las descripciones de la población.

A partir de esta conversación nace la inquietud de elaborar una encuesta de intensidad para Guatemala, que se pueda implementar a un programa de software, realmente ambicioso para la coordinación de desastres, que aún, el Ing. Alejandro Maldonado continúa desarrollando. Adicionado a lo anterior, también basado en los resultados de generar mapas de intensidad que es uno de los principales objetivos del programa de riesgo sísmico del USGS, la idea se fundamenta en llegar hasta ese nivel de estudio en un futuro

cercano. Asimismo planteó la necesidad de crear un algoritmo mediante una hoja de trabajo de Excel para el procesamiento de la información para estimar de manera inmediata la intensidad macrosísmica de cada encuesta.

Al mismo tiempo, expresé agradecimiento al Ing. José Pérez, por la copia de su trabajo de graduación, ya que su investigación con respecto a la vulnerabilidad de construcciones de adobe en el país, sería de gran utilidad para la elaboración de un cuestionario dirigido de intensidad macrosísmica. Inmediatamente, el Ing. José Pérez declaró que actualmente existe una escala de intensidad europea que consideraba una buena herramienta para elaborar la encuesta y que se podría adaptar de mejor manera a la investigación realizada por él, y gentilmente me obsequió una copia y me facilitó otras informaciones de investigaciones realizadas por su persona.

Después de leer y estudiar la información de la que disponía, se presentaron algunas limitaciones. El cuestionario dirigido del USGS, únicamente tendría utilidad de forma para el planteamiento de las preguntas, pero adaptadas a respuestas para la escala EMS-98. Durante el desarrollo del trabajo se pone en evidencia lo expresado, siendo notorias las diferencias. Independientemente, la escala macrosísmica europea, es una muy buena herramienta para la determinación de la intensidad de un sismo.

Claramente tiene algunos aspectos que requieren de mayor investigación, como la simplificación de su uso y las clasificaciones de daño se limitan a construcciones de adobe y concreto reforzado. Siendo necesario agregar clasificaciones de daño de otros tipos construcciones, que se dejaron fuera del alcance de esta investigación.

En un país que constantemente se encuentra sometido a desastres naturales, la encuesta macrosísmica dirigida tiene la intención de mejorar la calidad y certeza de las descripciones de la población, de suma importancia para la sociedad guatemalteca, con el objetivo de establecer valores de intensidad representativos y reduciendo el nivel de incertidumbre de los daños ocasionados por un evento sísmico, para la rápida atención y pronta coordinación de recursos para asistir la emergencia.

Es importante señalar que el cuestionario dirigido de esta investigación, en una versión más simplificada, se puede implementar al sistema de manejo de información del Centro de Operaciones de Emergencia de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres CONRED.

Finalmente deseo expresar mi agradecimiento al Ing. Alejandro Maldonado por asesorar este trabajo de investigación. Así como al Ing. José Pérez por brindar información de mucha utilidad para la realización del mismo.

SINOPSIS

La necesidad de medir mediante la apreciación humana a través de escalas macrosísmicas, continúa siendo una herramienta útil para la recopilación de las descripciones, para estimar la severidad del movimiento del sismo y del daño a las edificaciones e infraestructura, así como el impacto socio-económico preliminar, de una comunidad determinada, después de un evento sísmico.

La finalidad del trabajo consiste en la elaboración de una encuesta dirigida, fundamentado en una escala de intensidad, útil para mejorar la calidad y confiabilidad de las descripciones. Y también mediante el procesamiento en una hoja de trabajo de Excel de generar información rápida del daño sísmico, para el pronto manejo de recursos para la adecuada atención de la población afectada y damnificada debido a la emergencia presentada, reduciendo en buena medida, el esfuerzo humano de interpretar la información.

La encuesta dirigida incluye la vulnerabilidad de construcciones de adobe para el país; una clasificación propia de las construcciones del medio; la inclusión de calificar construcciones con técnicas de ingeniería sismorresistente; y la implementación de términos cuantitativos que permiten una mejor precisión en la estimación de la intensidad de un sismo.

Es importante señalar, que mediante la utilización de la encuesta dirigida y sus resultados, es posible evaluar, fortalecer, calibrar y mejorar la aplicabilidad de la misma para la generación de información útil para la estimación de intensidades.

CONTENIDO

	Página
Prefacio	v
Sinopsis	viii
Lista de cuadros	xi
Lista de ilustraciones	xii
Capítulos	
I. Introducción	1
II. Justificación	3
III. Objetivos	5
IV. Descripción de las fuentes sismogénicas de Guatemala	7
V. Escalas de magnitud y escalas de intensidad	21
VI. Descripción general e importancia de la escala EMS-98	29
VII. Elaboración de la Encuesta Dirigida	36
VIII. Estimación del grado de intensidad macrosísmica	57
IX. Conclusiones	65
X. Recomendaciones	68
XI. Bibliografía	71
XII. Anexos	73

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1.	Comparación de escalas de magnitud/intensidad	28
2.	Escala de términos cuantitativos	31
3.	Diferenciación de estructuras de edificios en clases de vulnerabilidad	33
4.	Tabla de clase de vulnerabilidad y grados de intensidad de la escala SET	55
5.	Asignación de la vulnerabilidad a la intensidad de la escala modificada EMS-98	56

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura	Descripción	Página
1.	Mapa de las placas tectónicas de la Tierra	8
2.	Marco tectónico de Centroamérica	9
3.	Fallas principales y asociadas de Guatemala	12
4.	Distribución de epicentros de Guatemala período de 1984 al 2005	14
5.	Distribución de intensidades del terremoto de 1976	18
6.	Tipos de ondas sísmicas	22
7.	Determinación de magnitud de un sismo	24
8.	Mapa de intensidad macrosísmica	39
9.	Comparación de los valores CWS en intensidad USGS MMI	58

I. INTRODUCCIÓN

La información más común después de un evento sísmico es su magnitud y la localización de su epicentro. Pero también es de suma importancia determinar la extensión desde donde el movimiento del suelo fue muy fuerte, y aún más importante estimar lo antes posible el daño que ocasionó en las áreas más afectadas. Guatemala no cuenta con suficientes sismómetros para cubrir de manera rápida y precisa todo el territorio nacional. Siendo necesario utilizar intensidades macrosísmicas, para estimar la severidad del movimiento sísmico y el daño ocasionado.

Este estudio pretende elaborar una encuesta dirigida de intensidad sísmica calibrado con los parámetros de la Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS-98 de la Comisión Macrosísmica Europea, creando una escala para las encuestas adaptada para Guatemala, donde se implementaron las observaciones en cuanto a la vulnerabilidad de las construcciones de adobe del trabajo de graduación del Ing. José Pérez.

Adicionalmente, se desarrolla un algoritmo en una hoja de trabajo de Excel 2003, que procesa la información para la pronta estimación de la intensidad macrosísmica de la encuesta, reduciendo el esfuerzo humano de interpretar la información.

Esta herramienta, en una versión más simplificada, pretende conformar una parte de un programa más amplio y ambicioso para el manejo y coordinación de desastres denominado Sistema de Manejo

de Información en Caso de Emergencia o Desastre SISMICEDE, desarrollado por el Ing. Alejandro Maldonado Lutomirsky. El software se desarrolló entre los años 2000 y 2003, que incluye un módulo básico de carácter experimental (no validado) para determinar la intensidad sísmica con base a los reportes de los voluntarios de las bases de radio de CONRED.

La adaptabilidad, consistencia, estructura y flexibilidad de la escala europea permitieron adicionar consideraciones importantes a la encuesta dirigida, entre estas: la vulnerabilidad de construcciones de adobe para el país; una clasificación propia de las construcciones en Guatemala; la inclusión de calificar construcciones con técnicas de ingeniería sismorresistente; y la implementación de términos cuantitativos que permiten una mejor precisión en la estimación de la intensidad de un sismo. Mediante la utilización de esta herramienta, se puede estimar la severidad del movimiento del sismo y del daño a las edificaciones e infraestructura e impacto socio-económico preliminar en la que se encuentra una determinada comunidad después de un evento sísmico.

Es importante señalar, que únicamente mediante la utilización de la encuesta dirigida de intensidad y la generación de los resultados, es posible evaluar, fortalecer, calibrar y mejorar esta herramienta. El éxito de la encuesta dirigida para aplicaciones futuras en la práctica de la sismología y de la ingeniería, dependen de sobremanera de la retroalimentación de la información generada y oportuna actualización.

II. JUSTIFICACIÓN

Las escalas de intensidad tienen una clara ventaja sobre las escalas de magnitud debido a que sin la necesidad de instrumentos de medición, proveen información del daño real de un evento sísmico según las observaciones de la población y no se infiere dicho daño según un dato de magnitud que es instrumental únicamente.

La propuesta, en general, es elaborar un cuestionario de intensidad para establecer la intensidad macrosísmica, que alimente de manera más efectiva un sistema de manejo de información. Las encuestas de intensidad sísmica ya procesadas serán de gran utilidad, debido a que se generará información rápida y confiable del daño sísmico en determinada comunidad de suma importancia para la seguridad pública y el pronto manejo de recursos para la adecuada atención de la población afectada y damnificada debido a la emergencia presentada. De allí lo importante de adaptarlo en una versión más simplificada a un programa como SISMICEDE que fue creado para manejar este tipo de información, que tiene la capacidad para precisamente coordinar los recursos para atender de manera muy eficiente una emergencia.

La aplicación de esta herramienta podría ser muy útil para la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres CONRED, como por ejemplo, cuando ocurre un desastre o en caso de emergencia, esta institución activa el Centro de Operaciones de Emergencia COE y el Sistema Nacional de Enlaces Interinstitucionales. CONRED, creó un sistema de manejo de información con el propósito de hacer más

eficiente el procesamiento de la misma, la cual funciona sobre una plataforma Lotus Domino que permite registrar, procesar y sistematizar la información generada durante un desastre.

Los resultados generados por estas encuestas de intensidad macrosísmica son de mucha utilidad y una fuente de información precisa y confiable que pueden ser usadas por las municipalidades, entidades gubernamentales y privadas, universidades y la población en general para conocer una primera estimación de la severidad del movimiento del sismo y del daño a las edificaciones e infraestructura, así como la situación de emergencia real e impacto socio-económico preliminar en la que se encuentra una comunidad determinada después de un evento sísmico.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Generar información más confiable de la percepción de la población, de la severidad y daño ocasionado por un sismo mediante encuestas dirigidas de intensidad sísmica generando una estimación de la intensidad macrosísmica que puedan integrarse a un sistema de manejo de información y coordinar adecuada y efectivamente, los recursos para la atención de la emergencia.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar una encuesta de intensidad dirigida similar al cuestionario de Internet "¿Lo sintió?" para la creación de "Mapas de Intensidad de la Comunidad de Internet" del U.S. Geological Survey según la Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS-98 para la tabulación más técnica de la información recopilada en un evento sísmico que sea de utilidad para la creación de intensidades macrosísmicas en Guatemala.

2. Revisar y aplicar la Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS-98 que incluya investigaciones de las construcciones de adobe en Guatemala, que permita evaluar la vulnerabilidad de las mismas, para

que la estimación de daños sea más exacta. En lo referente a construcciones de adobe, parte de la modificación se basará en el estudio del trabajo de graduación de la Universidad del Valle de Guatemala del Ingeniero José Pérez Zarco titulado *Propuesta de Modificación de la Escala de Intensidades Modificada de Mercalli (MM) para Guatemala*.

3. Generar un algoritmo en una hoja de trabajo de Microsoft Excel 2003 para procesar de manera inmediata la información de la encuesta para estimar una intensidad macrosísmica. De esta manera no se necesita utilizar recursos humanos para el análisis de la misma, consumiendo demasiado tiempo para la obtención de resultados.

4. Que la información de las encuestas de intensidad macrosísmica, se adicione a un programa de software creado por el Ingeniero Alejandro Maldonado Lutomirsky que precisamente recopila y maneja este tipo de información y puede coordinar recursos en caso de emergencia o desastre.

IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS FUENTES SISMOGÉNICAS EN GUATEMALA

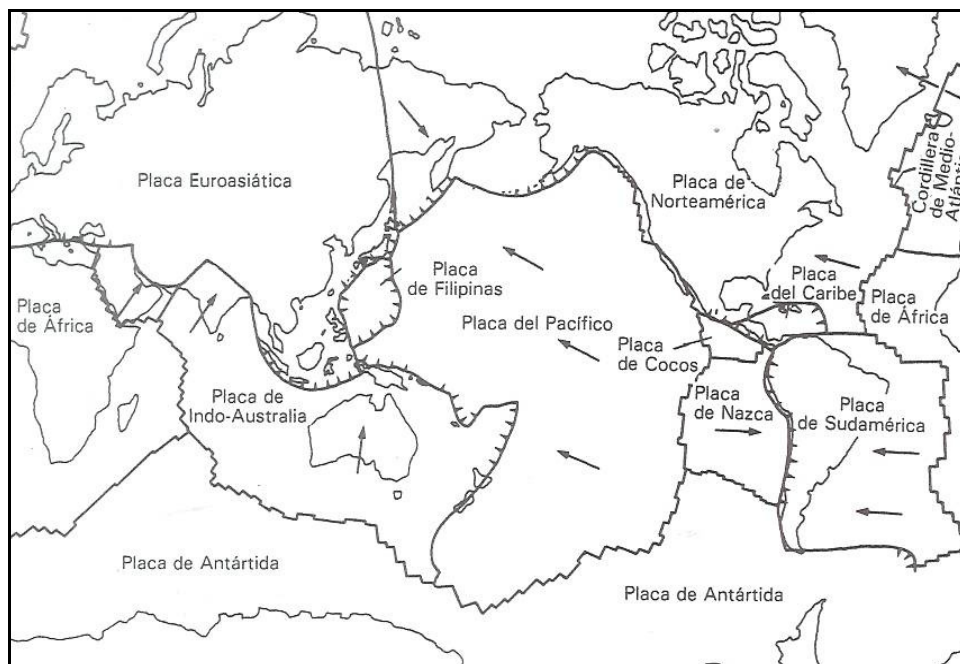
A continuación se presentan, a grandes rasgos, algunos de los estudios realizados que han contribuido a conocer el marco tectónico de Guatemala de donde se puede explicar la interrelación que existe entre la geología, la topografía y la manera en que se generan los sismos.

A. MARCO TECTÓNICO PARA GUATEMALA

Las fuerzas que forman las montañas y volcanes, las erupciones y los terremotos son producto de un mismo fenómeno natural que se conoce como la dinámica de la corteza terrestre. De las muchas teorías que se han propuesto para explicar el comportamiento de la corteza terrestre, la teoría de placas tectónicas señala que la Tierra está formada por varias capas de placas duras, *litosfera*, que asientan sobre un manto viscoso relativamente más suave, *astenosfera*, generando la interacción entre las mismas.

La corteza terrestre se puede comparar como un cascarón fragmentado donde a cada fragmento se le llama placa tectónica y debido a las fuerzas generadas por el calor interno intrínseco y la rotación de la tierra ocasionan el movimiento de las placas generando sismos especialmente en los bordes de las mismas.

Figura 1 Mapa de las placas tectónicas de la Tierra



(Fuente: Diseño de Estructuras Sismorresistentes 1era Edición 1988)

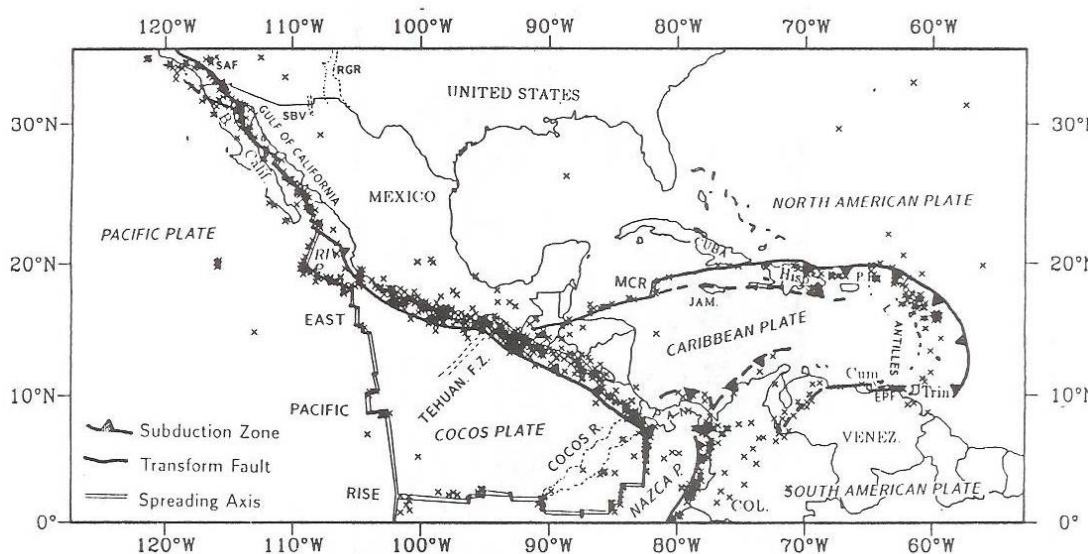
Fundamentados en esta teoría se puede explicar los principales rasgos topográficos y la distribución de la actividad sísmica y volcánica de Guatemala. Se ha determinado que el marco tectónico muestra que el territorio nacional se encuentra en una triple intersección de placas tectónicas siendo: la placa de Norteamérica (NA), la placa de Caribe (CA) y la placa de Cocos (CO). Los movimientos relativos entre estas placas determinan los principales rasgos topográficos del país y la distribución de los terremotos y volcanes.

B. FALLA DE TRANSCURRENCIA

El contacto entre las placas de Norteamérica y El Caribe es de tipo transcurrente. Su manifestación en la superficie son las fallas de Chixoy-Polochic y Motagua-San Agustín y Jocotán-Chamelecón.

