

# El terremoto Guatemalteco M7.4 del 7 de Noviembre 2012 y sus implicaciones para la reducción y mitigación de desastres



© 2013 Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California 94612-1934. All rights reserved. No part of this report may be reproduced in any form or by any means without the prior written permission of the publisher, Earthquake Engineering Research Institute, 499 14th St., Suite 220, Oakland, CA 94612-1934, email: eeri@eeri.org, website: www.eeri.org.

This report is published by the Earthquake Engineering Research Institute, a nonprofit corporation. The objective of the Earthquake Engineering Research Institute is to reduce earthquake risk by advancing the science and practice of earthquake engineering by improving understanding of the impact of earthquakes on the physical, social, economic, political, and cultural environment, and by advocating comprehensive and realistic measures for reducing the harmful effects of earthquakes.

Funding for the Field Study Trip and this resulting report has been provided by the Global Facility for Disaster Reduction and Recovery of the World Bank. Any opinions, findings, conclusions, or recommendations expressed herein are the authors' and do not necessarily reflect the views of EERI, the GFDRR, the World Bank, or the author's organizations.

**Production Managers:** Maggie Ortiz, Brijhette Farmer

**Cover Photo:** View of San Marcos from the MiralValle Hotel. San Marcos was the region most affected by the November 7, 2012 earthquake.

**ÍNDICE**

**Resumen Ejecutivo**

**Introducción y antecedentes** ..... 4

1. Reconocimientos ..... 4

2. Antecedentes y resumen de la investigación ..... 4

3. Motivación detrás del viaje de reconocimiento de EERI..... 4

4. Antecedentes del desarrollo social, económico y tecnológico en Guatemala ..... 5

5. Descripción del estado de la práctica actual en materia de diseño estructural y construcción..... 5

6. Estado de la política y la práctica de Gestión del riesgo de desastres..... 6

**Capitulo I: Actividad sísmica de la región, efectos geotécnicos y desempeño de edificios** ..... 8

1. Actividad sísmica ..... 8

1.1 Marco Tectónico ..... 8

1.2 Sismicidad histórica de la subducción del suroccidente de Guatemala ..... 8

1.3 El evento de magnitud 7.4 Mw de noviembre de 2012 ..... 10

1.4 Registros de terremotos ..... 10

1.5 Áreas afectadas por el evento de noviembre de 2012 ..... 11

2. Efectos Geotécnicos ..... 12

2.1 Contexto Geológico ..... 12

2.2 Efectos de las condiciones del suelo sobre el desempeño de la construcción ..... 13

2.3 Deslizamientos y asentamiento del suelo ..... 13

2.4 Licuefacción ..... 15

3. Observaciones de Ingeniería Estructural ..... 16

3.1 Adobe y Bahareque ..... 16

3.2 Mampostería Confinada ..... 17

3.3 Concreto reforzado..... 21

3.4 Edificios de carácter histórico ..... 21

4. Comportamiento Desempeño de la infraestructura..... 23

4.1 Energía Eléctrica ..... 23

4.2 Telecomunicaciones ..... 23

4.3 Sistemas de agua ..... 24

4.4 Sistemas de transporte ..... 24

4.4.1 Carreteras ..... 24

4.4.2 Puentes ..... 24

4.4.3 Aeropuertos ..... 24

4.5 Hospitales ..... 25

4.6 Estaciones de bomberos..... 25

4.7 Estaciones de policía..... 25

5. Impacto social y económico..... 26

6. Respuesta de ante la emergencia ..... 26

7. Recuperación y Reconstrucción..... 28

8. Lecciones aprendidas..... 31

8.1 Construcción en Mampostería Confinada ..... 31

8.1.1 El sector empírico de la construcción ..... 31

8.1.2 Enfoque de la reducción de riesgos ..... 32

8.2 Viviendas antiguas de adobe..... 32

8.2.1 Enfoque de la reducción de riesgos ..... 32

8.3 Edificios de varios pisos en concreto reforzado no dúctil anteriores a 1970 ..... 33

8.3.1 Enfoque de la reducción de riesgos ..... 33

8.4 Edificaciones pequeñas y medianas ..... 33

8.4.1 Enfoque de la reducción de riesgos ..... 34

8.5 Riesgos del sitio ..... 34

8.6 Riesgos de fallas cercanas ..... 34

8.6.1 Enfoque de la reducción de riesgos ..... 34

8.7 Otros aspectos de vulnerabilidad ..... 34

**Capitulo II: Recomendaciones para mejorar las prácticas de mitigación del riesgo sísmico** ..... 36

A. Educación, desarrollo de capacidades y capacitación ..... 36

1. Aumentar la cantidad de especialistas locales en las áreas de geología, sismología e ingeniería sísmica..... 36

2. Pasantías para profesores guatemaltecos en instituciones de investigación en Norteamérica/ Europa/ Asia: ..... 36

3. Implementación de un programa de certificación para ingenieros profesionales ..... 37

4. Programas de educación continua (seminarios, webinarios)..... 37

5. Capacitación de contratistas y trabajadores de la construcción: ..... 37

B. Programa de monitoreo de movimientos fuertes..... 38

1. Instalación de una nueva red de monitoreo de movimientos fuertes y desarrollo de un programa para la instrumentación de edificios e infraestructura..... 38

C. Reducción de riesgos en edificios e infraestructura existentes.. 38

1. Desarrollo de protocolos para la evaluación de riesgos en edificios e infraestructura esencial..... 38

D. Mejora de las prácticas de diseño y construcción ..... 39

1. Desarrollo de estándares y guías de buenas prácticas para el diseño y construcción de edificaciones, así como de instalación de elementos no estructurales, s; elaboración de procedimientos para aprobar sistemas estructurales que no se encuentran descritos en las recomendaciones que brindan los códigos. .... 39

**REFERENCIAS**..... 40

**APÉNDICE 1. Lista de personas involucradas** ..... 41



## **Resumen Ejecutivo**

Durante la primera semana de abril de 2013, un grupo de ingenieros de EERI y AGIES, junto con asesores del Banco Mundial, visitaron algunas de las áreas afectadas por el terremoto de 7.4 grados en la escala de Magnitud de Momento (Mw) ocurrido el 7 de noviembre de 2012. La visita se realizó con el propósito de recabar información sobre los efectos del terremoto y conocer las prácticas de construcción actuales en las regiones afectadas. El presente informe es el primero de una serie de estudios de casos que están siendo desarrollados por EERI sobre la recuperación y resiliencia en los países en vías de desarrollo. Se basó en un acuerdo de subvención celebrado entre EERI y el Fondo Mundial para la Reducción y la Recuperación de los Desastres, GFDRR por sus siglas en Inglés, del Banco Mundial. El estudio de campo realizado por AGIES, EERI y el Banco Mundial es la mejor práctica para comprender las causas de los daños estructurales y mejorar los códigos y las normas de construcción.

Dado que AGIES se encuentra intentando mejorar activamente las prácticas de construcción en el país, esta visita de reconocimiento constituyó una gran oportunidad para que el equipo de EERI pudiera obtener una mejor comprensión sobre los desafíos en términos de resiliencia y recuperación de un país en vías de desarrollo. Al mismo tiempo, les brindó a los miembros de AGIES la oportunidad de discutir sus inquietudes e intercambiar conocimientos con los expertos de EERI sobre diversos aspectos de las prácticas de construcción guatemaltecas, entre ellos el diseño de estructuras con ingeniería y sin ingeniería para la protección contra terremotos, la calidad de los materiales de construcción y las políticas de implementación. El presente reporte, el cual proporciona información técnica y de ingeniería sobre las necesidades de recuperación frente a daños, también complementa los informes existentes sobre pérdidas socioeconómicas y necesidades de recuperación a partir del terremoto ocurrido en noviembre de 2012.

Un aspecto destacable de este terremoto es que la intensidad del temblor en las regiones afectadas fue relativamente baja. A pesar de que se tienen pocos registros de temblores fuertes para este evento, todos mostraron aceleraciones pico del suelo menores a los 0.04g, incluso en el epicentro. La compleja disposición topográfica de la región, sumada a la compleja disposición geológica del país y la falta de instrumentación adecuada para detectar temblores fuertes hacen difícil explicar con claridad por qué los niveles bajos de aceleración generados por el temblor, generaron daños importantes en las distintas edificaciones.

La geología de Guatemala se caracteriza por tener un ambiente fisiográfico muy bien definido que comprende cuatro provincias geológicas. El área de San Marcos y San

Pedro Sacatepéquez se encuentra sobre una zona volcánica en la misma línea de la costa del Océano Pacífico. Esta zona se caracteriza por tener distintas estructuras volcánicas de gran tamaño, tales como calderas y volcanes estratificados. Esta zona se puede dividir en segmentos según las alineaciones sísmicas y volcánicas. Existen diversas fallas con rumbo lateral izquierdo que atraviesan Guatemala desde la frontera noreste y se extienden hacia México. El sistema principal de fallas es el Motagua-Polochic.