Debido a la fricción de las placas, éstas no se pueden deslizar simplemente entre una y otra. Al contrario se crea un esfuerzo entre las placas y cuando ésta alcanza un nivel que excede el esfuerzo a ruptura de las rocas en alguno de los lados de la falla, la energía potencial acumulada se libera como una deformación. La deformación es tanto acumulativa e instantánea que depende de la reología de la placa, donde la corteza dúctil inferior y manto acumulan gradualmente la deformación a través de un esfuerzo principalmente de corte, donde en la parte superior de la corteza terrestre de comportamiento frágil se fractura. La relajación instantánea del esfuerzo causa un movimiento en la falla liberando energía que es la causa del temblor que es un fenómeno común en los bordes de las fallas de tipo transcurrente.

Figura 2 Marco tectónico de Centroamérica



(Fuente: Diagnóstico para la Prevención de Desastres Naturales en Guatemala)

C. FALLA DE SUBDUCCIÓN

El contacto entre las placas de Cocos y del Caribe es de tipo convergente, en el cual la placa de Cocos se incrusta por debajo de la placa del Caribe fenómeno conocido como subducción. Este proceso da origen a una gran cantidad de temblores y formación de volcanes, los rasgos topográficos asociados a este proceso son la fosa y el arco volcánico mesoamericano. El contacto entre estas dos placas está aproximadamente a 50 Km. frente a las costas del Océano Pacífico. La naturaleza de las fallas de bordes convergentes depende del tipo material que conforma la litosfera de las placas donde ocurre la colisión.

Donde una placa oceánica densa colisiona con una placa continental de menor densidad, típicamente la placa oceánica se incrusta debajo de la litosfera continental debido a un efecto de flotación formando una zona de subducción. En la superficie la expresión topográfica más común es una cuenca del lado del océano y una cordillera montañosa del lado de placa continental. Un buen ejemplo de una zona de subducción oceánica-continental es la zona donde interactúan las placas del Caribe y Cocos en Guatemala.

La acción entre las placas debido al empuje de la placa de subducción someten a esfuerzos de compresión y corte a la placa continental, deformándola hacia arriba formando cordilleras de montañas y volcanes. Es importante señalar que aunque a este proceso se le asocia directamente con la producción de magma directamente sobre la placa que se sumerge creando una superficie de carácter volcánico, esto está aún sujeto a debate por la comunidad geológica.

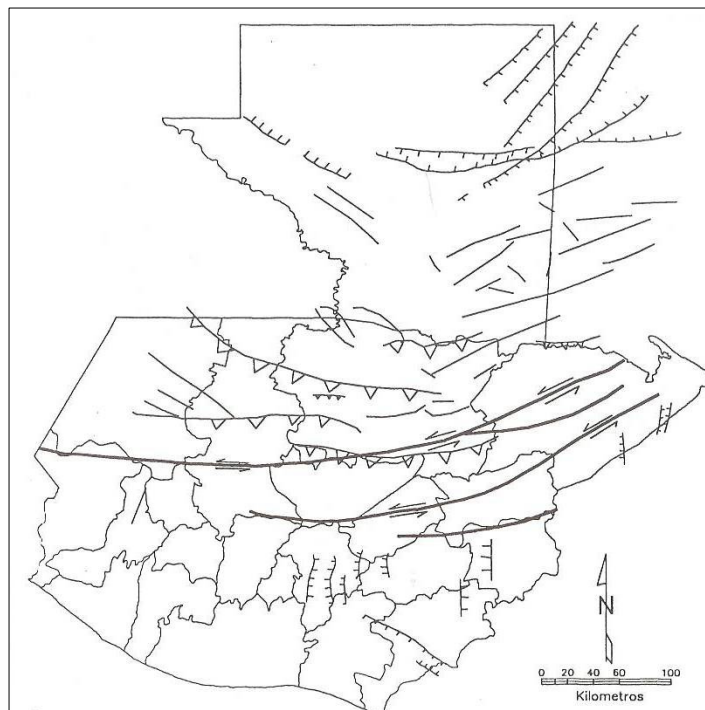
El consenso general de las investigaciones más recientes sugiere más bien que la liberación de ciertos materiales volátiles es el principal contribuyente a la formación de los volcanes. Mientras la placa oceánica se sumerge su temperatura se incrementa liberando material volátil principalmente agua que esta contenida en la corteza porosa de placa oceánica. Mientras el agua se eleva en la placa continental flotante que esta montada sobre la placa oceánica, enfría el manto produciendo gases y magma, la cual a su vez buscan una salida en la superficie debido a la misma presión de los enormes volúmenes de gases y magma que ascienden y se enfrían creando largas cadenas volcánicas que pueden ser muy explosivas. Estos volcanes se caracterizan por tener períodos de erupción periódicas así como de silencio volcánico que cuando se activan expulsan gases con partículas finas y cenizas algunas veces liberando lava para volverse a enfriar o irrumpir liberando la energía acumulada.

D. FALLAS ASOCIADAS AL SISTEMA DE FUENTES SÍSMICAS

La relación entre los terremotos y los distintos sistemas de falla o fuentes sísmicas a su vez generan deformaciones al interior de la placa del Caribe, produciendo fallas secundarias como las de Jalpatagua, Mixco, Santa Catarina Pinula, etc. En resumen, durante el siglo XX han ocurrido unos 70 terremotos en Centro América, de estos, 40 están asociados a fallas superficiales cercanos al arco volcánico, 20 en la zona de subducción y 6 en la falla de Chixoy-Polochic y Motagua. Según algunos autores como R. White, M. Carr y D. Harlow la fuente principal de amenaza sísmica son las fallas superficiales cercanas al arco volcánico y para la mayoría de ciudades.

Los terremotos producidos por este tipo de fallas son de magnitud moderada $4.0 < M < 6.5$, muy superficiales $h < 15.0$ Km., y ocurren con una frecuencia de 1 por cada 2.5 años.

Figura 3 Fallas principales y asociadas de Guatemala



(Fuente: Diagnóstico para la Prevención de Desastres Naturales en Guatemala)

E. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE EVENTOS SÍSMICOS EN GUATEMALA

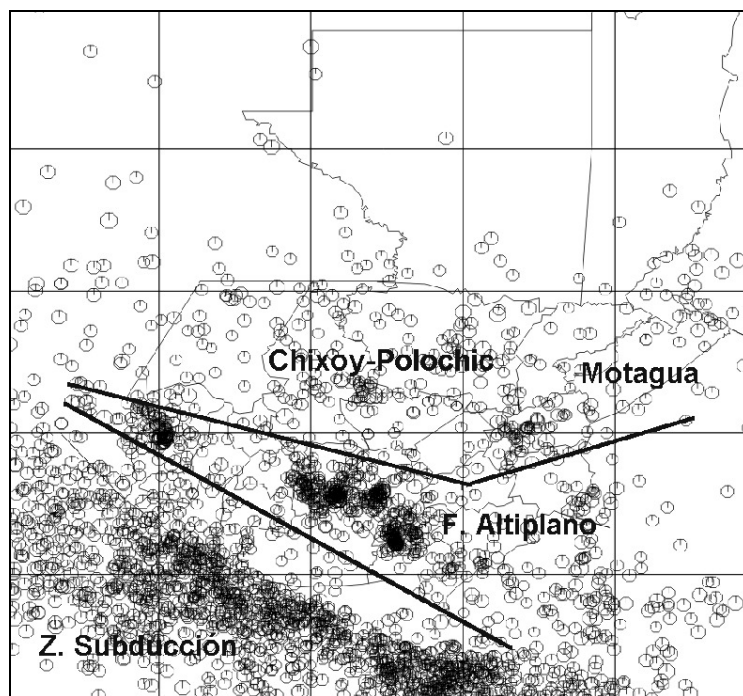
A continuación se presenta parcialmente y de manera sintética un documento del departamento de geofísica del INSIVUMEH. En su informe de eventos sísmicos del mes de febrero de año 2,006 identifica la localización de los temblores, donde permite visualizar los

sistemas de fallas activas y su relación con la tectónica local. Las principales fuentes sísmicas en Guatemala como lo indica el informe son: la zona de subducción, límite entre las placas Cocos-Caribe; los sistemas de grandes fallas de Chixoy-Polochic-Motagua, límite entre las placas Norteamérica-Caribe; y los sistemas de fallas al interior de la placa de Caribe, en la región del Altiplano, como las fallas de Mixco, Santa Catarina Pinula, Jalpatagua, graben de Ipala, entre otros. El informe también indica que anualmente, el 65% a 70% de los eventos sísmicos tienen origen en la zona de subducción, el 15% a 20 % en los sistemas de fallas del Altiplano y el 5% a 10 % esta asociada a los sistemas Chixoy-Polochic-Motagua.

La figura 4 muestra la distribución de epicentros a profundidades menores de 30 kilómetros de eventos sísmicos ocurridos en Guatemala desde 1984 al 2005. La localización de cada evento con los registros de las estaciones de la red sísmica nacional se indica por un círculo que representa el epicentro. La figura permite ver con mayor claridad los límites que marcan el contacto entre placas y otros sistemas de fallas superficiales. En el eje vertical se indica la latitud Norte y en el eje horizontal la longitud Oeste. Las fuentes sísmicas que mejor se observan son la zona de subducción, que es la que va a todo lo largo de la costa Sur, e indica las fallas en la región del Altiplano, principalmente en los departamentos de Chimaltenango, Guatemala, Santa Rosa, Jutiapa, San Marcos y en la región del Trifinio (límite Honduras-El Salvador-Guatemala). En forma más dispersa se observa la actividad sísmica asociada a los sistemas de grandes fallas Chixoy-Polochic y Motagua. Algunas concentraciones de eventos se observan al Este del Quiché, siguiendo el límite departamental entre Alta y Baja Verapaz, y en los departamentos de Zacapa, Izabal y en la

Bahía de Amatique. Las líneas sirven para delimitar en forma aproximada las principales fuentes sísmicas.

Figura 4 Distribución de epicentros período de 1984 al 2005 de Guatemala



(Fuente: Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología E Hidrología)

F. PRINCIPALES EVENTOS SÍSMICOS DEL SIGLO XX EN GUATEMALA

A continuación se presenta una síntesis con ideas del sitio de Internet www.insivumeh.gob.gt del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala que contiene una recopilación de los parámetros más importantes, así como algunos comentarios de carácter macrosísmico, de los principales eventos sísmicos ocurridos en el siglo XX en el territorio nacional.

El terremoto del 18 de abril de 1902:

A las 20:23:50 horas ocurrió un sismo fuerte que ocasionó daños principalmente en Quetzaltenango y Sololá. La magnitud del evento $M=7.5$ y localización en la latitud 14.90° N, longitud 91.50° W y 60 Km. de profundidad aproximadamente. Se reportaron aproximadamente 200 personas fallecidas.

El terremoto del 8 de marzo de 1913:

A las 08:55 horas el principal acontecimiento fue la destrucción de Cuilapa, cabecera departamental de Santa Rosa, reportó muchas víctimas. Éste y otros eventos sucedidos en los fallamientos del Norte son de poca profundidad (5 a 6.5 Km.) y magnitud, por lo tanto de carácter muy local y abarcan un perímetro muy reducido del epicentro. No se tiene localización exacta del epicentro.

Los terremotos de 1917 y 1918:

De una serie de sismos, se reconocen estos dos eventos como los de mayor trascendencia. El 27 de noviembre de 1917, próximo a la capital, se produjo un evento cuyos efectos más fuertes se sintieron en el municipio de Villa Nueva, equivocadamente considerado parte de la actividad del volcán de Pacaya. La actividad se continuó percibiendo en los días posteriores, hasta que el día 26 de diciembre a las 05:21:00 horas, un evento mayor destruyó gran parte del centro de la capital y áreas aledañas. A esta le sucedió otra, una posible réplica, a las 06:18:00 horas. A pesar de la destrucción del edificio del Diario de Centro América, a principios de 1918 de la información recuperada, se reporta que el fenómeno tuvo la misma intensidad por

lo menos 50 km. en los alrededores de la capital. Se reportaron más de 250 personas muertas. El 4 de enero de 1918, a las 04:30.10 y 04:32.25 horas, dos nuevos sismos sacudieron la ciudad. La finalización de la fuerte actividad lo marcó un evento el 24 de enero aproximadamente a las 07:30 horas, donde se reportaron bastantes daños desconociendo la localización del hipocentro. El evento, según el informe del 27 de febrero de 1918 del Sr. T. C. Morris, fue de intensidad V en la escala de Rossi-Forel y no de IX como fue catalogada, de intensidad equivalente a VI MM, en la escala modificada de Mercalli.

El terremoto del 6 de agosto de 1942:

A las 23:36.98 horas se registró el terremoto de mayor magnitud hasta la fecha $M_s=8.3$, de localización latitud 13.9° N y longitud 90.8° W, de 60 km. de profundidad. Los reportes indicaron que en el departamento de Guatemala, en los municipios de: Amatitlán, 253 casas con daños leves, 99 destruidas y 196 con daños de consideración; en Villa Nueva, las paredes de algunas casas se derrumbaron, no se registraron muertos; en San Pedro Sacatepéquez, ligeros daños en edificios; en San Juan Sacatepéquez, los edificios municipales y varias casas con desperfectos; y se sintió en el resto de los municipios, pero no se registraron problemas. En el departamento de Sacatapéquez, el Palacio de Los Capitanes Generales, algunos templos católicos y casas particulares sufrieron daños de poca consideración, derrumbes en la carretera entre la capital y la ciudad de Antigua Guatemala. En la cabecera departamental de Chimaltenango, edificios públicos y privados sufrieron desperfectos; en los municipios de Comalapa, Tecpán y Patzicía, varios edificios y casas destruidas, algunos muertos; en Acatenango prácticamente fue

destruida, hubo bastantes muertos; y en el resto de los municipios ligeros daños materiales fueron reportados. En el departamento de San Marcos, en la cabecera departamental se dañaron varios edificios públicos, en el resto de los municipios fue sensible, pero no se reportaron daños. En los Departamentos de Totonicapán, El Quiché y Sololá, daños ligeros en casas, siendo sensible en casi todos los municipios. En el Departamento de Escuintla, varios edificios, entre ellos la jefatura de policía y varias casas fueron destruidos, no se reportaron muertos. En el Departamento de Huehuetenango se sintió fuerte. En los departamentos de Santa Rosa, Chiquimula, Alta y Baja Verapaz, se reportaron pocos daños materiales, siendo sensible en casi todos los municipios.

El terremoto del 20 de febrero de 1959:

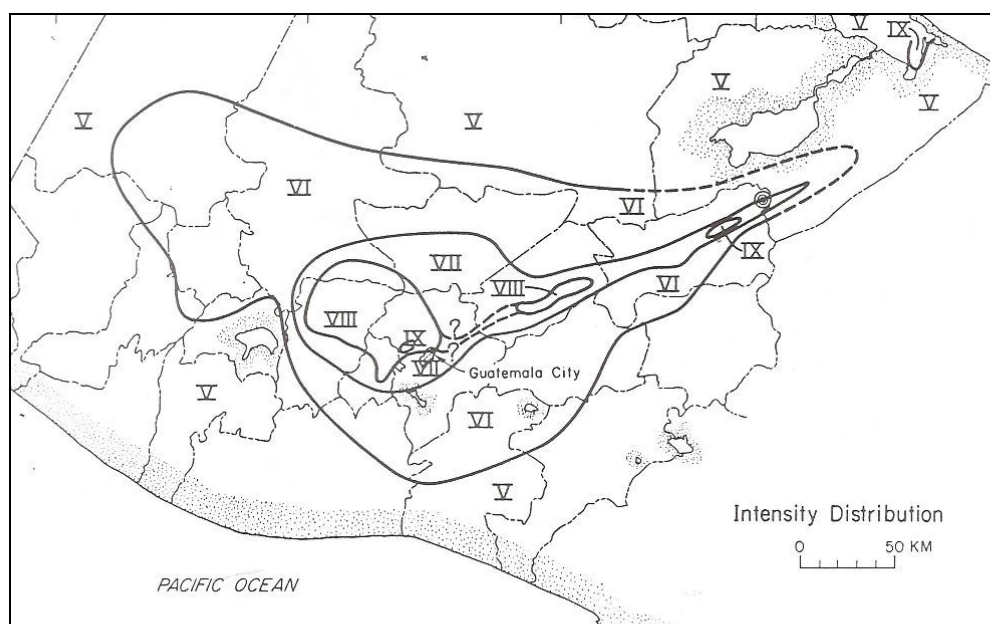
Se registró a las 18:16.33 horas, considerado como uno de los eventos más destructores al Norte del territorio nacional, la localización latitud 15.94° N y longitud 90.59° W, 48 Km. de profundidad. La población más afectada fue en Ixcán, El Quiché.

El terremoto del 4 de febrero de 1976:

De los grandes terremotos en Guatemala, el evento de 1942 fue el de mayor magnitud del siglo XX, sin embargo no el más destructor. Siendo el terremoto de 1976 que más daño causó, registrado el día 4 de febrero a las 03:03:33 hrs., localizado en la latitud 15.32° N y longitud 89.10° W, de características superficiales, magnitud $M_s=7.5$ alrededor de 5 Km. de profundidad. Las mediciones de desplazamiento horizontal de las rupturas, fueron de más de tres metros en algunas partes a lo largo de la falla. Las aceleraciones muy

altas ocasionaron la destrucción de miles de viviendas en las zonas adyacentes, incluyendo el valle de la ciudad capital y la activación del sistema de fallas de Mixco. Se registraron cerca de 25,000 muertos y 75,000 heridos y aunque no se fijaron cifras exactas, se calcula que las pérdidas excedieron un mil doscientos cincuenta mil millones de dólares estadounidenses (Espinoza, 1976).

Figura 5 Distribución de intensidades del terremoto de 1976



(Fuente: Diagnóstico para la Prevención de Desastres Naturales en Guatemala)

El terremoto de Uspantán del 11 de octubre de 1985:

Registrado a las 03:39.17 hrs., se considera trascendente por haber destruido una ciudad casi por completo, característico de los fallamientos del Norte, superficial de 5 Km. de profundidad, localizado en la latitud 15.3° N y longitud 90.9° W, de magnitud $M=5.0$ grados;

posiblemente el evento de menor magnitud con efectos destructores en el presente siglo.

El terremoto de Pochuta del 18 de septiembre de 1991:

El sismo se produjo a las 03:48:13 horas de magnitud $M_s=5.3$, con epicentro de latitud $14^{\circ} 24.12' N$ y longitud $91^{\circ} 03.06' W$ de profundidad focal de 32 Km. en la región Sur-Oeste de Chimaltenango, causando daños por lo menos el 80% de la población de San Miguel Pochuta, y en la zona de mayor daño se registró una intensidad máxima de VII MM. Posteriormente se desarrolló un enjambre sísmico que en las primeras 24 horas generó al menos 436 réplicas de magnitudes entre $M_c=6.0$ a 4.0. La mayor parte los destrozos fueron ocasionados a viviendas de adobe. Debido a la composición geológica del lugar se adicionaron una gran cantidad de derrumbes que desviaron de sus causas a los ríos El Jiote y Nicán provocando correntadas de lodo en los alrededores. El saldo final fue de 25 personas muertas, 185 con heridas de consideración y aproximadamente 2,300 viviendas destruidas.

El terremoto de Tucurú del 19 de diciembre de 1995:

A las 14:56:06 horas se registró un sismo de magnitud $M=5.3$ en la escala de Richter, localizado en la latitud $90.154^{\circ} N$ y longitud $15.301^{\circ} W$ a una profundidad de 10 Km. Murió una persona y varias más resultaron heridas por derrumbes. Se reportaron algunas casas dañadas en San Miguel, Tucurú y Tamahú, también hubo varios deslizamientos de tierra en la región del epicentro. La máxima intensidad reportada fue IV en Cobán, Alta Verapaz y fue sensible en la ciudad capital, de intensidad III.

El sismo del 10 de enero de 1998:

En la zona de subducción, frente a las costas de Retalhuleu y Suchitepéquez, a las 02:20:10 horas, un sismo de magnitud $M_c=5.8$ de epicentro localizado $14^\circ 00.13'N$ y $91^\circ 45.60'W$ con una profundidad de 33.0 km. y intensidad VII MM, generó una serie de réplicas hasta el 20 de enero. El evento principal, fue seguido de otro a las 02:37:31 horas, $M_c= 4.4$ de menor magnitud. Esta actividad produjo alrededor de 600 sismos entre el 10 y el 12 de enero, de los cuales 24 fueron sensibles. Hasta el 20 de enero se reportaron 35 sismos, con magnitudes entre $M_c=3.3$ y $M_c=5.8$, que produjeron daños en Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, San Marcos, Sololá, Totonicapán, Escuintla y la ciudad capital. El reporte de CONRED indicó 4 personas heridas, 520 personas afectadas por la destrucción de viviendas, 5 casas afectadas severamente, 1 dañada moderadamente y 20 con daños menores; hubo 8 derrumbes, 1 incendio y algunos postes cayeron.

El sismo del 2 de marzo de 1998:

El evento se produjo a las 20:24:46 horas, de intensidad V MM y magnitud $M_c=5.6$ de epicentro localizado en $13^\circ 52.92' N$ y $91^\circ 52.38' W$ y 33 Km. de profundidad en la zona de subducción frente a las costas de Retalhuleu y Suchitepéquez. Después de una serie de réplicas, se registró un segundo evento de $M_c=4.8$ a las 22:18:19 horas. Se generaron aproximadamente 400 sismos hasta el 7 de marzo, siendo sensibles 11 magnitudes entre $M_c=3.5$ y $M_c=5.6$; no se reportaron pérdidas humanas, pero ocasionó daños materiales en Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, San Marcos y la ciudad capital.

V. ESCALAS DE MAGNITUD Y ESCALAS DE INTENSIDAD

La magnitud y la intensidad miden características diferentes de los terremotos. La magnitud mide la energía liberada en la fuente o epicentro del terremoto y es instrumental mediante la medición en los sismógrafos. La intensidad mide la fuerza del movimiento o temblor producido por el sismo en un lugar específico y se determina mediante los efectos sentidos por las personas, de los espacios creados por el hombre y el entorno natural.

A. TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS

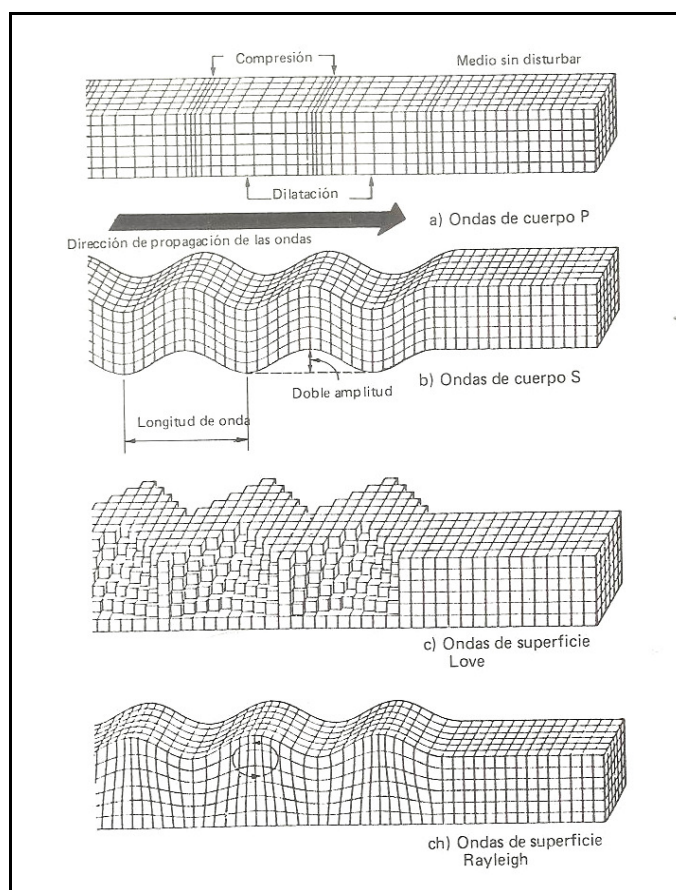
Para determinar la forma en que va a vibrar el terreno durante un sismo es preciso conocer las características de las ondas sísmicas y la forma en que la energía es irradiada a través de la corteza. A continuación a grandes rasgos se explican algunos fundamentos de las mismas.

Las ondas de cuerpo (Mc) se transmiten en el interior de la tierra y propagan según la composición y densidad de suelo transmitiendo los temblores o vibraciones de primer-arribo así como otras vibraciones tardías de los sismos. Las ondas de cuerpo se clasifican en Ondas P o primarias y las Ondas S o secundarias.

Las Ondas P son compresivas o de longitud y hacen que el suelo se comprima y dilate en la dirección de la propagación de las ondas, y viajan a un poco menor que el doble de la rapidez que las Ondas S,

no siendo tan destructivas como estas y las otras posteriores. Las Ondas S conocidas como ondas transversales o de corte se desplazan por el suelo en el sentido perpendicular a la propagación y viajan a un 60% de la velocidad de las Ondas P en ciertos medios, y su amplitud es varias veces más grande que las Ondas P.

Figura 6 Tipos de ondas sísmicas



(Fuente: USGS Earthquake Hazard Program)

Las ondas de superficie se manifiestan con mayor frecuencia en sismos poco profundos y se clasifican en dos clases siendo las Ondas L (Ondas de Love) y las Ondas R (Ondas de Rayleigh). Las Ondas L tienen un movimiento transversal y vibran en un plano paralelo a la superficie y perpendicularmente a la dirección de la propagación.

Las Ondas R tienen movimientos tanto transversales como longitudinales, el movimiento es elíptico y paralelo a la propagación, son parecidas a las ondas del sonido. Estas ondas también pueden ser medidas por los sismógrafos que se caracterizan por tener rangos amplios de frecuencias y el período de las ondas más destructivas usualmente es de diez o más segundos.

B. ESCALAS DE MAGNITUD

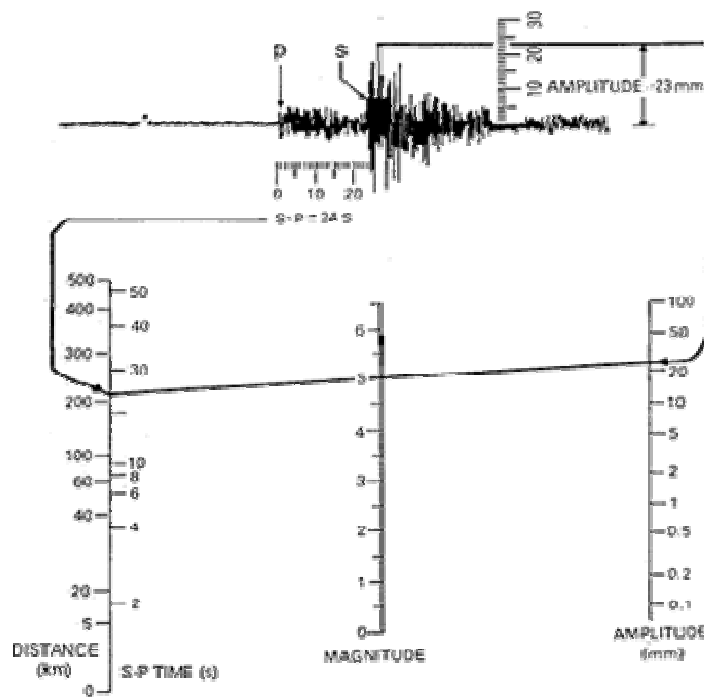
La magnitud se expresa en números arábigos y caracteriza el tamaño de un sismo midiendo indirectamente la cantidad de energía liberada. La magnitud es una medida cuantitativa e instrumental del tamaño del evento, relacionada con la energía liberada durante el proceso de ruptura en la falla. La magnitud es una constante única que se asigna a un sismo dado y es independiente del sitio de observación.

La escala de magnitud local "ML" conocida popularmente como la Escala de Richter es una escala logarítmica cuantitativa. En el año 1935 el sismólogo Charles F. Richter creó una escala numérica simple para describir el tamaño relativo de los sismos locales en California. La magnitud ML se obtiene de medir la máxima amplitud del registro de un sismómetro de torsión del tipo Wood-Anderson o uno calibrado para obtener datos relativamente de alta frecuencia de sitios cercanos menores de 100 kilómetros del evento sísmico. La escala de Richter está expresada en escala logarítmica, se designa con la letra "M" y la Magnitud Richter se define como:

$$M = \log A - \log A_0$$

Donde: "A" es la máxima amplitud del trazo registrado por un sismómetro a cierta distancia del foco, y "Ao" es el trazo máximo para un evento tomado como patrón, sea un evento normalizado. Richter definió la magnitud de sismos locales como el logaritmo en base 10 de la máxima amplitud de la onda sísmica, expresada en milésimas de milímetro (micrones), registrada en un sismómetro estándar a una distancia de 100 kilómetros del evento. Es importante señalar que por cada incremento en una unidad de la magnitud corresponde a un aumento de la energía sísmica liberada en un factor de aproximadamente 32 veces. Entonces un sismo de magnitud $M = 7.5$ es por ejemplo es 316.23 veces más fuerte que un sismo $M = 5.0$, o sea se necesitan esa cantidad de sismos $M = 5.0$ para ocasionar el daño de un sismo $M = 7.5$ de mayor magnitud.

Figura 7 Determinación de magnitud de un sismo



(Fuente: USGS Earthquake Hazard Program)

Con la implementación de estaciones de sismómetros en el mundo se volvió aparente que el método desarrollado por Richter era únicamente válido para cierta frecuencia y distancia. En la práctica actualmente existen varias escalas de magnitud, según el tipo de onda sísmica en que se basa la medición de la amplitud, entre éstas: la magnitud de las ondas de cuerpo (Mc), la magnitud de ondas de superficie (Ms).

Cada una de estas magnitudes está calibrada para registrar valores similares a los de la escala de magnitud local, pero como se basan en una parte del sismograma, son incapaces de medir la fuerza global de la fuente y se saturan para valores más altos de magnitud y no son confiables de reportar magnitudes de eventos mayores. Este problema se genera alrededor de la magnitud 6 de las escalas de magnitud local y para las ondas de superficie se saturan arriba de 8. A pesar de las limitaciones de las escalas antiguas de magnitud, éstas aún se utilizan debido a que los cálculos se realizan rápidamente, al fácil acceso a catálogos de registros anteriores y se está más familiarizado con estos.

Debido a las limitaciones de las escalas de magnitud, se desarrolló la escala de magnitud de momento sísmico (Mm) que provee información del tamaño físico del terremoto, el tamaño de la ruptura de la falla y del desplazamiento y longitud del deslizamiento de la corteza, así como de la energía liberada. El momento sísmico también se estima de los sismógrafos y se puede obtener de las estimaciones geológicas del tamaño de la ruptura y desplazamiento de la falla. Los valores de los momentos no se ven afectados por condiciones locales y su amplio y variado rango de magnitudes facilita comparar objetivamente los tamaños de los terremotos.

Estas características, además de su inmunidad a saturarse para magnitudes elevadas y compatibilidad con otras escalas de magnitud llevó a Tom Hanks y Hiroo Kanamori a introducir la escala de magnitud de momento en el año 1979 para representar el tamaño absoluto de un terremoto.

C. ESCALAS DE INTENSIDAD

Las intensidades generalmente se indican en una escala por números romanos, que representan la severidad del movimiento del suelo de un terremoto en un sitio específico. El parámetro "intensidad", como medida de la fuerza del movimiento del terreno generado por un evento sísmico y del grado de vibración en que es sentida y registrada en una determinada localidad, no es un valor único porque depende de la distancia del observador a la fuente sísmica. La intensidad, aún que es una apreciación subjetiva y no-instrumental de los efectos aparentes producidos de un evento sísmico, empleando una escala determinada que asigna grados a la forma en que la vibración del terreno es sentida, y según los daños a las edificaciones en un sitio, sigue siendo un parámetro empírico muy útil para describir los efectos de los terremotos.

En siglo XIX la escala de intensidad generalizada se conoce como la Escala Rossi-Forel que consta de diez niveles de intensidad. La escala fue revisada por el vulcanólogo Giuseppe Mercalli en los años 1883 y 1902, adoptando el nombre de la Escala de Intensidad de Mercalli o la Escala de Mercalli. La escala fue rescrita en su totalidad y ampliada a doce grados por el geofísico August Heinrich Sieberg y se conoció como la escala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), la escala se

fue modificando por otros profesionales hasta que fue mejorada por Charles Richter y se conoce como la Escala Modificada de Mercalli, comúnmente abreviada (MM).

Los niveles bajos de la escala están asociados por la forma en que las personas sienten el temblor, mientras que los grados más altos se relacionan con el daño estructural observado. Las escalas de intensidad han evolucionando y una componente muy importante que se adicionó, es la vulnerabilidad de las construcciones ya que el daño que un sismo puede ocasionar depende precisamente de las técnicas de ingeniería, diseño, materiales, mano de obra y construcción de las edificaciones, para determinar los grados más altos de la escala. En la actualidad ya existen escalas modificadas de Mercalli con grados de intensidad MMI, como la que se adjunta en el Anexo A, que toman en cuenta la vulnerabilidad de las construcciones de mampostería. Pero estas escalas se siguen actualizando y mejorando, que brindan la posibilidad de tratar distintos tipos de edificios en sus rangos de vulnerabilidad bajo un solo esquema, como la Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS-98 de la Comisión Sismológica Europea CSE que se muestra en el Anexo B.

El trabajo de graduación de la Universidad Del Valle de Guatemala del Ingeniero José Pérez, titulado *Propuesta de Modificación de la Escala de Intensidades Modificada de Mercalli (MMI) para Guatemala*, es una propuesta para incluir la vulnerabilidad de las viviendas de adobe para evaluar de manera más precisa y objetiva los daños a este tipo de construcción en el país. La escala MMI-PV del Ing. J. Pérez se puede apreciar en el Anexo C, que es una modificación de la Escala MMI donde se agregaron las observaciones de la vulnerabilidad de las viviendas de adobe para Guatemala.

Finalmente se agrega una tabla donde se comparan las magnitudes con las intensidades que típicamente se observan en sitios cercanos al epicentro de los terremotos. Es importante aclarar que estos valores son representativos y no deben aplicarse para correlacionar las escalas.

Cuadro 1 Comparación de escalas de magnitud/intensidad

Comparación Magnitud/Intensidad	
Magnitud	Máxima típica Intensidad modificada de Mercalli
1.0 - 3.0	I
3.0 - 3.9	II - III
4.0 - 4.9	IV - V
5.0 - 5.9	VI - VII
6.0 - 6.9	VII - IX
7.0 o más	VIII o mayor

(Fuente: USGS Earthquake Hazard Program)

VI. DESCRIPCIÓN GENERAL E IMPORTANCIA DE LA ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA EMS-98

La Escala Macrosísmica Europea, con una escala de 12 grados de intensidad fue diseñada con la cooperación conjunta de ingenieros y sismólogos, donde el término "Intensidad Macrosísmica" se define en el sentido de una clasificación de severidad del movimiento del suelo sobre la base de efectos observados en un área limitada. Para la clasificación de daños, incluye los materiales empleados en las edificaciones, e incorpora si las mismas cuentan o no, con un elemento esencial que es el diseño sismorresistente. La escala contiene una tabla de vulnerabilidades con seis clasificaciones, donde en un solo esquema permite tratar diversos tipos de edificios y diferentes rangos de vulnerabilidad combinado al aspecto sismorresistente. Solamente con lo expuesto anteriormente a juicio personal la aplicación de la escala EMS-98 brinda la mejor herramienta para el registro de las intensidades de un terremoto, donde comparando las distintas escalas en los anexos, se aprecia la clara ventaja de la misma.