Los deslizamientos de tierras en las montañas y en las laderas empinadas fueron oficialmente reportados por CONRED (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres). La mayoría de los deslizamientos de tierras ocurrieron en los cortes de la Carretera Panamericana CA-1 y las rutas que se encuentran a lo largo de la provincia fisiográfica volcánica cercana al epicentro. El escaso diseño de los cortes de laderas que se realizaron a lo largo de la Carretera Panamericana y otras rutas generaron muchos de los deslizamientos. Los deslizamientos ocurridos a lo largo de las rutas fueron también ocasionados por la falla de las laderas que ya se habían debilitado a causa de la Tormenta Tropical Agatha en 2010. La actividad humana en los riscos y laderas continúa siendo un problema. La cantidad total de deslizamientos no fue tanta como la del terremoto de 1976, pero gran parte de los deslizamientos fueron ocasionados por actividades causadas por el hombre. Sin embargo, ha habido incidentes de pérdidas humanas debido a los riesgos geotécnicos.

Se observaron algunos problemas de licuefacción principalmente en el Puerto de Ocós y a lo largo del área costera cercana al epicentro. Asimismo, en Coatepeque se observó sedimentación y distribución lateral en la ribera de un pequeño río. En Puerto Champerico se informó sobre grandes daños, incluyendo el agrietamiento de estructuras, lozas y suelo; movimiento de paredes, desplazamiento de columnas; sedimentación y licuefacción. Gran parte del daño se hizo visible a lo largo del muelle Champerico.

Mientras que el Departamento de San Marcos no se vio afectada por el terremoto de 1976, en el evento de 2012 se observó una falla general de las edificaciones hechas de adobe y bahareque. Los daños también se observaron en el área urbana de San Marcos y San Pedro Sacatepéquez, en donde la mayoría de las casas construidas en este material se desplomaron o sufrieron grandes daños estructurales que ocasionaron su demolición. Las casas de adobe y bahareque que sufrieron grandes daños o derrumbes registraron los siguientes tipos de daños: agrietamiento y separación de las paredes en las equinas; separación de los techos de las paredes de apoyo; agrietamiento diagonal de paredes debido a la fuerza de rotura; y caída de paredes, especialmente las que soportaban techos inclinados de teja.

El daño y los peligros ocasionados por el terremoto de 1976 causaron la migración a un mejorado sistema de construcción que la mampostería en adobe, que era el método de construcción de preferencia entre la población de las áreas rurales. Hoy en día, gran parte de la construcción en las áreas urbanas y rurales de Guatemala utiliza mampostería confinada hecha de bloques de cemento livianos, ya que son los que se encuentran en cualquier región del país. El daño estructural en las estructuras de mampostería confinada se puede atribuir a cuatro factores: 1) Materiales de construcción deficientes; 2) Escasa minuciosidad del confinamiento y el anclaje de los elementos estructurales, 3) Inadecuada configuración estructural; y 4) Abuso del sistema de construcción.

Los edificios de concreto reforzado se combinan normalmente con elementos estructurales de mampostería. El daño de las estructuras con sistemas estructurales de concreto reforzado fue ocasionado principalmente por una configuración estructural inadecuada y una escasa minuciosidad estructural. Al igual que con la construcción en mampostería, muchos edificios de concreto reforzado mostraron variaciones considerables de la rigidez de las estructuras perimetrales, lo que provocó efectos de torsión que dañaron especialmente los elementos estructurales en el perímetro del edificio. También se observó el efecto de columna corta debido a la falta de separación en el relleno de los inter-espacios de mampostería en la estructura de concreto principal y la omisión del diseñador de considerar este efecto en el diseño estructural. En la mayoría de los casos, las paredes de relleno se vieron seriamente dañadas o destruidas ya que éstas formaron parte del sistema resistente a fuerzas laterales.

Los daños y las pérdidas económicas ocasionadas por el terremoto del 7 de noviembre de 2012 superaron los 128 millones de dólares. La mayoría de las pérdidas económicas estuvieron asociadas con la destrucción total o parcial de las viviendas. El terremoto tuvo su efecto mayor en ocho departamentos del oeste de Guatemala: Retalhuleu, Quetzaltenango, Sololá, Quiché, Totonicapán, San Marcos, Huehuetenango y Suchitepequez. Estos departamentos tienen la mayor densidad de la población en las áreas rurales (61%) y grandes poblaciones indígenas.

Después del terremoto del 7 de noviembre, el Presidente declaró un estado de calamidad pública en los departamentos afectados por el evento. Para poder evaluar el alcance de los daños, la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) entregó formularios de Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN) y trabajó conjuntamente con los centros de operaciones de emergencia (COE) a nivel departamental y municipal para obtener alimentos y productos domésticos para las personas

afectadas. Alrededor de 33,000 personas quedaron sin hogar a raíz del desastre, pero solamente se admitieron 15,000 personas en los refugios. San Marcos fue el departamento que tuvo la mayor cantidad de personas desalojadas (cerca del 10% del total de la población). En Sololá, la cantidad de personas desalojadas fue de alrededor 4% de la población total; en Quetzaltenango cerca del 2% de la población total de la región quedó desalojada.

Uno de los aspectos más problemáticos de los daños observados luego del terremoto es la gran cantidad de edificios públicos que debieron ser evacuados por daños estructurados. Entre las instituciones afectadas se observan hospitales, centros de atención de salud, estaciones de bomberos y policía nacional, edificios municipales, escuelas, tribunales, prisiones y edificios del gobierno departamental. Las estructuras que albergan estas instituciones se clasifican con el código de edificación de Guatemala AGIES NSE-2010 como edificios esenciales y deben permanecer operativos durante y después de un terremoto de gran magnitud para servir a la población y coordinar la respuesta de emergencia. De acuerdo con el informe "Evaluación del Impacto del Terremoto del 7 de noviembre de 2012 en Guatemala", preparado por la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia del Gobierno de Guatemala, SEGEPLAN, hubo 25 escuelas, 32 centros de salud (incluidos hospitales) y 16 edificios públicos que sufrieron cierto grado de daños.

Después del terremoto, el Presidente de Guatemala designó a la Vicepresidencia de la República para dirigir el proceso de recuperación y reconstrucción y para brindar de forma inmediata alojamiento permanente a las familias más vulnerables. Para lograr este objetivo, la Vicepresidenta estableció una Comisión de Reconstrucción que se encargaría de coordinar las actividades de los diversos ministerios y de la cooperación internacional. El Coordinador de la Reconstrucción trabajó de manera cercana con el Ministerio de Planificación SEGEPLAN y SE-CONRED. El gobierno de Guatemala está comprometido con la reconstrucción completa y ha distribuido responsabilidades entre los Ministerios, el Banco Interamericano de Desarrollo y las comunidades afectadas.

La Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia (SCEP) está centrada en cerrar los refugios y brindar cerca de 7,000 viviendas permanentes a las familias más vulnerables. Para poner en marcha este programa, hay tres agencias gubernamentales trabajando con los alcaldes locales para construir nuevas viviendas. Estos ministerios son el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, el Ministerio del Interior y el Ministerio de Desarrollo. Los Ministerios de Salud y Educación están trabajando conjuntamente con el Banco Interamericano de Desarrollo para reconstruir escuelas e instituciones de salud y han reprogramado la financiación del BID para tales efectos. Otros ministerios, entre ellos el

Ministerio de Patrimonio Cultural, son responsables por utilizar sus recursos limitados para realizar las reparaciones necesarias en su sector.

En base a las vulnerabilidades observadas durante el terremoto del 7 de noviembre de 2012 en Guatemala y la evaluación del estado actual de la práctica en ingeniería estructural y sísmica, se han presentado algunas recomendaciones para mejorar las prácticas de mitigación de riesgos sísmicos en el país. Las recomendaciones propuestas se clasifican en cuatro categorías: A) educación, desarrollo de capacidades y capacitación; B) fuerte programa de monitoreo de temblores; C) reducción de riesgos de edificaciones e infraestructura existentes; y D) mejora de las prácticas de

diseño y construcción. Para cada una de estas categorías se asignan los grupos de interés objetivo, los métodos de implementación, los resultados, las estimaciones de costes y la duración esperada.

El terremoto del 7 de noviembre fue la experiencia más reciente que ha tenido el país con muertes por terremoto, derrumbe de viviendas de adobe, grandes daños a construcciones locales nuevas pero inadecuadas; y daños significativos a edificios públicos y privados más antiguos así como a los más nuevos. El terremoto ocurrido en noviembre no reveló nada nuevo. En cambio, reforzó algunas lecciones importantes y recomendaciones necesarias para hacer de Guatemala un país resistente a los terremotos.

## Introducción y antecedentes

### 1. Reconocimientos

El equipo de EERI fue asistido por miembros de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) durante su estancia en Guatemala. El equipo también aprovechó la participación de personas de diversas agencias del país durante una ronda de discusión celebrada el viernes 5 de abril. En el Apéndice 1 de este informe se presenta una lista de los participantes. El equipo del EERI obtuvo el respaldo financiero a través de un acuerdo con el Fondo Mundial para la Reducción y la Recuperación de los Desastres (GFDRR) del Banco Mundial.