A. DEFINICIONES DE GRADOS DE INTENSIDAD

La base para el establecimiento de la escala EMS-98 fue la escala MSK cuya actualización se fundamentó en las experiencias de los setentas deducidas de las aplicaciones de la escala de Mercalli y modificaciones sucesivas.

Las escalas recientes contienen mejoras, más claridad y consistencia, con ajustes para incluir técnicas de construcción reciente, con un componente muy importante de reducir el nivel de incertidumbre del juicio individual al asignar un grado de intensidad con esta escala.

El concepto de escala de intensidad es un sistema netamente de clasificación jerárquica de 12 grados (ver Anexo B), que permite recopilar la descripción de los efectos de un terremoto, mediante un número romano, asociados a los efectos que provoca sobre un número de objetos que se encuentran en el ambiente cotidiano. El análisis e interpretación de los efectos que ocasiona un sismo sobre los objetos, hace de estos los sensores como su instrumento de medición subjetivo, pero una herramienta que puede dar un parámetro muy útil de registro a través de una escala. Estos sensores se han utilizado durante años en las escalas de intensidad, que para la escala EMS-98 se dividen en cuatro grupos, donde cualquier efecto particular en uno de estos sensores se considera como un diagnóstico. Es importante señalar que esta escala se concentra mayormente en los primeros tres grupos.

Grupo 1 Seres vivientes - personas y animales. Conforme aumenta la intensidad una mayor proporción de gente o animales (a) nota las vibraciones, y (b) se asusta debido a ellas. (Escala Macrosísmica Europea 1998, 2003:21)

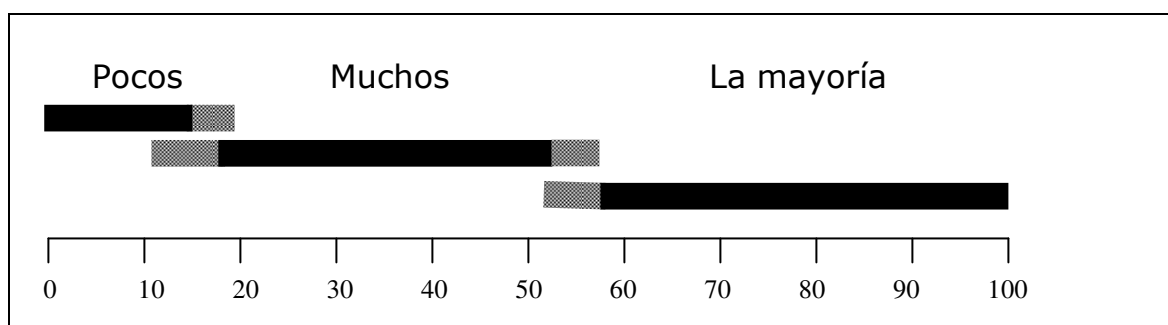
Grupo 2 Objetos ordinarios. Conforme la intensidad aumenta, un mayor número de objetos domésticos ordinarios (utensilios de cocina, libros) empiezan a vibrar, desordenarse y a caerse al suelo. (Escala Macrosísmica Europea 1998, 2003:21)

Grupo 3 Edificios. Conforme aumenta la intensidad los edificios experimentan progresivamente más daños. (Escala Macrosísmica Europea 1998, 2003:21)

Grupo 4 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. (Escala Macrosísmica Europea 1998, 2003:22)

Por aparte la escala brinda como un elemento estadístico, el uso de términos cuantitativos expresados como “pocos”, “muchos” y “la mayoría o casi todos”, que se definen en tres rangos angostos continuos de porcentajes de 0-20%, 20-60% y 60-100%, que se pueden apreciar en el cuadro adjunto.

Cuadro 2 Escala de términos cuantitativos



(Fuente: Escala Macrosísmica Europea EMS-98)

B. TIPOS DE EDIFICIOS Y CLASES DE VULNERABILIDAD

La escala utiliza una tabla de vulnerabilidad para categorizar de manera manejable y consistente la diferencia de resistencia de las estructuras de los edificios con respecto a su respuesta a las vibraciones ocasionadas por terremotos (vulnerabilidad), la cual esta dividida de forma decreciente en seis clases (A – F). En otras palabras, un mismo grado de intensidad puede destruir una vivienda de adobe pero tendrá un efecto mucho menor en un edificio de niveles múltiples construido con técnicas recientes. Además clasifica según el material los tipos de estructuras adicionado a si cuentan o no con un diseño sismorresistente.

Entonces como se puede observar en la tabla que se adjunta, las clases de vulnerabilidad representan: para la clase A, la resistencia de una vivienda "típica de adobe"; clase B, la resistencia de una construcción de ladrillos; clase C, una estructura de concreto reforzado (CR). Las clases D y E representan aproximadamente descensos lineales en vulnerabilidad debido al mejor comportamiento por el diseño sismorresistente (DSR), y acomodar casos de construcciones de madera bien construidas, mampostería reforzada o confinada y estructuras de acero. La clase F representa una estructura con el nivel más alto de diseño sismorresistente.

Cabe mencionar que existen distintos factores que afectan la vulnerabilidad sísmica del sistema estructural de las edificaciones además del tipo de construcción. Entre estos factores: la calidad y mano de obra; estado de preservación o mantenimiento; en cuanto a su configuración estructural, la regularidad horizontal y vertical; la

ductilidad, que representa la capacidad de la estructura a resistir cargas laterales en el rango post-elástico. El reforzamiento de edificios existentes para mejorar su capacidad sismorresistente; propiamente el diseño sismorresistente que se clasificaron según las técnicas de ingeniería en tres niveles (bajo, mediano y alto); y finalmente su importancia según su tipo de uso y cantidad de personas que albergan.

Cuadro 3 Diferenciación de estructuras de edificios en clases de vulnerabilidad

Tipo de estructura	Clase de vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E	F
MAPOSTERÍA Cantos rodados, rocas Adobe (ladrillo de tierra) Roca simple Roca masiva Sin refuerzo, con unidades de rocas manufacturadas Sin refuerzo, con pisos de concreto reforzado Reforzada o confinada						
CONCRETO REFORZADO Marco sin DSR Marco nivel moderado de DSR Marco con alto nivel de DSR Muros sin DSR Muros moderado nivel de DSR Muros con alto nivel de DSR						
ACERO Estructuras de acero						
MADERA Estructuras de madera						

○ Clase más típica de vulnerabilidad ——— Rango probable
 Rango de casos menos probables, casos excepcionales

(Fuente: Escala Macrosísmica Europea EMS-98)

La escala EMS-98 incorpora unas tablas de clasificación del daño ocasionado por un sismo para los distintos tipos de edificaciones según su material. La escala cuenta con dos tablas bien elaboradas y con un buen grado de estudio para la evaluación del daño, siendo las de clasificación de daño a edificios de mampostería y a edificios de concreto, que se adjuntan en el Anexo B. Los grados están influenciados mayormente por la necesidad de que la persona que reporta pueda describir clases de daños que puedan distinguirse fácilmente, que se clasificaron de 1 a 5 y representan un aumento lineal en la fuerza de vibración, y también dentro de la clasificación agrega la progresión de daño a estructuras con diseños sismorresistentes donde se nota que existe un intento de reconocer la diferencia entre daño estructural y no-estructural.

Finalmente, un tema a tratar de manera independiente es el Grupo 4 de efectos en entornos naturales, los cuales se agruparon bajo el término "Efectos Sismo-geológicos" que comúnmente se han incluido en las escalas de intensidad. En la parte final del Anexo B, se agrega la tabla de la relación de efectos sismo-geológicos y grados de intensidad.

Según el criterio de la Escala EMS-98, debido a que estos efectos son complejos y frecuentemente se ven influenciados por otros factores tales como estabilidad de taludes, el nivel freático del agua, contenido de humedad en el suelo, la propia geología del área, etc., el resultado es que muchos de estos efectos se pueden observar a lo largo de un rango amplio de intensidades como se puede apreciar en la tabla. Entonces, considera que la evidencia no es suficiente para

establecer una buena correlación entre estos efectos y los grados particulares de la escala.

El problema radica en que los efectos de la naturaleza en su mayoría dependen de factores geomorfológicos e hidrológicos complejos que no se pueden determinar fácilmente por el observador. Por el contrario, en las estructuras hechas por el hombre existen variaciones de vulnerabilidad que se pueden representar de una manera relativamente coherente y consistente.

Concluye la discusión, que los efectos de la naturaleza se deben utilizar con cautela y en conjunto con otros efectos, donde admite, que es mejor aceptar la restricción de asignar intensidades de baja confiabilidad y de poca utilidad.

VII. ELABORACIÓN DE LA ENCUESTA DIRIGIDA MEDIANTE LA ESCALA EMS-98

Como se mencionó anteriormente, la información más común después de un evento sísmico es su magnitud y la localización de su epicentro. Es importante determinar la extensión del lugar donde fue lo suficiente fuerte el movimiento del suelo, para estimar el daño que ocasionó en las áreas más afectadas. El país no cuenta con suficientes sismómetros para cubrir de manera rápida y eficiente todo el territorio, donde la aplicación escalas de intensidad macrosísmicas, para estimar la severidad del movimiento sísmico y el daño ocasionado, son una herramienta de gran utilidad.

Este estudio pretende elaborar una encuesta de intensidad sísmica adaptada para Guatemala, similar al cuestionario dirigido del centro de encuestas geológicas de EUA, calibrado por las razones planteadas en el capítulo anterior, con los parámetros establecidos en la Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS-98 de la Comisión Macrosísmica Europea.

Referente a la revisión y aplicación de la escala EMS-98 que permita evaluar la vulnerabilidad de construcciones de adobe en Guatemala, parte de la modificación de la escala se basará en el estudio del trabajo de graduación de la Universidad Del Valle de Guatemala del Ingeniero José Pérez Zarco titulado *Propuesta de Modificación de la Escala de Intensidades Modificada de Mercalli (M.M.I.) para Guatemala*.

Mediante la utilización de la información recabada a través de esta herramienta, se puede estimar la severidad del movimiento del sismo y del daño a las edificaciones e infraestructura e impacto socio-económico preliminar en la que se encuentra una determinada comunidad después de un evento sísmico. Un objetivo a corto plazo sería la posibilidad de implementar el cuestionario dirigido al centro de manejo de información del Sistema Integrado de Manejo de Emergencias SIME de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres CONRED, para la inmediata coordinación de recursos para la atención de la comunidad afectada.

A. GENERACIÓN DE MAPAS DE INTENSIDAD SÍSMICA MEDIANTE EL INTERNET

El uso de escalas de intensidad tradicionalmente se realiza principalmente mediante una encuesta de intensidad sísmica a través de un cuestionario dirigido y una visita de campo efectuado inmediatamente después de un terremoto. La información derivada de datos observables mediante esta herramienta es utilizada por investigadores para la predicción de estimaciones de pérdidas futuras ocasionadas por los eventos sísmicos, inclusive mediante relaciones de atenuación se realizan extrapolaciones para asignar intensidades supuestas en lugares más lejanos al epicentro del evento.

En la actualidad esta práctica ha cambiado, en los Estados Unidos la institución gubernamental U. S. Geological Survey USGS a través de su programa de desastres debido a terremotos en la página del sitio de Internet <http://www.earthquake.usgs.gov/> ha creado un cuestionario dirigido de intensidad macrosísmica "¿Lo sintió?" (Did

you feel it?), para que los usuarios de Internet mediante su código postal reporten su experiencia y a la vez compartan su información de los efectos de un evento sísmico colaborando para la rápida creación de mapas de intensidad macrosísmica y estimación de daño a través de mapas de intensidad de las comunidades de Internet (Community Internet Intensity Maps CIIMs). La contribución de los usuarios es un aporte enorme para establecer el alcance de una emergencia ocasionada por un terremoto y la información es de suma importancia para las investigaciones de riesgo sísmico y mitigación. La página del sitio de Internet también incluye cuestionarios de intensidad para que cualquier usuario, a nivel mundial, reporte un evento sísmico.

Para tener una mejor apreciación de lo expuesto con anterioridad es recomendable visitar el sitio del USGS, comprobando el enorme potencial y los alcances que se pueden obtener mediante el uso de las escalas macrosísmicas de intensidad. La enorme riqueza de la información ingresada de la participación de la población, de sus propias vivencias de los eventos sísmicos, ha tenido una respuesta muy positiva, sin precedentes, siendo un aporte muy valioso para la atención y mejor conocimiento del riesgo sísmico a nivel local y regional.

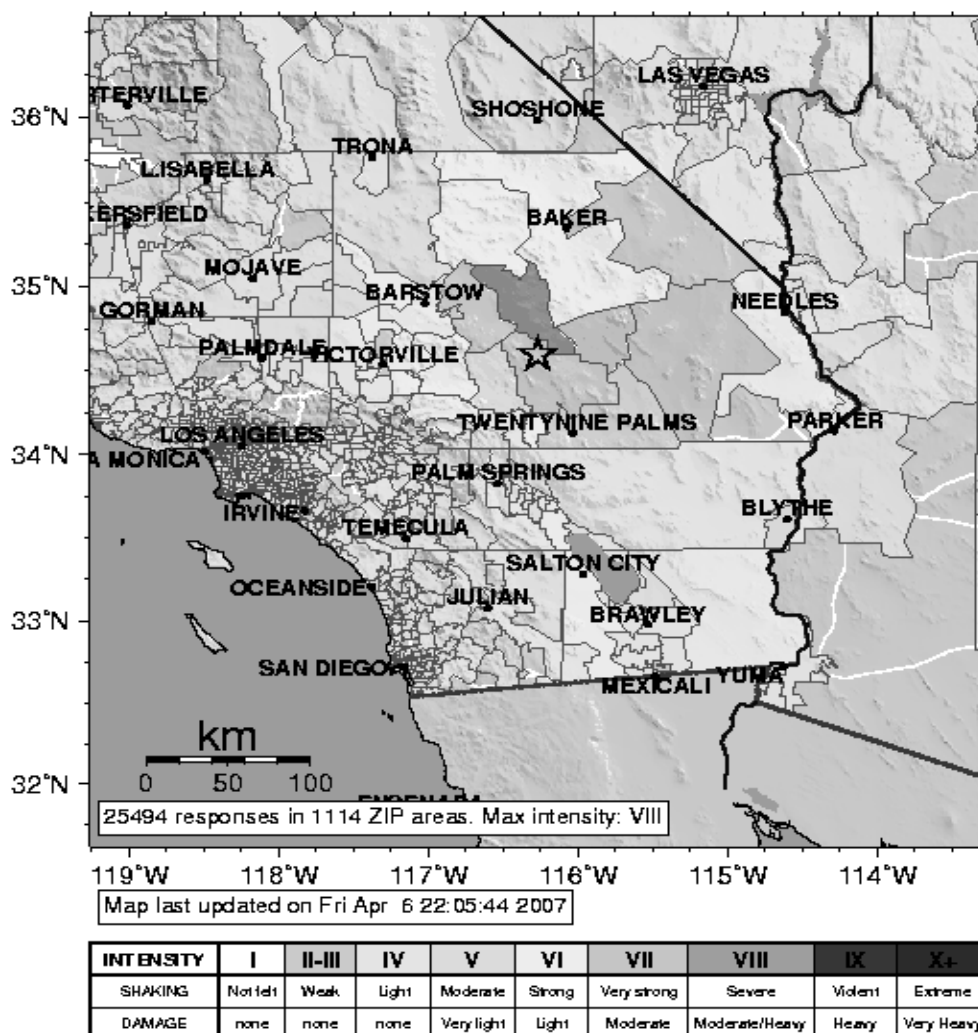
B. INCORPORACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE EN LA ESCALA EMS-98

El ingeniero José Pérez, en su trabajo de graduación de la Universidad Del Valle de Guatemala titulado *Propuesta de Modificación de la Escala de Intensidades Modificada de Mercalli (M.M.I.) para*

Guatemala (Anexo C), realiza una modificación de la Escala Modificada de Mercalli (MMI), donde fundamentado en observaciones a los daños a construcciones de adobe en dos sismos, establece una clasificación de daños a la escala MMI de la vulnerabilidad de las construcciones de adobe.

Figura 8 Mapa de intensidad macrosísmica

USGS Community Internet Intensity Map for Hector Mine (OCT 16 1999)
02:46:45 PDT Mag=7.1 Latitude=N34.60 Longitude=W116.27



(Fuente: U. S. Geological Survey)

Los sismos elegidos para el estudio son: el terremoto de La Perla, en el departamento de Jutiapa de Guatemala y el terremoto de El Salvador del 13 de enero del 2003. Se transcriben a continuación, únicamente las modificaciones a la escala MMI de los daños en los grados respectivos:

- III.** Algunas viviendas de adobe presentan pequeñas grietas.
- IV.** La mayoría de las viviendas de adobe presentan pequeños daños, algunas grietas en las esquinas y pequeñas rajaduras diagonales en los muros.
- V.** 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 y culatas.
- VI.** 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.** Viviendas de adobe desplomadas totalmente o presentando daños muy severos.
- VIII.** Casi ninguna casa de adobe sigue en pie.

Analizando la información, se pueden encontrar básicamente que la asignación de daño se realiza mediante una tabla de vulnerabilidad, en cuanto a la implementación a la escala EMS-98. La escala de clasificación de daño a edificios de mampostería solamente tiene cinco grados. Establece en la tabla de vulnerabilidad para el tipo de estructura de adobe, que la clase más típica de vulnerabilidad es la tipo A, aunque presenta un rango probable hasta el tipo B. Luego para

las construcciones de adobe, propiamente en las definiciones de grados de intensidad, la escala EMS-98 sugiere un mejor desempeño al daño, donde para construcciones de adobe tipo A establece su destrucción (daños de grado 5) para un grado de intensidad de X en la escala, dos grados arriba de lo expuesto en la escala MMI-PV.