### 2. Antecedentes y Resumen de la Investigación

Durante la primera semana de abril de 2013, un grupo de ingenieros de EERI y AGIES, junto con asesores del Banco Mundial, visitaron algunas de las áreas afectadas por el terremoto de 7.4 grados en la escala de Magnitud de Momento (Mw) que azotó Champerico el 7 de noviembre de 2012. El equipo de EERI estuvo dirigido por Carlos Ventura de la Universidad de British Columbia, e incluía a Manuel Archila de la Universidad de British Columbia; Marcial Blondet de la Pontificia Universidad Católica de Perú; Jeff Dragovich, Asesor Independiente; Ronaldo Luna, de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Missouri; Maggie Ortiz de EERI; y Sahar Safaie de Sage on Earth Consulting Group. El equipo de AGIES estuvo dirigido por el actual Presidente de SismoConsult, Héctor Monzón, e incluía a Roberto Chang, a José Carlos Gil de JC Gil, Ingeniero Estructural; y a Mario Yon, de Mario Yon & Asociados. Los asesores para la Región de América Latina y el Caribe del Banco Mundial, Jeannette Fernández y Yaprav Servi, también viajaron con el equipo de AGIES-EERI. La visita se realizó con el propósito de recabar información sobre los efectos del terremoto y conocer las prácticas de construcción actuales en las regiones afectadas por el terremoto de noviembre.

El estudio de campo realizado por AGIES, EERI y el Banco Mundial es una buena práctica de alianza inter institucional para comprender las causas de los daños estructurales y mejorar los códigos y las normas de construcción.

### 3. Motivación detrás del viaje de estudio de campo

El presente informe es el primero de una serie de estudios de casos que están siendo desarrollados por EERI sobre la recuperación y resiliencia en los países en vías de desarrollo. Se basó en un acuerdo de subvención celebrado entre EERI y el Fondo Mundial para la Reducción y la Recuperación de los Desastres, GFDRR por sus siglas en Inglés, del Banco Mundial.

AGIES también cuenta con un acuerdo con el Banco Mundial como parte del respaldo brindado por el Banco Mundial al país para la recuperación luego del terremoto de noviembre de 2012. Los dos acuerdos facilitaron la colaboración entre EERI y AGIES para realizar las investigaciones posteriores al terremoto que se describen en el presente informe.

Dado que AGIES se encuentra intentando mejorar activamente las prácticas de construcción en Guatemala, esta visita de reconocimiento constituyó una gran oportunidad para que el equipo de EERI pudiera obtener una mejor comprensión sobre los desafíos en términos de resiliencia y recuperación de un país en vías de desarrollo. Al mismo tiempo, les brindó a los miembros de AGIES la oportunidad de discutir sus inquietudes e intercambiar conocimientos con los expertos de EERI sobre diversos aspectos de las prácticas de construcción guatemaltecas, entre ellos el diseño de estructuras con ingeniería y sin ingeniería para la protección contra terremotos, la calidad de los materiales de construcción y las políticas y prácticas de implementación. El presente informe, el cual proporciona información técnica y de ingeniería sobre las necesidades de recuperación frente a

daños, también complementa los informes existentes sobre pérdidas socioeconómicas y necesidades de recuperación a partir del terremoto ocurrido en noviembre de 2012.

La colaboración de EERI-WB tiene gran potencial y debe ser vista como un acuerdo continuo para la evaluación de daños y el desarrollo de capacidades relacionadas con la reducción de riesgos sísmicos. La experiencia de EERI en la evaluación de daños estructurales puede complementar considerablemente la Evaluación de Daños y Pérdidas (DALA) que realiza el Banco Mundial en alianza con la CEPAL.

#### 4. Antecedentes del desarrollo social, económico y tecnológico en Guatemala

Guatemala es un país de ingresos bajos a intermedios con una población total de 14.76 millones de personas (2011) y un PIB de USD 46,900 millones (en 2011), lo cual es menor al PIB promedio en la región de América Latina y el Caribe (Banco Mundial, 2013). Es el país más poblado de América Central y tiene la mayor tasa de crecimiento de la población: 2.53% (Banco Mundial, 2013). Casi la mitad de la población guatemalteca tiene menos de 19 años de edad, lo que se traduce en la población más joven de América Latina.

El sector agrícola representa el 13% del PIB y el 38% de la mano de obra. Los acuerdos de paz de 1996 que pusieron fin a 36 años de guerra civil eliminaron el mayor obstáculo que enfrentaba la inversión extranjera y desde ese momento Guatemala ha logrado grandes reformas y la estabilización macroeconómica. El Tratado de Libre Comercio de Centroamérica (CAFTA-RD) entró en vigor en julio de 2006 y con él aumentaron las inversiones y la diversificación de las exportaciones. Entre 2002 y 2007, Guatemala tuvo un fuerte crecimiento económico - de 3.2% a 6.3%, el cual decayó en 2008 cuando la inflación alcanzó un pico de 11.4%, el mayor de los últimos 15 años (CIA Fact Book, 2013). Debido a la gran comunidad de expatriados de Guatemala en Estados Unidos, es el mayor destinatario de remesas de América Central, con ingresos que sirven como fuente primaria de renta extranjera, equivalente a casi dos quintos de las exportaciones o una décima parte del PIB.

Los altos niveles de desigualdad financiera siguen siendo un problema en Guatemala, como en la mayoría de los países de América Latina y el Caribe. El 20% más rico de la población representa más del 51% del consumo total de Guatemala. Más de la mitad de la población se encuentra por debajo de la línea nacional de la pobreza y el 13% de la población vive en condiciones de extrema pobreza. La pobreza entre los grupos indígenas, que representan el 38% de la población, promedia el 73% y la extrema pobreza afecta al 28% de la población indígena. La pobreza es mayor en áreas rurales (72%) que en áreas urbanas (35%). Los niveles de pobreza aumentaron en los últimos cinco años, aunque tuvieron un

menor aumento en las áreas rurales. En la actualidad, uno de los objetivos del Gobierno Nacional de Guatemala (GoG) es reducir las altas tasas de desnutrición: cerca de la mitad de los niños guatemaltecos menores a cinco años de edad presentan cuadros de desnutrición crónica.

#### 5. Descripción del estado de la práctica actual en materia de diseño y construcción

Un código de construcción adecuado y debidamente observado constituye un componente clave para la construcción segura y la reducción del riesgo sísmico. Hasta hace poco, Guatemala carecía de un código de construcción formalmente reconocido. Sin embargo, el sector de la construcción profesional ha utilizado los códigos y las disposiciones estadounidenses de diseño por décadas como base para los proyectos de ingeniería y la teoría fundamental detrás de estos códigos ha sido enseñada en las universidades locales. Las disposiciones del Código de Construcción Uniforme, UBC por sus siglas en Inglés, de la Zona Sísmica 4 se han utilizado de forma extendida para el diseño sísmico mientras que las disposiciones ACI 318 del Instituto Americano del Concreto se han utilizado para el diseño de concreto reforzado. A pesar de su uso extendido, los códigos estadounidenses no han sido aplicados de forma uniforme. Algunos constructores pueden haberlos seguido fielmente mientras que otros pueden haberlos utilizado como directrices únicamente. Además, se omiten muchos de los detalles de las especificaciones del código porque están en inglés. Como resultado, los grandes proyectos normalmente tienen más experiencia en el proceso de diseño y los pequeños proyectos tienden a aplicar menos los estándares.

En cuanto a las especificaciones sobre la calidad de materiales, se han adoptado muchas de las disposiciones ASTM bajo una designación local, la agencia gubernamental COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas) pero principalmente con fines comerciales.

La mampostería reforzada es el sistema más común de construcción de viviendas en el país. Se ha utilizado mampostería confinada por más de medio siglo y unas décadas atrás se desarrolló un conjunto de estándares de construcción con fines de hipotecas y seguros bajo el auspicio de la agencia gubernamental autónoma, el Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA). Las reglas son totalmente empíricas, pero cuando no se sobrepasan algunos límites establecidos, el desempeño sísmico ha sido bastante satisfactorio.

Los usuarios siempre esperan que el sector de la construcción "formal" tome en cuenta la carga sísmica sobretodo en edificaciones, mediante la realización de una modelación y cálculo estructural, o de forma implícita aplicando ciertas reglas prácticas como es común para edificios bajos de



mampostería confinada. La pregunta es cuan bien aplican cumplen esta tarea los distintos profesionales de la construcción.

Existe un marco organizacional y legal para mejorar la construcción en el país, pero el mismo requiere ser desarrollado y utilizado. La escasez crónica de recursos económicos es una dura realidad que a menudo se utiliza como excusa para no tomar ninguna acción. Las sociedades de ingeniería, las universidades y los gremios nacionales de ingenieros y arquitectos pueden promover más activamente una mayor cultura de prevención de terremotos y un mayor aumento de la tecnología aplicada a la reducción de riesgos.

AGIES se creó en 1996 para ayudar a mejorar las disposiciones del código formal en el país y ha emitido disposiciones recomendadas para el diseño y la construcción estructural (Normas Estructurales de Diseño y Construcción Recomendadas para Guatemala, NR-1, NR-2, NR-3, NR-4, NR-6, Ediciones 1996 y 2001-200). Estas disposiciones siguieron el modelo ATC-3. Actualmente, siguen el formato SEI/ASCE 7 (Normas de Seguridad Estructural para Guatemala NSE-1, NSE-2, NSE-3, NSE-6, Edición 2010, disponible en el sitio web de AGIES). Para la zonificación sísmica de Guatemala, AGIES adaptó los resultados del Proyecto RESIS II (Benito et al, 2009), una evaluación del peligro sísmico promovida por el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC). En cuanto al concreto reforzado, AGIES utiliza las disposiciones de ACI 318S en concordancia con el Capítulo de ACI local. Para otros materiales, se utilizan los estándares de diseño de los Estados Unidos, pero la tarea de mejorar las disposiciones del código formal aún no se ha completado.