Cabe mencionar que no es objeto de este estudio discernir si la escala modificada para Guatemala nombrada escala MMI-PV o la escala EMS-98, tiene o no una mejor clasificación del daño de las construcciones de adobe. El trabajo del ingeniero José Pérez tiene una sustentación de las observaciones de por lo menos dos sismos en la región de Centroamericana, y realizó una primera calibración del daño. Esto no implica que los daños a las construcciones de adobe no se sigan actualizando según la información de otros sismos más recientes, calibrando nuevamente la vulnerabilidad, los grados de daño y su clasificación en la escala EMS-98.

Entonces, este estudio basado en el la escala MMI-PV, incorpora el aporte de la misma, y propone modificar la escala EMS-98, para adaptar de la mejor manera posible las clasificaciones de daño a este tipo de construcciones, que reflejan la realidad regional de Guatemala. Como se mencionó, la escala EMS-98 tiene cinco grados para la clasificación de daño, y para mantener la integridad de la misma se agregan para la clasificación de daños a edificios de mampostería para las construcciones de adobe únicamente, los daños expresados de la escala MMI-PV de la siguiente manera:

Grado 1 *Daño leve*
Grietas en esquinas y pequeñas rajaduras diagonales en muros.

- Grado 2 *Daño moderado*
Dislocación de esquinas, grietas en forma de equis en muros, grietas moderadas en dinteles de puertas y ventanas. Daños serios o destrucción parcial en tímpanos y culatas.
- Grado 3 *Daño substancial a severo*
Dinteles fallados en ventanas y puertas, esquinas totalmente desacopladas, culatas o tímpanos destruidos.
- Grado 4 *Daño muy severo*
Desplomadas totalmente.
- Grado 5 *Destrucción*
Casi ninguna en pie.

La intención es ampliar y adaptar la información de daños observables de construcciones de adobe y no el de suprimir los daños ya expresados de la escala EMS-98, es lógico que no se puede desintegrar la consistencia de la clasificación de daños perdiendo toda la objetividad de la misma. Las similitudes se acoplan muy bien, con la excepción que se descarta el daño expresado en la intensidad III de la escala MMI-PV, que se considera muy mínimo y de poca consecuencia. Los términos de cantidades (algunos, muchos, la mayoría) fueron suprimidos porque se expresan en las definiciones de grados de intensidad en la escala EMS-98.

Según la escala MMI-PV, a continuación se ajustan las definiciones de grados de intensidad, incorporando la vulnerabilidad y clasificación de daños modificados de las construcciones de adobe, ya adaptadas para su integración a la escala EMS-98. Las construcciones de mampostería de adobe tipo A se clasifican de la manera siguiente:

- IV. Observado ampliamente
 - c) Muchos edificios vulnerables de clase A sufren daños grado 1.

- V. Fuerte
 - c) La mayoría clase A sufren daños grado 1 y muchos grado 2.

- VI. Daños leves
 - c) Muchos clase A sufren daños grado 3 y pocos grado 4.

- VII. Daños
 - c) La mayoría clase A sufren daños grado 4 y pocos grado 5.

- VIII. Daños severos
 - c) La mayoría clase A sufren daños grado 5.

- IX. Destructivo
 - c) Prácticamente todos los de clase A quedan destruidos.

En el anexo B, se puede apreciar la escala EMS-98 y comparar los daños originales con respecto a los propuestos. Es un tema sensible y subjetivo que únicamente mediante la calibración con observaciones en campo post-terremoto se pueden sustentar de una manera más técnica.

C. LIMITACIONES DE LAS ESCALAS DE 12 GRADOS

En general, las escalas de intensidad tienen doce grados. En la práctica funcionan como escalas de ocho grados. Raramente se utiliza la intensidad **I** "No se ha sentido" y de intensidad **II** "Sentido apenas"

que es tan débil, y no se reportan. En el otro extremo de la escala se encuentran las intensidades **X** "Muy destructivo" y **XI** "Devastador", que son difíciles de distinguir en la práctica, donde la intensidad **XI** casi ni se menciona. La intensidad **XII** "Totalmente devastador" describe los efectos máximos concebibles que no necesariamente se pueden observar en un terremoto. El rango de trabajo tiende a ser entre las intensidades **III** a **X**, que serán los límites objetivos que se emplearan para los resultados de intensidad para este estudio.

D. COMENTARIOS DE LA CLASIFICACIÓN DE DAÑO DE LA ESCALA EMS-98

La escala EMS-98 no cuenta con la clasificación de daños de todos los diferentes tipos de estructuras según su material, incluye únicamente la clasificación de daños a edificios de mampostería y de concreto reforzado.

Por lo que es difícil evaluar el daño a edificaciones por ejemplo como estructuras de acero, madera y de sistemas prefabricados para vivienda. Las clases de vulnerabilidad han sido determinadas mediante una escala de seis grados, de "A a F". Para las estructuras de acero la clase más típica es la "E", y para estructuras de madera la clase más típica es la "C". Los sistemas prefabricados, especialmente los de vivienda, obviamente no aparecen porque dependen de los países donde fueron ideados. La inclusión de otros sistemas constructivos y la creación de tablas de vulnerabilidad para las mismas esta fuera del alcance de este estudio, la cual se limita a adaptar y aplicar la escala únicamente las edificaciones establecidas en la escala.

Independientemente los cuestionarios o encuestas dirigidas de intensidad macrosísmica permiten la posibilidad de hacer comentarios adicionales sobre los daños, para que de alguna manera se pueda asignar una intensidad para este tipo de edificaciones. La información debe ser analizada por un técnico, donde la explicación del daño debe de clasificarse para introducirla a escala y asignar un grado de intensidad.

E. PROPUESTA DE LA ENCUESTA DIRIGIDA DE INTENSIDAD MACROSÍSMICA

Tomando como base principalmente el cuestionario de intensidad dirigido "¿Lo sintió?" (Did you feel it?), de eventos sísmicos no generados en el territorio de los Estados Unidos del U.S. Geological Survey, que se adjunta en el anexo D. Se elaboró una encuesta dirigida de intensidad macrosísmica, la cual se ha nombrado "¿Sintió el temblor? SET". La meta general es comparar las preguntas del cuestionario y adaptarlas a la información de la Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS-98 de la Comisión Macrosísmica Europea, creando una escala para las encuestas adaptada para Guatemala. Desde luego se incluirá cualquier otra información del cuestionario del USGS, que pueda coadyuvar a mejorar la encuesta SET, aún que no corresponda exactamente a la escala EMS-98, dicha información se adaptará a esta escala.

A continuación se presenta la encuesta dirigida SET, que se ha dividido en tres sectores básicos de indagación o de descripciones de los efectos de un sismo, siendo estos: a) los efectos que percibieron los seres humanos, b) los efectos sobre los objetos ordinarios y c) los

daños a las edificaciones. Como se expresó, la forma del cuestionario dirigido para Guatemala es muy similar al cuestionario de Internet del USGS. Con la diferencia que las preguntas indagan sobre las descripciones de los efectos de escala macrosísmica europea EMS-98, para precisamente facilitar la asignación de grados de intensidad a las respuestas de los usuarios. Con respecto a las preguntas no todas se utilizarán para la estimación de la intensidad, debido a que la información es de poca utilidad práctica y demasiado subjetiva para calificarse, pero enriquecen la consistencia de la escala.

Se ha creado una escala nombrada "Escala SET" que se adjunta en el Anexo E, propiamente para la encuesta dirigida SET, donde se pueden tomar las asignaciones de intensidades según lo reportado de las observaciones de los usuarios. Pueden haber casos especialmente donde los comentarios sobre las construcciones no están bien definidas, siendo necesario consultar la escala EMS-98, que es el fundamento del cuestionario de intensidad macrosísmica. Para facilitar la asignación de los grados de intensidad para las diferentes preguntas de la misma encuesta SET, se ha elaborado la encuesta en una hoja de Excel 2003, que facilita no sólo la introducción de la información, sino al mismo tiempo la asignación inmediata de intensidad por cada pregunta. En el disco compacto, se aprecia la encuesta SET como se presenta en la hoja de trabajo de Excel. La idea general de la encuesta, en buena medida, es la de mejorar la calidad de las descripciones, evitando observaciones o relatos de poca utilidad para asignar un grado de intensidad. La encuesta pretende orientar al usuario y en cierta medida obligar a que defina mediante sus respuestas un grado de intensidad, no permitiendo demasiada libertad haciendo que el proceso de estimar la intensidad macrosísmica se facilite.

REPORTE ¿ SINTIÓ EL TEMBLOR ?	
Usted puede colaborar dando información del temblor que sintió.	
Información de identificación (opcional) :	
Nombre y apellidos:	<input type="text"/>
Teléfono y/o correo electrónico:	<input type="text"/>
Lugar donde ocurrió el temblor:	
Departamento:	<input type="text"/>
Dirección/Aldea/Cantón/Caserío:	<input type="text"/>
Fecha y hora del temblor:	
Día: <input type="text"/>	Mes: <input type="text"/> Año: <input type="text"/>
Hora: <input type="text"/>	Minuto: <input type="text"/> AM/PM <input type="text"/>
¿Dónde se encontraba durante el temblor?	
¿Dónde estaba durante el sismo?	
<input type="checkbox"/> No responde	<input type="checkbox"/> Carro estacionado
<input type="checkbox"/> Adentro	<input type="checkbox"/> Carro en movimiento
<input type="checkbox"/> Afuera	<input type="checkbox"/> Otro
Si estaba adentro, ¿en que tipo de edificación?	
<input type="checkbox"/> Ninguna	<input type="checkbox"/> Edificio escolar
<input type="checkbox"/> Vivienda	<input type="checkbox"/> Edificio público
<input type="checkbox"/> Edificio de apartamentos	<input type="checkbox"/> Centro comercial
<input type="checkbox"/> Edificio de oficinas	<input type="checkbox"/> Otro
Si otro, descríballo:	<input type="text"/>
Si estaba adentro, ¿en qué nivel o piso se encontraba?	<input type="text"/>

SU EXPERIENCIA**¿Cuántos segundos duró el temblor?**

- 0-5 Segundos 11-15 Segundos más de 20 Segundos
 6-10 Segundos 16-20 Segundos

¿Cómo describe mejor el temblor?

- No responde/
No sintió [3-] Fuerte [5] Muy violento [8]
 Leve/Débil [3] Muy fuerte [6] Destructivo [9]
 Moderado [4] Violento [7] Muy destructivo/
Devastador [10+]

¿Cómo reaccionó en el temblor?

- No responde/No recuerda [3-] Asustado [6]
 Sintió/No o apenas reaccionó [3] Muy asustado [7]
 No alarmado [4] Extremadamente asustado [8]
 Alarmado/Poco asustado [5] Pánico general [9+]

¿Cómo respondió en el temblor?

- No responde/No recuerda
/No hizo nada [3-] Usted o muchas personas
corren afuera [6]
 Se pone de pie y/o
fue hacia la puerta [4] Usted o la mayoría tratan
de correr afuera [7]
 Usted o pocas personas
corren afuera [5] Se agachó/se refugió [8+]

Si otro, describa:

Si estaban durmiendo, ¿los despertó el temblor?

- No responde/No [3-] Muchas personas despiertan [5]
 Pocas personas despiertan [4] Casi todos despiertan [6+]

Otros cerca de usted, ¿sintieron el temblor?

- No sabe/Nadie cerca
/Nadie más [3-] Mayoría adentro y
pocos afuera [5]
 Pocos adentro, pero muchos no [3] Todos adentro y
muchos afuera [6]
 Muchos adentro y pocos afuera [4]

¿Le costó a la gente mantenerse de pie?

- No responde/No [5-] Muchos lo encuentran difícil,
aun afuera [8]
 Algunas pierden el balance [6] La mayoría cae bruscamente
al suelo [9+]

EFFECTOS A OBJETOS**¿Escuchó un traqueteo y otros sonidos?**

- No responde/No puso atención Sí, sonido leve
- No Sí, sonido fuerte

¿Las puertas se abren y cierran, o dañan?

- No se fijó/No responde Traquetean Oscilan mucho
- No Oscilan poco

¿Los cuadros u objetos colgados oscilan o caen?

- No se fijó/Sin cuadros/No [3-] Se desalinean, uno o pocos caen [5]
- Sí, oscilaron levemente [3] Muchos caen [6]
- Sí, oscilaron [4] La mayoría caen [7+]

¿Los objetos resuenan, vuelcan o caen de los entrepaños?

- No se fijó/Sin entrepaños/No [3-] Pocos vuelcan o caen [6]
- Traqueteo leve [3] Muchos caen [7]
- Traqueteo fuerte [4] La mayoría caen [8+]
- Pocos inestables vuelcan [5]

¿Los muebles o aparatos se mueven o vuelcan?

- No responde/Sin muebles/No [3-] Se desplazan mucho [7]
- Se desplazan poco [6] Se volcaron [8+]

¿Le afectó a algún mueble o aparato pesado (refrigerador)?

- No responde/Sin aparato/No [3-] Sí, se desplazó mucho /Se volcó [8+]
- Sí, se desplazó poco [7]

¿Se rajan o quiebran las ventanas?

- Sin daño [3-] Muchas se rajan /Pocas se quiebran [6]
- Una o pocas se rajan [5]

Indique el tipo de construcción:

- Adobe o bajareque Block o ladrillo no reforzado
- Block o ladrillo reforzado (Sin inspección profesional)
- Block o ladrillo reforzado (Con inspección profesional)
- Concreto reforzado (Construido antes de 1980)
- Concreto reforzado (Construido entre 1980 - 1995)
- Concreto reforzado (Construido después de 1996)
- Otro tipo (de acero, madera, prefabricada, etc.)

Indique el material del techo de la construcción:

- No responde Pesada de teja o baldosas
- Liviana de lámina De terraza o losa fundida

DAÑO A EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA**Daños y grietas en muros:**

- Sin daño Mayoría de muros, extensas
- Pocos muros, muy delgadas Fallas serias
- Muchos muros Colapso parcial o total

Daño al repello:

- Sin daño Caída de pedazos grandes
- Caída de pedazos pequeños

Daños a chimeneas:

- Sin daño Colapso parcial
- Grietas pequeñas Fractura en línea de techo /Colapso

Daños a techos:

- Sin daño Falla parcial
- Poco daño/Caída de tejas Colapso parcial o total

Otros daños a viviendas:

- Sin daño La vivienda se salió de los cimientos
- El corredor exterior techado se separo de la casa

Daños a muros aislados masivos exteriores:

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> No responde/Sin muros | <input type="checkbox"/> Sí, pocos colapso parcial |
| <input type="checkbox"/> No | <input type="checkbox"/> Sí, la mayoría colapsaron |
| <input type="checkbox"/> Sí, muchos agrietados | |

DAÑO A EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO**Daños a particiones y tabiques:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Sin daño | <input type="checkbox"/> Grietas grandes, caída de mortero uniones de muros |
| <input type="checkbox"/> Grietas delgadas | <input type="checkbox"/> Los muros de fachada se desprendieron del edificio |
| <input type="checkbox"/> Grietas moderadas, caída de acabado | |

Daño al concreto reforzado:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Sin daño | <input type="checkbox"/> Recubrimiento descascarado refuerzo torcido |
| <input type="checkbox"/> Grietas delgadas superficiales | <input type="checkbox"/> Falla a compresión y fractura del refuerzo |
| <input type="checkbox"/> Grietas profundas | |

Grietas y daños en miembros estructurales:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Sin daño | <input type="checkbox"/> Grietas en nudos y muros acoplados |
| <input type="checkbox"/> Grietas finas del acabado en marcos y muros | <input type="checkbox"/> Desplome o colapso de columnas y ruptura de nudos |
| <input type="checkbox"/> Grietas en columnas, vigas y muros estructurales | <input type="checkbox"/> Colapso de planta baja o parte del edificio |

Daño a otros tipos de construcción (Describa tipo y daños):
INTENSIDAD MACROSÍSMICA

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Intensidad por efectos sobre HUMANOS | <input type="checkbox"/> |
| Intensidad por efectos sobre OBJETOS | <input type="checkbox"/> |
| Intensidad por daños a CONSTRUCCIONES | <input type="checkbox"/> |

El objetivo fundamental es el de obtener lo más rápido posible la intensidad de un sismo. Bajo ningún punto de vista se pretende que la información que se obtenga mediante esta herramienta se asuma como la intensidad definitiva de un evento sísmico. La visita post-terremoto en la comunidad afectada es imprescindible, para una evaluación más profunda y obtención de información más calificada para determinación definitiva de la intensidad macrosísmica. No implicando con lo expuesto que la encuesta SET, no se pueda utilizar para las evaluaciones finales en visitas post-terremoto.