Desde el año 2010, la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) ha exigido la aplicación de las disposiciones de AGIES como código estructural de referencia para obras públicas. Sin embargo, las municipalidades del país son autónomas y, por ende, pueden exigir la aplicación de otras disposiciones para permisos de obras privadas. Desde el año 2012, la Municipalidad de la Ciudad de Guatemala ha exigido el cumplimiento de las directrices en materia de reducción de riesgos de CONRED a los efectos de emitir los permisos de construcción incluyendo la aplicación de las disposiciones de AGIES. Este requisito, que ha sido bien aceptado, ha promovido el uso del código de construcción de AGIES entre profesionales de ingeniería y la construcción en general. La aplicación de disposiciones uniformes de diseño y construcción entre los profesionales de con estudios universitarios está bien establecida, pero aún resta cubrir muchos otros estamentos de la construcción. La formulación de normativas para mampostería reforzada y evaluación y reforzamiento de edificaciones existentes son dos prioridades para AGIES.

Para abordar los vacíos en la normativa para mampostería, AGIES está preparando un Manual de Mampostería Confinada previsto para contratistas no profesionales de pequeñas ciudades y un documento modelo sobre Reglas Prescriptivas sobre Mampostería Confinada previstas para municipalidades pequeñas y medianas. Esta será la primera vez en que se provean específicamente reglas y métodos para ciudades pequeñas y áreas rurales en Guatemala. Para ingenieros profesionales, AGIES emitirá las Disposiciones de Mampostería Reforzada y Confinada según ACI 530 y la bibliografía técnica de América del Sur adaptada a las prácticas guatemaltecas. Para la evaluación y reforzamiento de edificios existentes, AGIES está revisando sus recomendaciones previas en base a las pautas ATC-22 en un formato similar al de ASCE/SEI 31-03 y 41-06 adaptado a los tipos locales de construcción. Mientras que el desarrollo de estas herramientas técnicas constituye un paso muy importante, el hecho de generar conciencia pública resulta una tarea complementaria de enorme importancia.

## 6. Estado de la Política y Práctica de Gestión de Riesgos de Desastres

Guatemala se encuentra en una de las regiones más activas en términos volcánicos y sísmicos del planeta y el cambio climático y la variabilidad climática probablemente aumenten la exposición del país a las inundaciones, las erosiones, los deslizamientos de tierra, los huracanes y las sequías. Durante las últimas décadas, el desarrollo socioeconómico de Guatemala se ha visto interrumpido regularmente por los desastres ocasionados por diversas amenazas naturales. Las responsabilidades de recuperación y reconstrucción han alejado los recursos del gobierno de las actividades planificadas estratégicamente de desarrollo de la educación, la salud y la infraestructura. Adicionalmente, estos desastres han afectado a los pobres del país de forma desproporcionada, poniendo en riesgo su sustento e interrumpiendo la prestación de servicios básicos. Sin un esfuerzo consiente por parte del gobierno para vincular el desarrollo con la sostenibilidad ambiental, las ganancias del desarrollo pueden verse afectadas en el largo plazo.

Según las evaluaciones de daños y pérdidas (DALA por sus siglas en Inglés) realizadas por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) luego de diversos desastres ocurridos entre 1980 y 2010, Guatemala sufrió 67 grandes desastres que afectaron a más de 4 millones de personas y dejaron alrededor de 4,000 muertos y daños económicos totales estimados en USD 3,400 millones. Los principales desastres en la historia reciente de Guatemala se resumen en la Tabla 1.

La Coordinadora para la Reducción de Desastres (CONRED), establecida en 1996, es la agencia que dirige la gestión del riesgo de desastres en Guatemala. CONRED es el mecanismo



coordinador que brinda una plataforma y un marco legal para la coordinación interministerial para el manejo de las emergencias y la prevención de desastres. El Consejo Nacional para la Reducción de Desastres dirigido por la Vicepresidencia de la República se encarga de supervisar a CONRED. Una Secretaría Ejecutiva, SE-CONRED, respalda a la Coordinadora Nacional a través de siete áreas especializadas: (1) coordinación; (2) gestión financiera; (3) gestión global de riesgos de desastres; (4) respuesta; (5) preparación; (6) mitigación; y (7) logística. Esta misma estructura se reproduce a nivel regional, municipal y local. Las coordinadoras constituyen comités intersectoriales que incluyen organizaciones públicas, privadas y de la sociedad civil así como proveedores de servicios de emergencia. Son

convocadas por el representante gubernamental de mayor jerarquía en la ubicación afectada (Banco Mundial, 2012).

Al entender su vulnerabilidad a los desastres y sus impactos negativos sobre los ciudadanos y la economía de la nación, el Gobierno de Guatemala introdujo vínculos a la reducción de riesgos de desastres en su programa de política de 2008-2012, adoptó el Plan Nacional para la Prevención y la Mitigación de Desastres 2009-2011 (NPDPM), y actualmente se encuentra revisando la Estrategia Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2012-2017 (NSDRR). El gobierno de Guatemala también elaboró una estrategia de financiación para riesgos de desastres en 2012 a los efectos de desarrollar instrumentos adaptados para abordar las necesidades y las prácticas de Guatemala.

**Tabla 1.** Guatemala: Daños y Pérdidas por Desastre (En millones de USD, 2012)

Año	Evento	Total	Daño	Pérdidas	Total (% de PBI de años previos )
1976	Terremoto	3040.4	829.6	2210.8	23.0
1998	Huracán Mitch	1061.4	408.4	653.0	4.7
2001	Sequías	29.3	17.6	11.7	0.1
2005	Tormenta Tropical Stan	1166.0	669.2	496.8	4.1
2010	Tormenta Tropical Agatha y erupción del Pacaya	1041.7	636.6	405.1	2.6
2011	Depresión Tropical12-E	352.9	84.2	268.7	0.8
2012	Terremoto del 7 de noviembre de 2012	128.5	97.4	31.3	0.3
<b>TOTAL</b>		<b>6820.3</b>	<b>2742.8</b>	<b>4077.5</b>	

<sup>a</sup> Deflactado por el Índice de Precios al Consumo para Estados Unidos en octubre de 2012 (Source: informes DALA de CEPAL para cada evento)

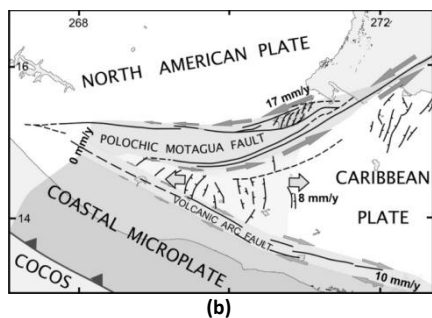
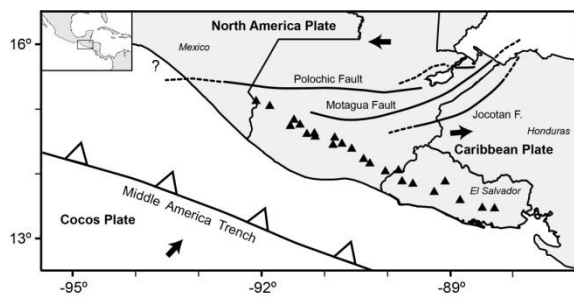
## Parte I: Actividad sísmica de la Región, Efectos geotécnicos y desempeño edilicio

### 1. Actividad sísmica

#### 1.1 Marco Tectónico

Guatemala se encuentra en la unión de tres placas tectónicas: Norteamérica, el Caribe y Cocos. El límite entre las placas de Norteamérica y el Caribe se manifiesta en el sistema de fallas de Motagua y Polochic, que es un marco tectónico con movimiento en dirección lateral izquierda y resulta en una actividad sísmica moderada a baja. El límite entre la placa del Caribe y la placa de Cocos es una zona de subducción en donde la placa de Cocos se mueve por debajo de la placa del Caribe. Como consecuencia, esta área tiene mayor actividad sísmica (ver Figura 1).

El "marco tradicional tectónico" de Guatemala ha sido explorado recientemente a través de una serie de investigaciones en base a mediciones de GPS sobre los movimientos actuales de la placa que rodean el sistema de fallas Motagua-Polochic (Lyon-Caen et al, 2006). Este reciente modelo cinemático (Figura 1b), junto con la evidencia brindada por Correa-Mora et al. (2009) - también en base a mediciones de GPS, sugieren que hay un escaso acoplamiento sismogénico de la interfaz de subducción en la Fosa Mesoamericana, al menos en la porción que va desde Guatemala Central hasta el sureste de El Salvador y Nicaragua.



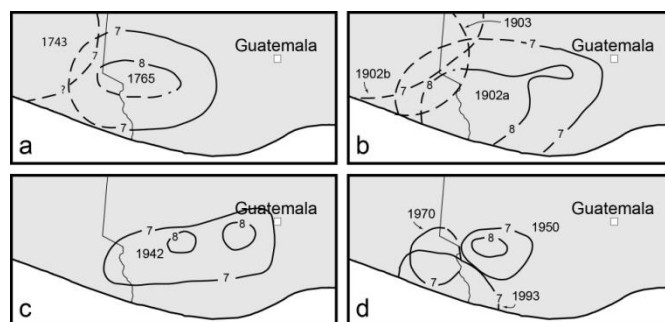
**Figura 1:** El marco tradicional (a) ha sido revisado y actualmente se está estudiando un nuevo marco (b). El último marco sugiere un desacoplamiento sismogénico parcial de la zona de subducción, inducido por una influencia de la microplaca costera.

Estos argumentos han cuestionado la capacidad de la zona de subducción de Guatemala para generar terremotos de gran avance y sugieren que la liberación de energía de subducción del terremoto ha sido la responsable de gran parte de la sismicidad histórica destructiva.

El reciente terremoto grado 7.4 Mw ocurrido el 7 de noviembre de 2012 es a las claras un evento de acoplamiento sismogénico de subducción de gran alcance. Este terremoto puede también sugerir que el nuevo modelo tectónico de la región (Figura 1b) se limita a cierto alcance geográfico y que cambia su naturaleza hacia la parte oeste de Guatemala y el sur de Chiapas, México; en donde la ocurrencia de terremotos corticales ha sido más común durante el último siglo de actividad sísmica.

#### 1.2 Sismicidad de Subducción Histórica del Oeste de Guatemala

La región oeste de la zona de subducción en el sur de Guatemala y el estado de Chiapas, México, tiene antecedentes históricos de actividad sísmica. Durante los últimos 40 años, la región que se encuentra a 250 km (155 mi) del epicentro ha tenido 50 terremotos grado M6 o mayores. Se han documentado al menos 15 terremotos de magnitud mayor o igual a 7, lo que demuestra el considerable peligro sísmico de esta región. La Tabla 2 presenta un resumen de estos eventos y sus efectos en la región. Los estudios realizados por White et al. (2004) sobre la actividad de subducción en Guatemala muestran que los eventos de esta naturaleza con magnitud de  $7.75 \pm 0.03$  tienen una recurrencia de  $71 \pm 17$  años (ver Figura 2).



**Figura 2.** Contornos de intensidad de terremotos destructivos ubicados en los alrededores del evento de magnitud M 7.4 del 7 de noviembre de 2012. Para una mayor claridad y distinción de los eventos, los contornos de intensidad se dividen en distintas ventanas de tiempo a-d (modificadas por White, et al., 2004).

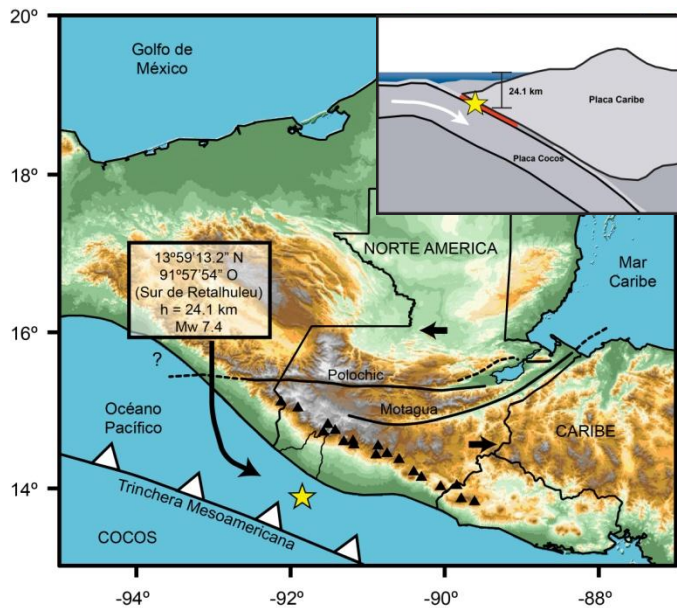
**Tabla 2.** Terremotos ( $M \geq 7$ ) en la región del terremoto del 7 de noviembre

Fecha	Regiones afectadas	Intensidad y Magnitud	Efectos regionales
29 de mayo de 1530	Ciudad Vieja, Quetzaltenango, San Marcos	Desconocido	Grandes terremotos
Principios de 1533	Guatemala y Tehuantepec, México	Desconocido	Terremotos frecuentes
29 de noviembre de 1577	Antigua, San Marcos, Sololá	VII	Terremoto a medianoche que destruyó muchos edificios (3 minutos de duración)
14 de marzo de 1591	Las Casas, México	VII	Destruyó la torre y la capilla principal de la catedral
Circa 1687	Las Casas, México	VII	Grandes daños generales
10 de octubre de 1688	México, Guatemala, Chiapas	VII	Terremoto
30 de mayo de 1743	Tuxtla, Las Casas, Xitalapa, Tapala, México	VII, M7.4-8.2	Iglesias derrumbadas y fuertemente dañadas
24 de octubre de 1765	Soconusco a Tacaná, San Marcos, Chiapas a Quetzaltenango	VIII+, M7.6-8.2	Edificios derrumbados e iglesias fuertemente dañadas Las réplicas continuaron hasta el 1 de noviembre (7-8 minutos de duración)
18 de abril de 1902	San Marcos a Quetzaltenango. Sur de Huehuetenango	VIII, M7.5-7.9	Todas las iglesias de la zona se desplomaron o quedaron destruidas. Entre 800 y 900 muertes. Réplicas frecuentes hasta el 5 de mayo.
23 de septiembre de 1902	Chiapas Central	VIII, M7.6-8.2	Daños mayores. (65 segundos de duración)
14 de enero de 1903	Soconusco, México	VII+, M7.6-8.1	Daños de gran alcance
6 de agosto de 1942	Chimaltenango, Totonicapán, San Marcos, Retalhuleu	VIII+, M7.9	La mayoría de los edificios se desplomaron, muchos hogares sufrieron daños. (alrededor de 1 minuto de duración)
23 de octubre de 1950	San Marcos, La Esperanza, Sololá a Frontera con México	VIII, M7.3	El 80% de las casas se vieron fuertemente dañadas. 13 réplicas hasta el 5 de noviembre.
29 de abril de 1970	Soconusco, México y la frontera de México/Guatemala	VII, M7.3	Daños de gran alcance en el sur de Chiapas
10 de septiembre de 1993	Cerca de la costa de Chiapas, México	VII, M7.3	Daños en partes de México y el sur de Guatemala.

(Fuente: White et al., 2004)

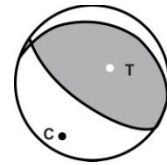
**1.3 El evento de magnitud 7.4 Mw de noviembre de 2012**

El 7 de noviembre de 2012, cerca de las 10:35 am (hora local), un terremoto de magnitud 7.4 Mw sacudió el sur de Champerico, Guatemala, en la región sudeste del país centroamericano. Las coordenadas hipocéntricas de este evento fueron: Latitud Norte 13° 59' 13.2" y longitud oeste 91° 57' 54". La ubicación de este evento (ver Figura 3) se estimó a partir de los registros tomados por más de 700 estaciones que integran la Red Sismográfica Global. La profundidad del hipocentro se estimó a 24.1 km (15 mi) y la ruptura tardó alrededor de 32 segundos.

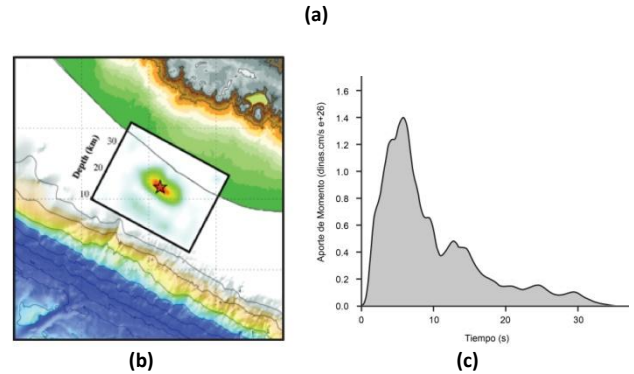


**Figura 3.** Ubicación del epicentro del evento del 7 de noviembre - causada por la subducción de la placa de Cocos a lo largo de la Fosa Mesoamericana (Fuente: J.P. Ligorría).

Dada la ubicación de la fuente de este evento, su mecanismo se atribuyó a la actividad de subducción de la placa de Cocos debajo de la placa del Caribe a lo largo de la fosa Mesoamericana. En esta región, la placa de Cocos se mueve en dirección norte-noreste con respecto a las placas del Caribe y Norteamérica a una velocidad de aproximadamente 71 mm por año (2.76 pulgadas/año). La comunidad científica acepta que esta región puede generar terremotos con magnitudes de hasta M 8.1 (Benito et al., 2012). La Figura 4 muestra el mecanismo focal, la solución de tensor y la tasa de liberación de energía como función del tiempo.



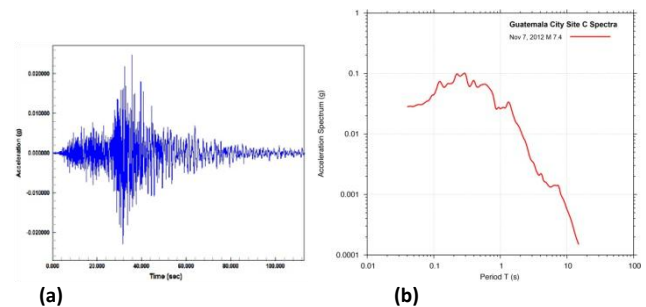
Plano nodal	Azimuth	Ángulo de dip	Orientación
1	126°	69°	98°
2	285°	23°	70°



**Figura 4.** Distintos aspectos del terremoto del 7 de noviembre. (a) Indicación del mecanismo focal con los principales ejes de tensión (T) y compresión (C). (b) Proyección superficial de la distribución de energía durante la ruptura. (c) Función de tiempo de la fuente, que indica la liberación sísmica en alrededor de 32 segundos. (Fuente: Modificado desde USGS).