F. PLANTEAMIENTO DE LOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ENCUESTA SET

La Escala Macrosísmica Europea, agrupa en una tabla los diferentes tipos de estructuras y asigna a cada tipo una clase de vulnerabilidad, creando una escala de seis clases de vulnerabilidad decreciente (A-F). Aprovechando que esta escala incluye la diferenciación de estructuras en clases de vulnerabilidad, con el objeto de identificar con mejor certeza los tipos más generales de construcción en el país, se introdujo en la encuesta dirigida SET una clasificación que represente y determine o identifique con mayor precisión los tipos de construcción en Guatemala. Se requiere establecer una equivalencia con los tipos de construcción existentes en la tabla de vulnerabilidad de la escala EMS-98. Se plantea una clasificación, que como una primera aproximación puede ser discutible, pero para la intención de aplicar la escala, es una manera simple de incluir la tipología de construcción más conocida en nuestro medio. La clasificación de los tipos de construcción y clase de

vulnerabilidad se establece para la encuesta SET, de la manera siguiente:

Adobe o bajaraque	Clase A
Block o ladrillo no reforzado	Clase B
Block o ladrillo reforzado (Sin inspección profesional)	Clase C
Block o ladrillo reforzado (Con inspección profesional)	Clase D
Concreto reforzado (Construido antes de 1980)	Clase C
Concreto reforzado (Construido entre 1980 - 1995)	Clase D
Concreto reforzado (Construido después de 1996)	Clase E
Otro tipo (de acero, madera, prefabricada, etc.)	Ver EMS-98

Con respecto a la clasificación, las construcciones de mampostería (block o ladrillo) se dividieron en dos grandes grupos con una distinción simple pero efectiva para calificar la construcción mediante el criterio de inspección profesional. Las construcciones de concreto reforzado que esta enfocado a edificios, se clasificaron mediante períodos que se fundamentan en la aplicación de normas de diseño sismorresistente. Lo que se pretende es agrupar en ciertos rangos, la aplicación de las normas de códigos donde se realizaron modificaciones y actualizaciones, mediante investigaciones de ingeniería recientes en su respectiva época, para mejorar su comportamiento en el rango inelástico. Nuevamente es una manera simple y directa para distinguir el nivel de diseño sismorresistente sobre la base de parámetros de diseño de los códigos en un período determinado. Únicamente a través de personas calificadas mediante una evaluación post-terremoto se puede llevar a cabo una discriminación de otros factores que afectan la vulnerabilidad sísmica de los edificios.

Desde luego existen otros tipos de construcciones como las compuestas, por ejemplo: una vivienda con levantado de mampostería de un metro de altura combinado con estructura y forro de madera para el resto del muro, o una vivienda de madera montada sobre columnas de concreto; que deberán ser calificadas por profesionales según el daño ocasionado por un evento sísmico. Es importante notar que la escala EMS-98, tiene un alcance limitado que no necesariamente significa, que la intención principal de determinar una intensidad macrosísmica no sea posible para las construcciones no incluidas. El criterio para evaluarlas se establece en la escala y mediante la continua retroalimentación de información la escala permite mejorar la calidad de las descripciones.

Una vez adaptados y clasificados los tipos de construcción de nuestro medio y determinada la vulnerabilidad. Mediante la aplicación de la escala EMS-98 es necesario integrar la vulnerabilidad de los tipos de construcción en la escala de intensidad. El manejo de la vulnerabilidad es fundamental para la construcción de escala de intensidad. Como se puede observar en la escala SET propuesta, la asignación de los grados de intensidad para los daños a las construcciones se fundamenta en la escala EMS-98. En el cuadro 4 que se muestra a continuación, se presenta la clasificación de la clase de vulnerabilidad en los grados de intensidad.

Es importante notar que los términos cuantitativos (pocos, muchos, la mayoría) fueron suprimidas porque las respuestas corresponden a cada encuesta dirigida. Estos términos deberán evaluarse al consolidar las encuestas y asignar el grado de la intensidad del evento sísmico.

Cuadro 4 Tabla de clase de vulnerabilidad y grados de intensidad de la escala SET

Clasificación de clase de vulnerabilidad en los grados de intensidad de la escala SET									
Clase de vulnerabilidad	Grados de intensidad								
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Clase A	1	2	3	4	5				
Clase B		1	2	3	4	5			
Clase C			1	2	3	4	5		
Clase D				1	2	3	4	5	
Clase E					1	2	3	4	5
Clase F							2	3	5

En la tabulación final del procesamiento de las encuestas dirigidas, mediante los rangos de porcentajes que representan estos términos, será posible determinar la intensidad macrosísmica. En el desarrollo del trabajo, se expondrá la manera de procesar la información.

A continuación se agrega otro cuadro donde según la clase de vulnerabilidad asociado a los términos cuantitativos y a la clasificación de daño, se pueden apreciar las asignaciones de los grados de intensidad según la escala EMS-98. Mediante el uso de esta tabla se asignaron los grados de intensidad y clasificación de daño para la encuesta dirigida SET. Es importante señalar que en dicho cuadro, se incorporan las modificaciones en cuanto a la vulnerabilidad de las construcciones de abobe en Guatemala, que se ajustaron en la escala EMS-98, según el trabajo de graduación del Ing. José Pérez.

Cuadro 5 Asignación de la vulnerabilidad a la intensidad de la escala modificada EMS-98

Asignación de la vulnerabilidad a la intensidad según la escala EMS-98										
Clase de vulnerabilidad	Cantidades	Grados de intensidad/clasificación de daño								
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Clase A	Pocos Muchos La mayoría	1	2 1	4 3	5 4	5	5	5		
Clase B	Pocos Muchos La mayoría		1	2 1	3 2	4 3	5 4	5	5	5
Clase C	Pocos Muchos La mayoría			1	2	3 2	4 3	5 4	5 4	5
Clase D	Pocos Muchos La mayoría				1	2	3 2	4 3	5 4	5
Clase E	Pocos Muchos La mayoría						2	3 2	4 3	5
Clase F	Pocos Muchos La mayoría							2	3 2	5

VIII. ESTIMACIÓN DEL GRADO DE INTENSIDAD MACROSÍSMICA

Las descripciones de los efectos declarados, obtenidas de la encuesta dirigida “¿Sintió el temblor?” se pueden procesar para asignar una intensidad de la respuesta a cada una de las preguntas, donde es posible determinar el valor máximo de intensidad macrosísmica. La creación de una escala para la encuesta dirigida SET establece los valores intensidad para cada pregunta. La creación de la encuesta SET en una hoja de trabajo de Excel facilita procesar la información y determinar el grado de intensidad máximo. Esta aplicación permite generar rápidamente resultados reduciendo el tiempo del recurso humano de interpretar la información.

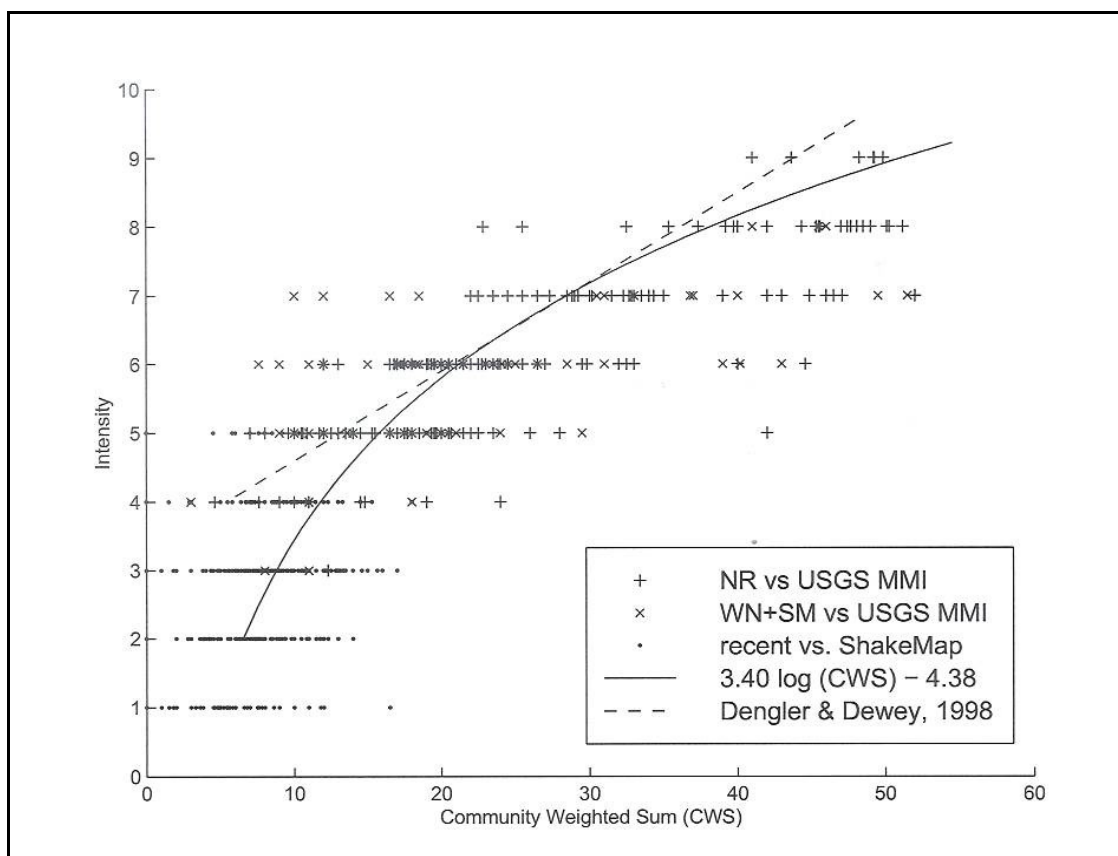
A continuación se discuten otros aspectos, que pueden influenciar la asignación de la intensidad macrosísmica, como también se abarca a grandes rasgos los algoritmos del propio procesamiento del cuestionario dirigido de US Geological Survey y de la encuesta dirigida de intensidad macrosísmica para Guatemala.

A. CÁLCULO DE INTENSIDAD DEL CUESTIONARIO DE INTERNET “DID YOU FEEL IT?” DEL USGS

El planteamiento del cuestionario dirigido del USGS y el método de asignación de intensidades se basó en un algoritmo desarrollado por Dengler y Dewey (1998). La información se recolecta de los usuarios de Internet donde deben de especificar su código postal regional, y la denominan como una “comunidad”. Donde se asignan

valores numéricos previamente calibrados en un rango de 0 a 5 de las respuestas del cuestionario (Anexo D), para calcular una intensidad decimal de comunidad (Community Decimal Intensity CII). Entonces para cada "comunidad" se obtiene un promedio de estos valores numéricos para cada pregunta, estableciendo una suma ponderada de los mismos (Community Weighted Sum CWS) mediante una ecuación igual a una sumatoria que pondera con un coeficiente cada pregunta que representa un índice (sintió, reacción, cuadro, mueble, daño, etc.) multiplicado por el promedio de las intensidades decimales.

Figura 9 Comparación de los valores CWS en intensidad USGS MMI



(Fuente: Utilization of the Internet for Rapid Community Intensity Maps, D. Wald, V. Quitariano, L. Dengler, and J. Dewey, 1999)

A partir de lo expuesto, los valores CWS se calibraron con el terremoto de Northridge para correlacionarlos y representarlos a la escala de intensidad USGS MM, que está basada en la escala de intensidad modificada de Mercalli (Wood and Newmann; 1931, Richter, 1958). La calibración desarrollada mediante el uso de regresión lineal por Dengler y Dewey, CDI (Community Decimal Intensity Scale), para convertir los valores CWS en un grado de la escala USGS MMI, se correlacionó mediante la ecuación "CDI=3.3+0.13CWS", la cual fue mejorada a través de una relación logarítmica que pueden compararse en la figura 9.

A. DISCUSIÓN SOBRE LA CORRELACIÓN CON OTRAS ESCALAS

Aunque es práctica común, la comisión sismológica Europea expresa que idealmente no se deben convertir valores de una escala de intensidad a otros valores relacionados con otra escala empleando fórmulas o tablas de conversión. Los datos deben ser procesados nuevamente utilizando la escala en la cual se expresarán los resultados. La comparación de escalas no es fácil y directa, ya que los valores pueden variar a lo que verdaderamente se expresa en otra escala, donde la interpretación real puede ser otra. Entonces, convertir o correlacionar escalas pueden no reflejar los resultados, la calidad de las descripciones se distorsiona y el nivel de incertidumbre del grado de intensidad se incrementa. Lo mismo sucede al extrapolar valores observados de un sitio para asignar una intensidad supuesta para otro, la intensidad puede no reflejar los efectos sentidos de un sismo en esa localidad en el sentido estricto de la escala.

A juicio personal, claramente se evidencia esta limitación respecto al cálculo de la intensidad macrosísmica del cuestionario del USGS. No se pretende sugerir, que la aplicación de un factor de conversión de algún tipo implica la invalidación de un resultado macrosísmico, debido al hecho que la escala no se está utilizando en la forma convencional. Para finalizar, para los propósitos de este estudio, para aplicar la escala EMS-98 como lo establece la comisión, no se empleará la práctica de correlacionar los efectos observados para asignar la intensidad macrosísmica de determinado sitio.

B. ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD MACROSÍSMICA DE LA ENCUESTA SET “¿SINTIÓ EL TEMBLOR?”

En la siguiente discusión se abarcan algunas otras consideraciones del planteamiento para estimar la intensidad macrosísmica de la encuesta “¿Sintió el temblor?” SET para Guatemala.

Ante todo, como se mencionó, las descripciones de los efectos declarados, obtenidas de la encuesta dirigida, se pueden procesar para asignar una intensidad expresada por un número entero de la respuesta a cada una de las preguntas, según la escala SET. En otras palabras, permite asignar grados de intensidad a las respuestas de la encuesta dirigida. La comisión de la escala EMS-98 permite expresar la intensidad en un rango de valores “6-7” que no implica un valor intermedio; o cuando la exactitud no se puede mejorar, determinaciones vagas tales como “<6 ó 7>”, pero recomienda que el usuario mantenga el carácter entero de la escala y evitar utilizar valores como “5.6” ó “7 ½” ó “7+”.

Para el estudio se emplean únicamente para los límites de la escala de intensidad, grados que contengan símbolos de adición o sustracción, como los que se expresan a continuación. De la discusión de las limitaciones de las escalas de 12 grados, los límites objetivos que se emplearan para los resultados de intensidad para este estudio se establecen para el límite inferior "3-" para expresar que el evento fue débil o menor y no hubieron daños. Para el límite superior "10+", expresa que el evento fue muy destructivo y los daños son considerablemente grandes. Este análisis es necesario ya que la manera de procesar la información en la hoja de trabajo de Excel mediante operadores lógicos se realizará de esta manera para las intensidades que se abarcan en estos límites.

Recapitulando, ya se conoce que la escala se concentra en tres grupos para establecer una intensidad. Como se puede observar en la encuesta dirigida las preguntas se agruparon en tres áreas de indagación, siendo éstas: los efectos sobre las personas, efectos sobre los objetos y el daño a las construcciones; con un aumento progresivo de la intensidad conforme más se incrementan los efectos sobre las personas y objetos, así como el daño a las construcciones. Donde para cada una de las áreas de las descripciones de los efectos específicos, se puede determinar la máxima intensidad macrosísmica. Para el propósito de este estudio, los daños a las construcciones dominarán sobre el resto de efectos, y los efectos sobre los objetos tendrán prioridad sobre los efectos sobre las personas, siendo estos los menos confiables y de poca utilidad para establecer daño, que es el objetivo principal a determinar dentro del contexto de la ingeniería civil.

Al procesar la información se asigna la mayor intensidad individualmente a cada grupo estableciendo índices para los efectos en humanos y objetos, y el daño a las construcciones. A la encuesta dirigida se le asigna el valor máximo del daño a las construcciones como la intensidad macrosísmica. Dentro del proceso propiamente para asignar intensidades, se busca en cierta medida, mediante la programación de Visual Basic para Excel, evidenciar incoherencias, inferencias inválidas, e información contradictoria, con el cuidado también de no obligadamente obtener siempre un resultado, donde la aplicación de la escala para los diferentes grupos sobre los efectos tenga que coincidir. La idea es también respetar las descripciones, no necesariamente hacerlas encajar perfectamente en un grado de intensidad específica, dirigiendo de cierta manera a obtener un resultado lógico según la escala, invalidando consistentemente la información. Obtener resultados que encajen perfectamente en todo lo que la escala indaga en la encuesta dirigida tendría poca credibilidad.

D. COMENTARIOS SOBRE LA CALIDAD Y CERTEZA DE LA ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD MACROSÍMICA

Siempre habrá casos donde se puede presentar el problema de una ambigüedad en la información, por ejemplo, un caso donde los efectos sobre los humanos sugieran una intensidad 7, mientras que el daño a las construcciones resulten en intensidad 5, o viceversa; que bajo el punto de vista de la comisión de la escala EMS-98 se debe expresar mediante un rango. Independientemente, los daños a las construcciones se han establecido como el parámetro para establecer el grado de intensidad.

Depender del daño a las construcciones, como la medición para la estimación de la intensidad puede dar como resultado una sobreestimación, debido a que los usuarios suelen exagerar específicamente referente al daño, haciendo que las descripciones pierdan su calidad. Se trata de reducir este problema en la encuesta dirigida SET, planteando descripciones más precisas del daño mediante la asignación de selección múltiple. Es importante estar consciente de esto, pero un enfoque útil puede ser el de presentar las intensidades generadas por los otros efectos para tener mayor certeza en la estimación de la intensidad. Entonces, como se puede observar en la encuesta dirigida en la hoja de trabajo, se indican tres índices de intensidad, siendo un índice de los efectos sobre humanos, el índice de efectos sobre los objetos y el índice de daño a las construcciones, siendo este último valor el asignado como el máximo grado de la intensidad macrosísmica del sitio. El hecho de tener a la vista los otros índices claramente ayuda de alguna manera a tener una perspectiva más amplia del reporte en cuanto a la descripción de los efectos.

Es importante aclarar también, que para un sitio específico se declare un solo grado de intensidad, es demasiado relativo. En una ciudad como la de Guatemala, hay zonas donde el riesgo sísmico es mayor que en otras, es necesario confinar la información y detectar su localización, asignando valores distintos de intensidad de la población afectada. Según la escala EMS-98, se debe asignar valores a sitios que son razonablemente homogéneos, no muy grandes, un buen punto de partida es establecerlo a nivel del área que ocupa una aldea o caserío. Un buen ejemplo fue el terremoto en la población de San Miguel, Pochuta de intensidad VII MM, que afectó al 80% de la población debido a la construcción deficiente de viviendas de adobe.