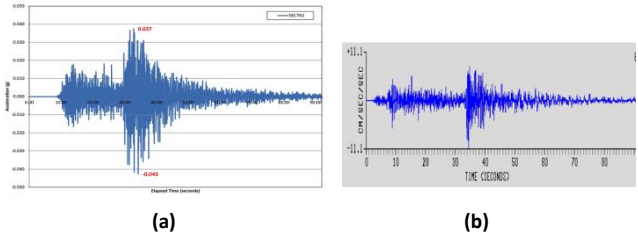
**1.4 Registros del movimiento sísmico**

Los registros de temblores para este terremoto pueden encontrarse en tres estaciones en Guatemala. El registro de la Mina Marlin fue la más próxima a 158 km (98 mi) del epicentro, en donde la PGA registrada fue de .04g y la intensidad correspondiente fue de V. El registro tomado en la Ciudad de Guatemala fue a 175 km (109 mi) del epicentro, en donde la PGA fue .02g y la intensidad fue de IV. El tercer registro se obtuvo en Quixal en Alta Verapaz a alrededor de 235 km (146 mi) del epicentro. En este sitio la PGA fue de .01g y la intensidad fue de III. Los temblores registrados y el espectro de respuesta de aceleración correspondiente se muestran en la Figura 5 (Ciudad de Guatemala) y en la Figura 5 (Marlin Mine y Quixal).



**Figura 5.** Aceleraciones de tierra registradas y espectro de aceleración amortiguada del 5% desde el sitio de la Ciudad de Guatemala.

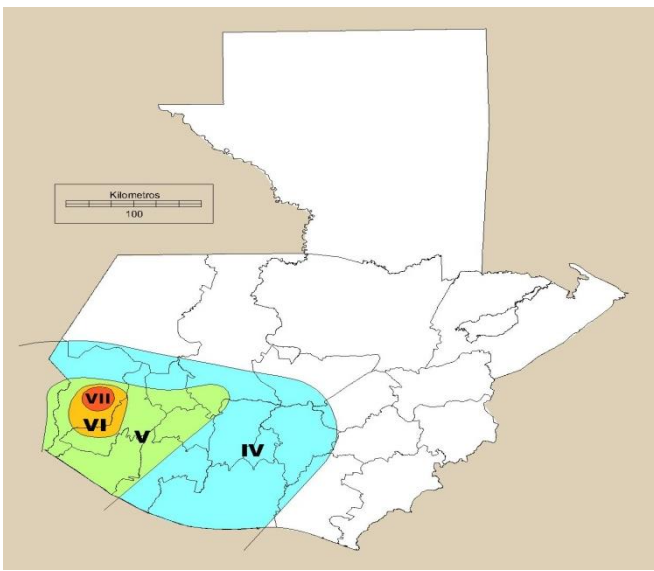




**Figura 6.** Aceleraciones de tierra registradas en los sitios Marlin Mine (a) y Quixal (b).

**1.5 Áreas afectadas por el evento de noviembre de 2012**

El mapa que se muestra en la Figura 7 muestra la distribución estimada de las intensidades en la región afectada por el terremoto. Se sintieron intensidades entre VI y VII en las ciudades de la costa cercanas al epicentro. En la Ciudad de Guatemala, la intensidad fue de V. El daño global de las áreas de San Pedro/ San Marcos, que se encuentran a 130 km (81 mi) de distancia del epicentro, se debe probablemente a la propagación de las ondas a través de un volcán cercano que produjo la amplificación de las ondas o a los efectos de sitio.



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

**Figura 7.** Intensidades estimadas para el área afectada (Fuente: luego de H. Monzon)

## 2. Efectos Geotécnicos

### 2.1 Contexto Geológico

#### 2.1.1 Geología Regional

La geología de Guatemala se caracteriza por tener un ambiente fisiográfico muy bien definido que comprende cuatro provincias geológicas (Ver Figura 8). El área de San Marcos y San Pedro Sacatepéquez se encuentra sobre una zona volcánica en la misma línea de la costa del Océano Pacífico. Esta zona se caracteriza por tener distintas estructuras volcánicas de gran tamaño, tales como calderas y volcanes estratificados. Esta zona se puede dividir en segmentos según las alineaciones sísmicas y volcánicas. Existen diversas fallas con rumbo lateral izquierdo que atraviesan Guatemala desde la frontera noreste y se extienden hacia México. El sistema principal de fallas es el Motagua-Polochic.



Figura 8. Provincias fisiográficas de Guatemala

#### 2.1.2 Zona de subducción y consecuencias de la actividad volcánica

Las consecuencias de la actividad volcánica y la zona de subducción existente se asocian con la evolución de un arco insular que proviene de la subducción de una placa debajo de la otra. Las viejas estructuras volcánicas son estructuras Terciarias y Cuaternarias. Las estructuras volcánicas activas de la placa del Caribe migran desde el sur hacia la línea de la costa.

#### 2.1.3 Marco geológico de la región costera y montañosa al oeste de Guatemala

La región costera o el plano costero del Pacífico forma otra provincia geológica y consiste de depósitos cuaternarios resultantes de la actividad volcánica.

#### 2.1.4 Depósitos de cenizas, costeros y aluviales, suelos piroclásticos

Geológicamente, San Marcos y San Pedro se encuentran dentro del ambiente volcánico-tectónico formado por una posible estructura caldera anterior. El Volcán Tajumulco también se encuentra dentro de una estructura de arco ocasionada por el colapso previo de un volcán (ver Figura 9).

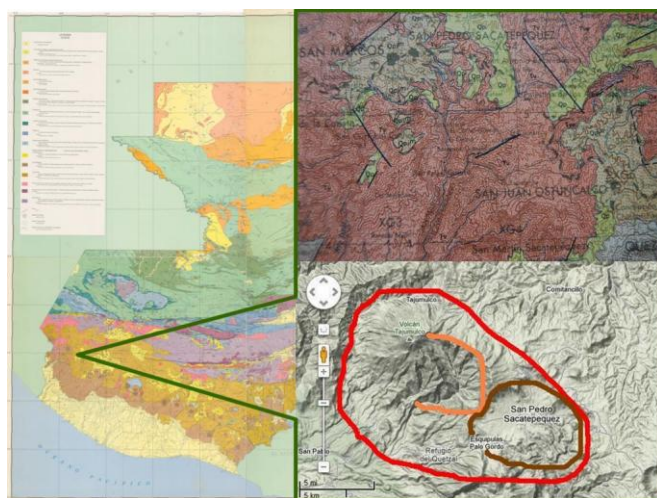


Figura 9. Mapa geológico y geomorfológico de San Marcos y San Pedro. Rojo: Estructura caldérica inicial, naranja: Estructura de arco que marca el colapso del edificio volcánico; marrón: Planicie Tajumulco o valle caldera original.

Las ciudades se construyen en un depósito creado por relleno piroclástico formado por una gruesa capa de ceniza y piedra pómez de origen Terciario. Se identifica en el mapa de la Figura 6 como un depósito de ignimbritas de pómez Cuaternarias de San Marcos tipo Qpi<sup>m</sup>. El depósito consiste de grandes fragmentos de roca tobácea y cenizas de tamaño fino a medio, de hasta 30m o más gruesa. La parte superior es aluvial con pendientes desde la ciudad de San Marcos en el norte hacia el valle inferior que rodea San Pedro Sacatepéquez, su grosor varía pero en algunos lugares alcanza los 5 m. (Ver Figura 10)



Figura 10. Corte del noreste de San Marcos que muestra el depósito de flujo piroclástico de cenizas y fragmentos líticos (flecha amarilla) que subyacen los depósitos aluviales que forman la capa de suelo orgánico (flecha naranja).

## 2.2 Efectos de las condiciones del suelo sobre el desempeño de la construcción

El informe regional oficial de daños, que incluyó los departamentos de San Marcos, Retalhuleu, Huehuetenango, Quetzaltenango, Quiché, Sololá y Mazatenango, así como el informe de reconocimiento de campo posterior al evento mostraron que la mayoría del daño se encontraba concentrado en las regiones de llanura y valle.

Para obtener una comprensión mayor de la amplificación potencial del sitio y el período del sitio en las ubicaciones de San Marcos y San Pedro, el equipo de reconocimiento realizó pruebas de microtemblores. Las mediciones se tomaron en los sitios en donde se observaron daños en los edificios y sus áreas circundantes. Estos sitios se muestran en la Figura 11. Los registros se procesaron utilizando la técnica de Nakamura (1989) para estimar la frecuencia y la amplificación del sitio. Los resultados sugieren que ocurren amplificaciones del sitio en frecuencias comunes a edificios de escasa altura.



Figura 11. Ubicación y resultados de las pruebas de microtemblores.

La capa de suelo orgánico llevada por las acciones de depósito y sedimentación a lo largo del valle o de la cuenca debajo de las ciudades es considerablemente gruesa (ver Figura 12) y gran parte de los cimientos de las casas de adobe

son muy superficiales y se encuentran dentro de esta capa. Las malas condiciones de cimentación representan otro factor que puede haber contribuido al daño observado durante el terremoto.



Figura 12. Profundidad de los cimientos de las casas de adobe (flecha naranja) y del suelo aluvial orgánico (flecha amarilla). San Pedro Sacatepéquez

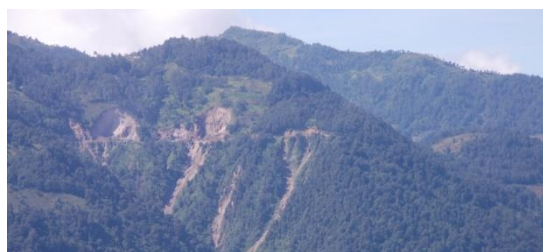
## 2.3 Deslizamientos y asentamiento del terreno

Los deslizamientos de tierras en las montañas y en las laderas empinadas fueron reportados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). La mayoría de los deslizamientos de tierras fueron fotografiados en los cortes de la Carretera Panamericana CA-1 y las rutas que se encuentran a lo largo de la provincia fisiográfica volcánica cercana al epicentro. El escaso diseño de los taludes de corte que se realizaron a lo largo de la Carretera Panamericana y otras rutas generaron muchos de los deslizamientos, según se observa en las Figuras 13 y 14. Los deslizamientos ocurridos a lo largo de las rutas fueron también ocasionados por la falla de las laderas que ya se habían debilitado a causa de la Tormenta Tropical Agatha en 2010. Los escombros resultantes de los deslizamientos de tierra se retiraron de las rutas rápidamente para que el tráfico no se viera interrumpido por mucho tiempo.



Figura 13. Deslizamientos ocasionados sobre la carretera CA-1 hasta Nahualá, kilómetros 148-152.5. La inestabilidad fue ocasionada en parte por el inapropiado diseño de los taludes de corte.





**Figura 14.** Deslizamientos cercanos a la ruta hacia San Cristóbal Cucho, al sur de San Marcos. Apenas se retiraron los materiales en el terremoto, pero muchos de estos fueron deslizamientos inducidos durante la Tormenta Tropical Agatha en 2010.

Los deslizamientos que ocasionaron muertes fueron en gran parte en áreas en donde se practicaron actividades mineras informales de arena y agregados. Al sur de la ciudad de San Marcos, siete mineros que se encontraban bajo tierra al momento del terremoto quedaron enterrados y murieron (ver Figura 15). Además, la municipalidad de San Cristóbal Cucho informó siete muertes de una familia que había quedado enterrada por un deslizamiento de tierras. La cantidad total de deslizamientos no fue tanta como la del terremoto de 1976, pero gran parte de los deslizamientos fueron ocasionados por actividades causadas por la intervención de la mano del hombre. La Tabla 3 presenta un resumen de los deslizamientos más significativos de la región.

**Tabla 3. Deslizamientos ocasionados por el terremoto del 7 de noviembre**

Ubicación	Tipo de deslizamiento	Lesiones/ Muertes	Fuente
Cantón La Esperanza, San Cristóbal Cucho, San Marcos	Traslacional	10 muertes	"Al Día" Jueves 8 de noviembre, 2012. Año 16 No. 5757 Pag. 3
San José El Recreo, San Marcos	Fallo de pendiente, excavación de arena y otros materiales de construcción	7 muertes	"Al Día" Jueves 8 de noviembre, 2012. Año 16 No. 5757. Pag.3
Aldea Tuipox, Concepción Chiquirichapa, Quetzaltenango	Fallo de pendiente, excavación de arena y otros materiales de construcción	8 muertes	"Al Día" Jueves 8 de noviembre, 2012. Año 16 No. 5757 Pag. 5
Carretera Quetzaltenango-San Marcos Km. 222 y 236	Fallo de pendiente en carretera	Obstrucción de la carretera	"Al Día" Jueves 8 de noviembre, 2012. Año 16 No. 5757. Pag. 5
Volcán Cerro Quemado, Quetzaltenango.	Caída de rocas	1 muerte	"Al Día" Jueves 8 de noviembre, 2012. Año 16 No. 5757.Pag. 5
Zunil, Quetzaltenango. Basurero	Fallo de pendiente	2 muertes	Prensa Libre. Jueves 8 de noviembre, 2012. AñoLXII, No. 20,419. Pag. 3
Carretera Panamericana CA-1, Km. 148-152.5-160; Nahualá, Sololá.	Fallo de pendiente en carretera	Obstrucción de la carretera	"Al Día" Jueves 8 de noviembre, 2012. Año 16 No. 5757. Pag. 6
Carretera Panamericana CA-1 Km. 176; Tonicapán	Fallo de pendiente en carretera	Obstrucción de la carretera	"Al Día" Jueves 8 de noviembre, 2012. Año 16 No. 5757 Pag. 7
Carretera Panamericana CA-1 Km. 309 La Mesilla, Huehuetenango	Fallo de pendiente en carretera	Obstrucción de la carretera	"Al Día" Jueves 8 de noviembre, 2012. Año 16 No. 5757 Pag. 7
Carretera CA-1 Km. 245, Malacatancito, Huehuetenango	Fallo de terraplén de carretera, socavación	Obstrucción de la carretera	"Siglo 21" Jueves 8 de noviembre de 2012. Año 23, No. 9048. Pag. 3. Recuadro daños en carreteras
Carretera o Ruta 01 entre Patzún y Godínez, Chimaltenango	Fallo de pendiente en carretera	Obstrucción de la carretera	"Nuestro Diario" Jueves 8 de noviembre de 2012. Año 15. No. 5342. Pag. 3.
Tramo Esquipulas-Palo Gordo, San Marcos. Km 260	Fallo de pendiente en carretera	Obstrucción de la carretera	"Siglo 21" Jueves 8 de noviembre de 2012. Año 23, No. 9048. Pag. 3. Recuadro daños en carreteras.
Carretera al Pacífico. Km. 157.5, 180, y 193. Retalhuleu.	Fallo de pendiente en carretera	Obstrucción de la carretera	"Siglo 21" Jueves 8 de noviembre de 2012. Año 23, No. 9048. Pag. 3. Recuadro daños en carreteras
Carretera CA-9 Atlántico. Km. 30-55-70	Fallo de pendiente en carretera	Obstrucción de la carretera	"Prensa Libre" Jueves 8 de noviembre, 2012. AñoLXII, No. 20,419. Pag. 5





Figura 15. Sector sur de San Marcos que muestra las canteras de agregados y las excavaciones de arena. El círculo muestra el lugar donde murieron las siete personas.

## 2.4 Licuefacción

Se observó licuefacción principalmente en el Puerto de Ocós y a lo largo del área costera cercana al epicentro, según se esperaba de depósitos aluviales tales como playas costeras. La Figura 16 muestra la distribución lateral de la playa de Ocós. Asimismo, en Coatepeque se observó asentamiento y esparcimiento lateral del terreno en la ribera de un pequeño río, tal como se puede apreciar en las Figuras 17 y 18.



Figura 16. Distribución lateral de arena en la playa de Ocós en San Marcos.

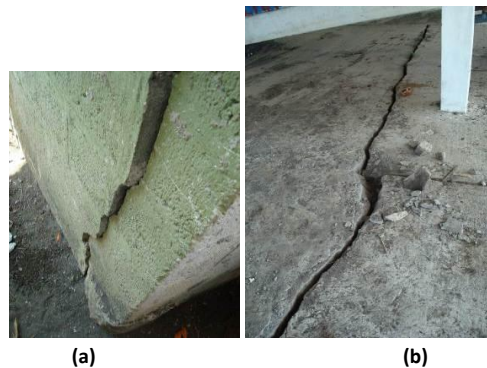


Figura 17. Sedimentación ocasionada por la licuefacción de la ribera de un riachuelo ubicado en la Municipalidad de Colomba, Coatepeque, Quetzaltenango.



Figura 18. Esparcimiento lateral del terreno debido a la licuefacción. Pueden observarse las grietas de las casas causadas por su ubicación en la ribera del riachuelo y las mismas coinciden con los agrietamientos del suelo Municipalidad de Colomba, Coatepeque, Quetzaltenango.

En el área de Puerto Champerico se registraron grandes daños, entre ellos el agrietamiento de estructuras, lozas y suelo; movimiento de paredes, desplazamiento de columnas; asentamiento del terreno y licuefacción (Ver Figura 19). Gran parte del daño se hizo visible a lo largo del muelle Champerico. Los testigos locales mencionaron que se podían mover fácilmente con la mano las columnas de anclaje flotantes y que se rompieron los soportes de anclaje sujetos a las columnas.



(a)

(b)



(c)

Figura 19. Daño estructural causado por la licuefacción. (a) pared de mampostería con movimiento (28 mm (1.1 in) en la parte superior), (b) baldosa en asentamiento vertical (6 mm (.025 in) y horizontal 22 mm (.085 in), (c) separación de las baldosas del muelle.