La determinación final de la intensidad macrosísmica debe realizarse por personas calificadas en una visita post-terremoto al sitio donde ocurrió el evento, que lleva mayor tiempo e inversión de recursos humanos, que es la manera en que se debe establecer la intensidad de un terremoto. El propósito de esta herramienta es como anteriormente se ha expresado de establecer una estimación, aceptando de hecho cierto nivel de incertidumbre.

Finalmente, para estimar la intensidad macrosísmica del evento, las encuestas dirigidas deben clasificarse por el tipo de construcción, para este caso construcciones de mampostería y de concreto reforzado. Mediante los parámetros del tipo de construcción y las intensidades expresadas en los daños a las construcciones de cada encuesta, se puede realizar una suma parcial que los represente de manera individual, por ejemplo: 63 construcciones clase A con daños expresados en una intensidad de 6, 30 clase A de intensidad 7, 18 construcciones clase C de intensidad 4, y así sucesivamente se pueden expresar para el resto de construcciones.

Entonces cada suma ponderada parcial se divide entre la suma ponderada total para obtener un porcentaje que los represente según estos dos parámetros, como ejemplo de los datos anteriores para las construcciones clase A de intensidad 6 el porcentaje sería $(63 \times 6) / (63 \times 6 + 30 \times 7 + 18 \times 4) = 0.57$ o sea el 57% de Clase A de 6 EMS, el 32% de Clase A de 7 EMS y 11% Clase C de 4 EMS. La escala EMS-98 brinda un elemento estadístico mediante el uso de términos cuantitativos (pocos, muchos, la mayoría) donde al revisar la escala EMS-98 o el cuadro 5 se puede estimar, para el caso en discusión, que la intensidad macrosísmica es 6 EMS.

IX. CONCLUSIONES

La principal intención de adaptar un cuestionario dirigido de intensidad para la creación de la encuesta dirigida para Guatemala, fue la de mejorar la calidad de las descripciones y de alguna manera estimar con mayor certeza la intensidad macrosísmica de un terremoto. Una buena parte de trabajo desarrollado se fundamentó en la Escala Macrosísmica Europea EMS-98, que es una buena herramienta que permite evaluar mediante grados de vulnerabilidad diferentes tipos de construcciones, que las otras escalas de intensidad no incluyen. A continuación se agregan algunas conclusiones de la investigación, donde también se evidencia, la necesidad de continuar investigando y actualizando mediante información post-terremoto mucho del contenido desarrollado.

- A.** Para la encuesta dirigida SET, se incluyeron los tipos de construcción de mampostería y los edificios de concreto reforzado más comunes del país. Se clasificaron de una manera para facilitar su fácil reconocimiento por el usuario, mejorando la precisión del tipo de construcción en la encuesta.

- B.** La escala EMS-98 sugiere un mejor desempeño de las construcciones de adobe estableciendo su destrucción para un grado de intensidad X, dos grados arriba de lo expuesto en la escala MMI-PV, siendo necesario ajustarlos a una intensidad VIII.

- C.** Se suprimieron los términos cuantitativos (pocos, muchos, la mayoría) de la encuesta dirigida SET. Esta información no se puede aplicar al diseño propiamente del cuestionario. La aplicación de estos términos expresadas en porcentajes, se comparan con el conteo de las encuestas procesadas, para la estimación final de la intensidad macrosísmica.
- D.** La estimación de intensidad macrosísmica se determinará mediante los daños a las construcciones de mampostería y concreto reforzado. La escala EMS-98, carece de tablas de vulnerabilidad para calificar otros tipos de construcción limitando el alcance, a estos tipos de construcción.
- E.** Fue necesario adicionar información de otras escalas modificadas de Mercalli, con el objeto de ampliar las descripciones de la escala SET, para calificar algunas preguntas de la encuesta dirigida. Dicha adición se adaptó fácilmente a la escala EMS-98, sin crear conflictos, fortaleciendo conceptualmente la misma, y facilitando la interpretación de resultados.
- F.** Como se expuso anteriormente, aunque las escalas de intensidad tienen doce grados, en la práctica funcionan objetivamente en ocho grados. Por esta razón los límites objetivos que se emplearan para los resultados de intensidad para la encuesta dirigida se ajustaron a un rango de trabajo entre las intensidades III a X.

- G.** La comisión sismológica Europea, idealmente indica que no es recomendable correlacionar las descripciones de los efectos de las escalas de intensidad, porque los valores pueden variar a lo que verdaderamente se expresa en otra escala, donde la interpretación real puede ser otra.

- H.** La inconveniencia de depender solamente en el daño a las construcciones como única medida de estimar la intensidad, puede conllevar a sobreestimaciones debido a descripciones exageradas de los usuarios.

- I.** Se deben tomar en cuenta todos los efectos para establecer un mejor criterio, para la estimación final de la intensidad macrosísmica.

X. RECOMENDACIONES

La necesidad de continuar investigando para el continuo mejoramiento y aporte de herramientas que tengan aplicaciones útiles, en lo que a sismología concierne, surge por el daño que la actividad sísmica le ocasiona al hombre. El aporte de esta investigación trata, de alguna manera, mediante la utilización de una escala de intensidad macrosísmica de tendencia reciente, proporcionar una encuesta dirigida que se adapte y mejore la recolección de información de los daños que ocasiona un evento sísmico.

A continuación se presentan unas recomendaciones no sólo para la implementación de esta herramienta, sino también para su posterior mejoramiento y calibración mediante la retroalimentación de la información recopilada que también pueda ser utilizada para investigaciones posteriores.

- A.** De la información obtenida por la percepción dirigida de la población para la localización de las áreas más afectadas por el desastre. Las encuestas de intensidad sísmica procesados a su vez, podrán alimentar un programa de software que genere mapas de curvas isostáticas de intensidades para Guatemala.

- B.** CONRED en su sitio de Internet (www.conred.org), implemente las encuestas de intensidad para que la población pueda tener acceso, para alimentar la base de datos de la institución, enriqueciendo la información en el caso de un evento sísmico.

- C.** La divulgación a nivel nacional de las encuestas de intensidad sísmica para su inmediata implementación en el sistema de manejo de información en el Centro de Operaciones de Emergencia de CONRED.

- D.** El fortalecimiento de la base de datos de la información cartográfica del Instituto Geográfico Nacional (www.ign.gob.gt) y los datos de encuestas del Instituto Nacional de Estadística INE (www.ine.gob.gt) para que en el caso de un desastre o emergencia nacional, la información pueda ser procesada para tener una dimensión real de los daños causados por un sismo y del impacto socio-económico de la población afectada.

- E.** Generados los datos de las encuestas de intensidad, la información se puede almacenar en una base de datos para crear un catálogo sísmico que tiene su propio valor como una buena fuente de información para investigaciones posteriores.

- F.** El algoritmo de procesamiento de la estimación de la intensidad macrosísmica pueda calibrarse con información post-terremoto, para que la información generada por esta herramienta sea lo más confiable y precisa para la estimación de intensidades macrosísmicas para Guatemala.

- G.** Realizar un estudio más profundo para simplificar de alguna forma las descripciones de daño para construcciones de concreto reforzado debido a que el nivel técnico empleado es para personas más calificadas en cuanto a esta materia.

- H.** Crear un sistema de correlación de la información de intensidad macrosísmica con los registros instrumentales de los sismos, para proyectar intensidades mediante relaciones de atenuación sísmica. La generación de este tipo de información se debe manejar con cautela, ya que no necesariamente puede reflejar la situación real de los efectos de un sismo en un sitio, debido a la utilización de una herramienta de extrapolación.

- I.** Incluir en la educación escolar material de sismología, para la iniciación de la educación referente a la amenaza y riesgo sísmico, y la vulnerabilidad de las construcciones en el país.

- J.** Debido a que probablemente durante una emergencia, después de un terremoto, entran miles de llamadas al Centro de Operaciones de CONRED. Físicamente no daría tiempo llenar detalladamente cada formulario, y esto sumado a que los voluntarios de las bases de radio de CONRED no tienen la preparación ni los conocimientos necesarios para contestar algunas de las preguntas de la encuesta, se recomienda elaborar una versión más simplificada de la misma.

- K.** Investigar la vulnerabilidad de otros tipos de construcciones para agregarlos a la encuesta dirigida, ampliando el alcance de la misma.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. *Diagnóstico de la Prevención de Desastres Naturales en Guatemala*. 1996. Colegio de Ingenieros de Guatemala. Seminario con Motivo del XX Aniversario del Terremoto de 1976. Guatemala. 376 pp.
2. *Excel Visual Basic for Applications*. 2000. ExecuTrain Corporation. Manual del Curso 1. s.e. 2000. 275 pp.
3. Luxemburgo. 2003. Comisión Sismológica Europea. *Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS-98*. Trad. Villagrán De León, J. C. G. Grünthal. 100 pp.
4. *Temblores de Tierra Cartilla Popular*. 1977. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Publicación No. 363. et al. 1977. México. s.e., 32 pp.
5. Pérez Zarco, Alberto José. 2002. *Propuesta de Modificación de la Escala de Intensidades Modificada de Mercalli (M.M.I.) para Guatemala*. Trabajo de Graduación de la Universidad Del Valle de Guatemala. 70 pp.
6. Pichard, Pierre. 1988. *Identificación y Estimación de Daños y Lesiones en Edificaciones de Mampostería*. Texto de Apoyo No. 4. Facultad de Arquitectura USAC. Trad. González C., Marcelino. Guatemala. 15 pp.
7. Sauter F., Franz. 1989. *Introducción a La Sismología. Fundamentos de Ingeniería Sísmica I*. Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 272 pp.
8. Udías, Agustín. s.f. *Energía de La Tierra*. Texto de Apoyo. Facultad de Arquitectura USAC. Guatemalas. 23 pp.

- 9.** Wakabayashi, Minoru y Martínez R., Enrique. 1988. *Diseño de Estructuras Sismorresistentes*. México. McGraw-Hill/Interamericana de México. 418 pp.
- 10.** Wald, D. J.; Quitariano, V.; Dengler, L. A. y Dewey, J. W. 1999. *Utilization of the Internet for Rapid Community Intensity Maps*. Research Letters Technical Report. Estados Unidos, s.e., 30 pp.
- 11.** Wald, David J. y Dewey, James W. 2005. *Did you feel it? Citizens Contribute to Earthquake Science*. Earthquake Hazards Program U. S. Geological Survey. Estados Unidos, s.e., 4 pp.
- 12.** Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres CONRED. Sitio de Internet www.conred.org
- 13.** Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH. Sitio de Internet www.insivumeh.gob.gt
- 14.** USGS Earthquake Hazards Program. Sitio de Internet <http://earthquake.usgs.gov/>

XII. A N E X O S

- Anexo A** Escala de intensidad de Mercalli Modificada MMI
- Anexo B** Escala macrosísmica europea 1998 EMS-98
- Anexo C** Tabla de intensidades propuesta para Guatemala MMI-PV
- Anexo D** Encuesta del cuestionario dirigido del USGS
- Anexo E** Escala de la encuesta dirigida ¿Sintió el temblor? SET

ANEXO A

ESCALA DE INTENSIDAD DE MERCALLI MODIFICADA MMI

Definiciones de grados de intensidad

- I** No es sentido.
- II** Sentido sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos superiores; objetos suspendidos pueden oscilar.
- III** Sentido en el interior de las edificaciones, especialmente en pisos superiores, pero muchos pueden no reconocerlo como temblor; vibración similar a la producida por el paso de un vehículo liviano, objetos suspendidos oscilan.
- IV** Objetos suspendidos oscilan visiblemente; vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo pesado; vehículos estacionados se bambolean; cristalería y vidrios suenan; puertas y paredes de madera crujen.
- V** Sentido aún en el interior de los edificios; permite estimar la dirección de las ondas; personas dormidas se despiertan; el contenido líquido de recipientes y tanques es perturbado y se puede derramar; objetos inestables son desplazados; las puertas giran y se abren o cierran; relojes de péndulo se paran.
- VI** Sentido por todas las personas; muchos sufren pánico y corren hacia el exterior; se tiene dificultad en caminar establemente; vidrios y vajilla se quiebran; vidrios y objetos son lanzados de los anaqueles y estantes; los muebles son desplazados o volcados; el revoque y enlucido de mortero de baja calidad y mampostería tipo D se fisuran; las campanas pequeñas tañen.

- VII** Se tiene dificultad en mantenerse parado; percibido por los conductores de vehículos en marcha; muebles se rompen; daños y colapso de mampostería tipo D; algunas grietas en mampostería tipo; las chimeneas se fracturan a nivel del techo, caída de revoque de mortero, las tejas cornisas y parapetos sin anclajes, algunas grietas en mampostería de calidad media, campanas grandes tañen, ondas en embalses y depósitos de agua.
- VIII** La conducción de vehículos se dificulta; daños de consideración y colapso parcial de mampostería tipo C, algún daño a mampostería tipo B; ningún daño a mampostería tipo A, caída de revoque de mortero y algunas paredes de mampostería, caída de chimeneas de fábricas, monumentos y tanques elevados, algunas ramas de árboles se quiebran, cambio en el flujo o temperatura de pozos de agua, grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados.
- IX** Pánico general, construcciones de mampostería tipo D totalmente destruidas, daño severo y aún colapso de mampostería tipo C, daño de consideración en mampostería tipo B, daños a fundaciones, daños y colapso de estructuras de pórtico; daños de embalses y depósitos de agua, ruptura de tubería enterrada, grietas significativas visibles en el terreno.
- X** La mayoría de las construcciones de mampostería y a base de pórticos destruidas; algunas construcciones de madera de buena calidad dañadas, puentes destruidos, daño severo a represas, diques y terraplenes, grandes deslizamientos de tierra, el agua se rebalsa en los bordes de los ríos, lagos y embalses, rieles de ferrocarril deformados ligeramente.
- XI** Rieles de ferrocarril deformados severamente, ruptura de tuberías enterradas.
- XII** Destrucción total; grandes masas de roca son desplazadas; las líneas de visión óptica son distorsionadas; objetos lanzados al aire.

Definición de tipos de mampostería:

- A** Buena calidad de ejecución, mortero y diseño; reforzada y confinada empleando varillas de acero, diseñada para resistir cargas laterales de sismo.
- B** Buena calidad de ejecución, reforzada, pero no diseñada específicamente para resistir cargas laterales de sismo.
- C** Calidad de ejecución media, sin refuerzo y no diseñada para resistir cargas laterales.
- D** Materiales de baja resistencia, tal como adobe, baja calidad de ejecución, débil para resistir cargas laterales.

ANEXO B

ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA 1998 EMS-98

Definiciones de grados de intensidad

Arreglo de la escala:

- a) Efectos en humanos
- b) Efectos en objetos o en la naturaleza
- c) Daños a edificios

I. NO SE HA SENTIDO

- a) No sentido, aun en las condiciones más favorables
- b) Sin efecto
- c) Sin daño

II. SENTIDO APENAS

- a) El temblor es sentido sólo en situaciones aisladas (<1%) de los individuos en reposo y en un posición especialmente receptiva en el interior de un edificio o vivienda.
- b) Sin efecto
- c) Sin daño

III. DÉBIL

- a) El temblor es sentido en el interior de viviendas y edificios por pocos. Personas en reposo sienten una vibración lenta o temblor leve.
- b) Objetos colgantes se mecen levemente.
- c) Sin daño

IV. OBSERVADO AMPLIAMENTE

- a) El temblor es sentido por muchos en el interior y solo por pocos afuera de viviendas o edificios. Algunas personas se despiertan. El nivel de vibración no es alarmante. La vibración es moderada. Observadores sienten una leve vibración del edificio, dormitorio, cama, silla, etc.
- b) Porcelana, vasos, ventanas y puertas se traquetean. Objetos colgantes se mecen. Muebles livianos vibran notablemente en algunos casos. Piezas de madera crujen en algunos casos.
- c) Sin daño

V. FUERTE

- a) El temblor es sentido por casi todos en el interior y por pocos afuera de viviendas o edificios. Pocas personas se asustan y corren hacia fuera. Muchas personas se despiertan. Observadores sienten una fuerte vibración del edificio, dormitorio o muebles.
- b) Objetos colgantes se mecen considerablemente. Porcelana y vasos resuenan. Pequeños objetos que son más pesados en su parte de arriba o bien objetos sostenidos deficientemente se pueden mover o caer. Puertas y ventanas se abren y se cierran. En algunos casos las los marcos de ventanas se pueden quebrar. Los líquidos oscilan y se pueden derramar de contenedores llenos. Animales en interiores se inquietan.
- c) Daño de grado 1 en pocos edificios vulnerables de clases A y B.

VI. DAÑOS LEVES

- a) El temblor es sentido por casi todos en el interior y por muchos afuera de viviendas o edificios. Algunas personas pierden el balance. Muchas personas se asustan y corren hacia afuera.
- b) Pequeños objetos estables pueden caerse y los muebles pueden ser desplazados. En algunos casos se pueden quebrar los platos y vasos. Los animales de corral se pueden asustar (aun los que yacen afuera).
- c) Daño de tipo 1 a muchos edificios de vulnerabilidad de clase A y B; pocos de clase A y B sufren daños de grado 2; muy pocos de la clase C sufren daños de grado 1.

VII. DAÑOS

- a) La mayoría de las personas se asustan y tratan de correr hacia afuera. A muchos les cuesta mantenerse de pie, especialmente en los pisos altos.
- b) Los muebles son desplazados y los muebles pesados pueden volcarse. Se caen los objetos de los entrepaños. El agua es salpicada en los contenedores, tanques y piscinas.
- c) Muchos edificios vulnerables de clase A sufren daños de grado 3 y algunos de grado 4. Pocos edificios vulnerables de clase B sufren daños de grado 2 y pocos de grado 3. Pocos edificios vulnerables de clase C sufren daños de grado 2. Pocos edificios vulnerables de clase D sufren daños de grado 1.

VIII. DAÑOS SEVEROS

- a) Mucha gente encuentra difícil mantenerse de pie, aun afuera.
- b) Los muebles pueden volcarse. Se caen los objetos tales como las televisiones, máquinas de escribir, etc. Las lápidas pueden desplazarse o caerse. Se pueden ver ondas en suelos muy suaves.
- c) Muchos edificios vulnerables de clase A sufren daños de grado 4 y algunos de grado 5. Muchos edificios vulnerables de clase B sufren daños de grado 3 y pocos de grado 4. Muchos edificios vulnerables de clase C sufren daños de grado 2 y pocos de grado 3. Pocos edificios vulnerables de clase D sufren daños de grado 2.

IX. DESTRUCTIVO

- a) Pánico general. La gente se cae bruscamente al suelo.
- b) Muchos monumentos y columnas se caen o se retuercen.
- c) Muchos edificios vulnerables de clase A sufren daños de grado 5. Muchos edificios vulnerables de clase B sufren daños de grado 4 y pocos de grado 5. Muchos edificios vulnerables de clase C sufren daños de grado 3 y pocos de grado 4. Muchos edificios vulnerables de clase D sufren daños de grado 2 y pocos de grado 3. Pocos edificios vulnerables de clase E sufren daños de grado 2.

X. MUY DESTRUCTIVO

- a) La mayoría de los edificios vulnerables de clase A sufren daños de grado 5. Muchos edificios vulnerables de clase B sufren daños de grado 5. Muchos edificios vulnerables de clase C sufren daños de grado 4 y pocos de grado 5. Muchos edificios vulnerables de clase D sufren daños de grado 3 y pocos de grado 4. Muchos edificios vulnerables de clase E sufren daños de grado 2 y pocos de grado 3. Pocos edificios vulnerables de clase F sufren daños de grado 2.

XI. DEVASTADOR

- a) La mayoría de los edificios vulnerables de clase B sufren daños de grado 5. Muchos edificios vulnerables de clase C sufren daños de grado 4 y pocos de grado 5. Muchos edificios vulnerables de clase D sufren daños de grado 4 y pocos de grado 5. Muchos edificios vulnerables de clase E sufren daños de grado 3 y pocos de grado 4. Muchos edificios vulnerables de clase F sufren daños de grado 2 y pocos de grado 3.

XII. TOTALMENTE DEVASTADOR

- a) Todos los edificios vulnerables de clases A, B y prácticamente todos los de clase C quedan destruidos. La mayoría de los edificios de las clases D, E y F quedan destruidos. Los efectos del terremoto han alcanzado los efectos máximos concebibles.

Clasificación de daño a edificios de mampostería:

Grado 1: Sin daño o daño leve

(Sin daño estructural, daño no estructural leve)

Grietas muy delgadas en muy pocos muros.

Caída de pequeños pedazos de repello.

Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.

Grado 2: Daño moderado

(Daño estructural leve, daño no estructural moderado)

Grietas en muchos muros.

Caída de pedazos grandes de repello.

Colapso parcial de chimeneas.

Grado 3: Daño substancial a severo

(Daño estructural moderado, daño no estructural severo)

Grietas largas y extensas en casi todos los muros.

Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; falla de elementos individuales no estructurales (particiones, tabiques)

Grado 4: Daño muy severo

(Daño no estructural severo, daño no estructural muy severo)

Falla seria en muros; falla estructural parcial de techos.

Falla de techos y pisos.

Grado 5: Destrucción

(Daño estructural muy severo)

Colapso o casi colapso total.

Clasificación de daño a edificios de concreto reforzado:

Grado 1: Sin daño o daño leve

(Sin daño estructural, leve daño no estructural)

Grietas delgadas en el repello sobre miembros del marco o en la base de los muros. Grietas delgadas en particiones y tabiques.

Grado 2: Daño moderado

(Daño estructural leve, daño no estructural moderado)

Grietas en columnas y vigas de marcos y en muros estructurales.

Grieta en particiones y en tabiques; caída de cubierta y repello quebradizo. Caída de mortero en las uniones de paneles de muros.

Grado 3: Daño substancial a severo

(Daño estructural moderado, daño no estructural severo)

Grietas en uniones de columnas y vigas; de marcos en la base y en las uniones de muros acoplados. Desprendimiento del recubrimiento de concreto. Torcedura de varillas de refuerzo. Grandes grietas en muros de particiones y en tabiques.

Grado 4: Daño muy severo

(Daño no estructural severo, daño no estructural muy severo)

Grandes rajaduras en elementos estructurales con falla a compresión de concreto y fractura de barras de refuerzo. Ruptura de uniones de vigas reforzadas; inclinación de columnas. Colapso de algunas columnas o de un único piso superior.

Grado 5: Destrucción




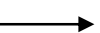
(Daño estructural muy severo)

Colapso de planta baja o parte de edificios (e. g. alas).

RELACIÓN DE EFECTOS SISMOGEOLOGÍCOS Y GRADOS DE INTENSIDAD

TIPOS DE EFECTOS	INTENSIDADES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
EFECTOS HIDROLÓGICOS Nivel del agua en pozos - cambios menores ¹⁾ Nivel del agua en pozos - cambios sustanciales ²⁾ olas de períodos largos en agua calma ³⁾ olas en agua calma debido a vibración local agua en lago se tornó turbia ⁴⁾ flujo en nacimientos afectado ⁵⁾ nacimientos paran e inician agua es sacada de los lagos	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
EFECTOS DEBIDO A INESTABILIDAD EN LADERAS Laderas escabrosas que se deslizan deslizamientos pequeños ⁶⁾ derrumbes menores ⁷⁾ deslizamientos, derrumbes masivos						●	●	●	○	●	●	●
PROCESOS SUELOS PLANOS ⁸⁾ grietas menores en el suelo fisuras grandes en el suelo						●	●	●	●	●	●	●
PROCESOS CONVERGENTES / Casos complejos deslizamientos (hidrológicos) ⁹⁾ licuación ¹⁰⁾						●	●	●	●	●	●	●

Leyenda:

-  Rango más útil como diagnóstico de intensidad.
-  Intensidades típicas de este efecto.
-  Rango posible de observación
-  Potencial para observaciones extremas afuera de los límites dados

Notas sobre la tabla de efectos sismogeológicos:

- 1) detectados solamente mediante instrumentos automáticos
- 2) cambios fácilmente observables
- 3) resulta de terremotos distantes; posiblemente con turbidez inducida por las olas
- 4) ocasionados por disturbios de los sedimentos del fondo
- 5) cambios en el flujo o el agua del nacimiento se torna turbia
- 6) en material suelto en sitios naturales (riberas de ríos, etc.) y artificiales (bordes de carreteras)
- 7) derrumbes pequeños en sitios naturales (riscos) o artificiales (canteras, cortes de rocas)
- 8) estas dos categorías se unen en una sola. Se repite la advertencia de no confundir grietas en el suelo con fisuras causadas por la vibración
- 9) deslizamientos por causas predominantemente hidrológicas (pueden ser efectos retardados)
- 10) Licuación o licuefacción (e. g. cráteres de arena, formación de montículos, etc.)

ANEXO C

TABLA DE INTENSIDADES PROPUESTA PARA GUATEMALA MMI-PV

- 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 construidos; daños de menores a moderados en edificios ordinarios bien construidos; daños considerables en edificios construidos 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 construidas. Paredes de tabicaciones sacadas de los marcos de las estructuras. Fallan chimeneas y monumentos. Muebles pesados se caen. Personas 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 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.

ANEXO D

ENCUESTA DEL CUESTIONARIO DIRIGIDO DEL USGS

DID YOU FEEL IT? REPORT IT HERE!

QUESTIONNAIRE FOR A NEW OR UNKNOWN EVENT (NON-US)

You can help provide information about the extent of shaking and damage for earthquakes outside the United States. USGS scientists may use the information you enter in this form to provide qualitative, quantitative, or graphical descriptions of damage in USGS publications. If you would object to this possible usage of your data, please do not fill out this form.

Your COUNTRY, REGION, & nearest CITY are REQUIRED! All other identifiers (name, e-mail, phone, and location) are optional, but we need your location to be able to map your intensity observation. The other data may be critical for further resampling, if needed.

Identifying information (optional):

Name:

E-mail:

Phone:

Your location when the earthquake occurred. Since you are submitting this form for a new or unknown earthquake, please fill out the following information completely. This will help us accurately locate this event.

Guatemala

If not in the above city please describe your location with respect to the selected city (for example, "city center", "northern suburbs", "30 km NW of city center", etc.):

Zip or Postal Code (if applicable):

When did it occur?

Date of earthquake: Month: Day: Year:
 Local time of earthquake: Hour: Minute:

While answering the following is optional, we encourage you to fill out as many as possible so we can provide a more accurate intensity estimate.

Where were you?

What was your situation during the earthquake?

If you were inside please select type of building:

If other, please describe:

Were you asleep during the earthquake?

Did you feel the earthquake?

(If you were asleep, did the earthquake wake you up?) No Yes

Did others nearby feel the earthquake?

Your experience:

How would you best describe the ground shaking?

About how many seconds did the shaking last?

How would you best describe your reaction?

How did you respond? (Select one)

If other, please describe:

Was it difficult to stand or walk?

Earthquake effects:

Swinging/swaying of doors or hanging objects?

Creaking or other noises?

Did objects rattle, topple over, or fall off shelves?

Did pictures on walls move or get knocked askew?

Did furniture or appliances slide, tip over, or become displaced?

Was a heavy appliance (refrigerator or range) affected?

Were free-standing walls or fences damaged?

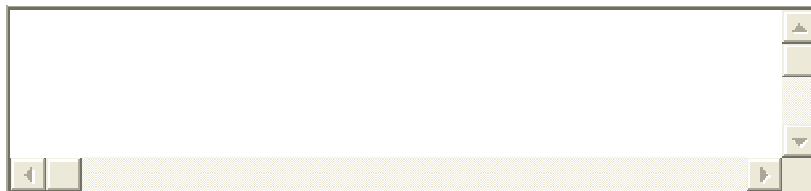
If you know the type of building (wood, brick, etc.) and/or your location (which story, basement, penthouse, etc.) please indicate here:

If you were inside, was there any damage to the building? Check all that apply.

- No damage
- Hairline cracks in walls
- A few large cracks in walls
- Many large cracks in walls
- Ceiling tiles or lighting fixtures fell
- Cracks in chimney
- One or several cracked windows
- Many windows cracked or some broken out
- Masonry fell from block or brick wall(s)
- Old chimney, major damage or fell down
- Modern chimney, major damage or fell down
- Outside wall(s) tilted over or collapsed completely
- Separation of porch, balcony, or other addition from building
- Building permanently shifted over foundation

Additional comments:

You may use the next box to clarify answers or to make observations that are not accommodated by other questions. You may also use the following box to give first-person descriptions of how the earthquake affected you. USGS scientists may use some of the information that you enter in qualitative descriptions of shaking or damage in USGS publications. You would be identified as "an observer" and your location would be given in general terms. Parts of some first-person accounts may be reproduced as quotations in USGS publications.



ANEXO E

ESCALA DE LA ENCUESTA DIRIGIDA ¿SINTIÓ EL TEMBLOR? SET			
Intensidad	Efectos en humanos Reacción y respuesta	Efectos a objetos, muebles Efectos a porcelana y cristalería	Efectos en construcciones según la clase de vulnerabilidad
I	<p>No se ha sentido No sentido, aún en las condiciones más favorables. Reacción: No sintió</p>	Sin efecto	Sin daño
II	<p>Leve (Sentido apenas) El temblor es sentido sólo por individuos en reposo y en posición especialmente receptiva adentro. Sentido por muy pocos adentro. Nadie más lo sintió. Descrito como suave o ligero. Reacción: Sintió/No reaccionó</p>	<p style="text-align: center;">Sin efecto</p> <p>Objetos pequeños suspendidos pueden oscilar.</p>	Sin daño
III	<p>Débil Personas adentro en reposo sienten una vibración oscilante o lenta. Vibración similar a paso de un vehículo liviano. Al principio no reconocido como temblor. Sentido por pocos adentro, pero muchos no Reacción: Apenas reaccionó Respuesta: No hizo nada</p>	<p style="text-align: center;">Traqueteo leve</p> <p>Objetos colgados: Oscilan levemente</p>	Sin daño
IV	<p>Moderado (Observado ampliamente) El temblor es sentido por muchos adentro y pocos afuera. Muchos sintieron pero pocos no. Pocas personas se despiertan. La vibración es moderada. Sienten leve vibración adentro. Vibración semejante a paso de vehículo pesado. Vehículos estacionados bambolean. Reacción: No alarmado Respuesta: Se pone de pie.</p>	<p>Traqueteo fuerte Muebles livianos vibran notablemente en algunos casos. Piezas de madera crujen en algunos casos. Pocos objetos fueron movidos. Porcelana y vasos suenan. Objetos colgados: Oscilan (Sin adjetivo)</p>	<p>Puertas y ventanas traquetean. Muchos edificios clase A sufren daños grado 1.</p>

Intensidad	Efectos en humanos Reacción y respuesta	Efectos a objetos, muebles Efectos a porcelana y cristalería	Efectos en construcciones según la clase de vulnerabilidad
V	Fuerte Es sentido por la mayoría adentro y pocos afuera. Todos o la mayoría sintieron. Muchas personas despiertan. Sienten fuerte vibración adentro y permite estimar la dirección de las ondas. Reacción: Poco asustado/alarmado Respuesta: Fue hacia la puerta. Pocas personas se asustan y corren hacia fuera.	Pequeños objetos inestables o bien, objetos sostenidos deficientemente se pueden mover o caer. Objetos inestables se desplazan. Relojes de péndulo se detienen. Porcelana y vasos resuenan. Objetos colgados: Se desalinean, pero no caen.	Puertas y ventanas crujen, se abren y cierran, oscilan poco. Una o pocas ventanas se rajan. La mayoría de clase A sufren daños grado 1 y muchos grado 2. Pocos edificios clase B sufren daños grado 1.
VI	Daños leves (Muy fuerte) El temblor es sentido por casi todos adentro y muchos afuera. Algunas personas pierden el balance. Reacción: Asustado Respuesta: Corrió afuera Muchas personas se asustan y corren hacia afuera.	Pocos objetos se vuelcan o caen de los entrepaños. Pequeños objetos estables pueden caerse. Los muebles se desplazan poco. En algunos casos se pueden quebrar los platos y vasos. Objetos colgados: Muchos caen.	Puertas oscilan mucho. Muchas ventanas se rajan y pocas se quiebran. Muchos edificios clase A sufren daños grado 3 y pocos grado 4. Muchos edificios clase B sufren daños grado 1 y pocos grado 2. Muy pocos edificios clase C sufren daños grado 1. Muros sólidos exteriores: Muchos agrietados
VII	Daños (Violento) A muchos les cuesta mantenerse de pie, en los pisos altos. Percibido por conductores de vehículos en marcha. Reacción: Muy asustado Respuesta: Trata de correr afuera. La mayoría adentro se asusta y trata de correr hacia fuera.	Muchos objetos caen de los entrepaños. Muebles se desplazan mucho. Muebles pesados desplazan poco y pueden volcarse. Contenidos del refrigerador caen en pocos casos. Muchos platos y vasos se caen o quiebran. Objetos colgados: La mayoría caen.	La mayoría de clase A sufren daños grado 4 y pocos grado 5. Muchos edificios clase B sufren daños grado 2 y pocos grado 3. Pocos edificios clase C sufren daños grado 2. Pocos edificios clase D sufren daños grado 1. Muros sólidos exteriores: Pocos colapso parcial
VIII	Daños Severos (Muy violento) Muchos encuentran difícil mantenerse de pie, aún afuera. La conducción de vehículos se dificulta. Reacción: Extremadamente asustado. Respuesta: Se agachó/ se refugió.	La mayoría de objetos caen, de los entrepaños. Los muebles pueden volcarse. Muebles y aparatos muy pesados se desplazan mucho. Se caen objetos como televisores, máquinas de escribir, etc.	La mayoría de edificios clase A sufren daños grado 5. Muchos edificios clase B sufren daños grado 3 y pocos grado 4. Muchos edificios clase C sufren daños grado 2 y pocos grado 3. Pocos edificios clase D sufren daños grado 2. Muros sólidos exteriores: La mayoría colapsaron

Intensidad	Efectos en humanos Reacción y respuesta	Efectos a objetos, muebles Efectos a porcelana y cristalería	Efectos en construcciones según la clase de vulnerabilidad
IX	Destructivo La mayoría cae bruscamente al suelo. Reacción: Pánico general.		Prácticamente todos los edificios clase A quedan destruidos. Muchos edificios clase B sufren daños grado 4 y pocos grado 5. Muchos edificios clase C sufren daños grado 3 y pocos grado 4. Muchos edificios clase D sufren daños grado 2 y pocos grado 3. Pocos edificios clase E sufren daños grado 2.
X	Muy destructivo		Muchos edificios clase B sufren daños grado 5. Muchos edificios clase C sufren daños grado 4 y pocos grado 5. Muchos edificios clase D sufren daños grado 3 y pocos grado 4. Muchos edificios clase E sufren daños grado 2 y pocos grado 3. Pocos edificios clase F sufren daños grado 2.
XI	Devastador		La mayoría de edificios clase C sufren daños de grado 5. Muchos edificios clase C sufren daños grado 4 y pocos grado 5. Muchos edificios clase D sufren daños grado 4 y pocos grado 5. Muchos edificios clase E sufren daños grado 3 y pocos grado 4. Muchos edificios clase F sufren daños grado 2 y pocos grado 3.
XII	Totalmente devastador Los efectos del terremoto han alcanzado los efectos máximos concebibles.	Objetos lanzados al aire.	Todos edificios clase B y prácticamente todos los clase C quedan destruidos. La mayoría de edificios clases D, E y F quedan destruidos.