### 3. Observaciones de Ingeniería Estructural

#### 3.1 Adobe y Bajareque

El área de la cabecera del Departamento de San Marcos fue poco afectada por el terremoto del 4 de febrero de 1976, por lo que la mayoría de los edificios antiguos construidos en adobe y bajareque seguían aún se encontraban en pie sin algún daño aparente. La construcción de bajareque consiste en una estructura de madera que se rellena con lodo para formar las paredes. Como ya se había experimentado en el terremoto del 4 de febrero de 1976, el terremoto del 7 de noviembre de 2012 mostró un fallo generalizado en las construcciones de adobe en el departamento de San Marcos, especialmente en el casco urbano de las ciudades adyacentes de San Marcos y San Pedro Sacatepéquez, donde la mayoría de las casas construidas con este material colapsaron o sufrieron daños estructurales severos que podían ameritar su demolición. (ver Figuras 20 y 21).



Figura 20. Estructuras en adobe (a) y bahareque (b) con daños severos

Las casas de adobe y bajareque que sufrieron daños severos o que colapsaron registraron los siguientes tipos de falla:

- Agrietamiento y separación de los muros en las esquinas
- Separación de los techos de los muros de apoyo
- Agrietamiento diagonal de los muros por tensión diagonal o por corte
- Volteo de los muros, especialmente de aquellos que soportaban pesados techos inclinados de teja.



Figura 21. Mecanismos de destrucción típicos observados en las estructuras en adobe (a) y bahareque (b).

Inclusive las casas de adobe que quedaron en pie sin ningún daño aparente y que fueron aprobadas por los inspectores, presentan condiciones de ser habitadas luego de su inspección mostraban, en la mayoría de los casos, evidencia de la aparición de éste tipo de fallas, especialmente el agrietamiento y separación de los muros en las esquinas y la tendencia de los muros que apoyan los techos inclinados a voltearse hacia afuera. Estas edificaciones, si no se les hace una rehabilitación estructural adecuada, que es lo más probable, presentan un gran peligro para sus habitantes, debido a que pueden colapsar con un sismo de menor intensidad.

Otro aspecto importante a considerar es el tipo de material con que se fabrica la mayoría del adobe en Guatemala. A diferencia de otros países del mundo, el adobe en Guatemala no se hace de arcilla sino de limo, lo cual hace que los bloques tengan poca cohesión, poca capacidad de carga y tendencia a desboronares ante cualquier movimiento.



### 3.2 Mampostería Confinada

Después del terremoto de 1976 hubo una migración natural de utilizar adobe a utilizar mampostería confinada como sistema constructivo preferente entre la mayoría de la población, ya que la gente se dio cuenta del daño severo que habían sufrido las edificaciones de adobe y la cantidad de muertes que habían ocasionado. Hoy en día, la gran mayoría de la construcción en las áreas urbanas y rurales de Guatemala se hace utilizando mampostería confinada a base de bloques livianos de pómez, los cuales se puede adquirir con mucha facilidad en cualquier región del país. (ver Figura 22).



**Figura 22.** Construcción tradicional de adobe de limo a la izquierda; mampostería confinada de bajo costo a la derecha; en el centro, vivienda de mampostería confinada que muestra el impacto de los fondos que envían los inmigrantes a sus familias desde el exterior.

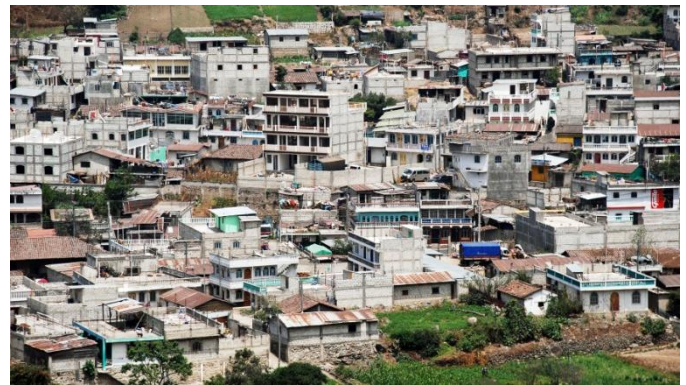
Es difícil estimar la intensidad real del sismo en las áreas afectadas, ya que se cuenta con muy pocos acelerógrafos en funcionamiento en todo el territorio guatemalteco y la mayoría están concentrados en la ciudad capital. El más cercano a la zona afectada se encuentra a 50 km al norte, en la mina Marlin en el departamento de San Marcos (ver Figura 23), reportó una aceleración pico de 4% g.



**Figura 23.** A muestra la ubicación de la Mina Marlin en donde se registró una aceleración pico de 4% g. B muestra la ubicación del área más afectada. (Fuente: Google Maps)

A pesar de que no colapsaron muchas estructuras de mampostería confinada y de concreto reforzado en el Departamento de San Marcos, para las aceleraciones calculadas, que se encuentran dentro del rango del 20% y el 40% de la aceleración de diseño para la región, muchos edificios sufrieron daños estructurales severos.

Gran parte de las construcciones pequeñas en Guatemala, según se muestra en la Figura 24, están fabricadas de mampostería confinada con bloques de concreto livianos de baja resistencia - 1.23 MPa (12.5 kg/cm<sup>2</sup>, 176 psi sobre el área neta) - hechos de piedra pómez. En las áreas rurales, las estructuras normalmente utilizan métodos empíricos y son construidas por maestros de obra que carecen de capacitación técnica formal y que han aprendido el oficio a través de un proceso de observación y práctica, comenzando como aprendices y después como albañiles.



**Figura 24.** Zunil, Quetzaltenango. Ciudades enteras en Guatemala han sustituido el adobe con mampostería confinada, sin respetar los límites de altura (3 pisos) del sistema empírico.

La mampostería confinada ha demostrado tener un buen comportamiento sismo-resistente para las construcciones menores, incluso cuando se construyen de forma empírica (ver Figura 25). Este buen comportamiento incluye un desempeño satisfactorio durante el terremoto severo de 1976 en falla del Motagua, durante eventos medianos, tales como Cuilapa en 2011, Pochuta en 1991 y Uspantán en 1985 y durante el último evento sísmico del 7 de noviembre de 2012, excepto - por supuesto - cuando los materiales son de mala calidad o la disposición de las paredes es muy deficiente. Las Figuras 25a y 25b muestran las principales características de las unidades de vivienda en mampostería confinada construidas de forma empírica en Guatemala.



**Figura 25.** (a) Vivienda de mampostería confinada en el occidente de Guatemala. A diferencia de la mayoría de las construcciones en mampostería confinada alrededor del mundo, se utiliza un elemento de unión horizontal intermedio (a 1.20 metros); también se utilizan elementos de unión vertical intermedios (a 1.50 o 2.0 metros). Las losas de techo son muy comunes. (b) Vivienda en mampostería confinada en el noroeste de Guatemala. Cabe destacar nuevamente la presencia de un elemento de unión horizontal intermedio y la losa del techo.

La construcción en mampostería confinada en Guatemala consiste de paredes de mampostería (principalmente de unidades de bloques de concreto liviano) y elementos confinantes de concreto reforzado horizontales (soleras) y verticales (mochetas). Los elementos verticales normalmente se colocan en los extremos de las paredes, en las intersecciones entre muros y a distancias que no superan los 2.50 m (8.2 pies). El acero de refuerzo de las mochetas normalmente son al menos cuatro barras de acero Nro. 3 (a pesar de que es común ver que se reemplacen las barras Nro. 3 con barras Nro. 4 y 5 en las esquinas y en la unión de dos o más paredes). Para la confinamiento de elementos verticales se utilizan estribos hechos con barras de 6.35 mm de diámetro (.25 pulgadas) con una separación máxima de 20/25 cm (8/10 pulgadas). Los elementos horizontales normalmente se colocan a nivel del suelo, a nivel de la losa y también es común colocar uno intermedio entre el nivel del suelo y de la losa. El refuerzo típico de las soleras se compone normalmente de cuatro barras Nro. 3 con estribos hechos con barras de 6.35 mm de diámetro (.25 pulgadas) con una separación máxima de 20/25 cm (8/10 pulgadas). Las mochetas y soleras también se colocan alrededor de los vanos de las puertas y las ventanas. La cimentación de los muros es usualmente un cimiento corrido de concreto reforzado y el mortero de pega que más se usa es una mezcla de agua, cal limo, ceniza volcánica cemento y arena.

### Quando se excede la capacidad del sistema

A pesar de que la mampostería confinada ha demostrado tener un buen comportamiento sismo-resistente para la construcción menor, aún si se hace de forma empírica el problema se da cuando los constructores empíricos abusan del sistema debido principalmente al desconocimiento que tienen tanto de las limitaciones del mismo como de los materiales que lo componen. El problema se agrava cuando las municipalidades, que por su autonomía son las únicas con la potestad de regular la construcción en sus municipios, no

ejercen ningún tipo de control ni establecen limitantes a los constructores y dueños de los distintos proyectos. La Figura 26 ilustra los casos en que se ha abusado la capacidad del sistema.



**Figura 26.** (a) Pequeño edificio de varios pisos construido de forma empírica en una ciudad en el occidente de Guatemala. Se observa las mismas características para las viviendas de dos pisos y, en este caso, la falta de paredes transversales. (b) Ejemplo de una configuración anormal de una vivienda de mampostería confinada.

### Daños sísmicos observados

El daño estructural en las estructuras de mampostería confinada se puede atribuir a cuatro factores:

1. Deficiencia de los materiales, especialmente en la calidad de los bloques livianos de concreto y la falta de detalles especiales de confinamiento y anclaje de los elementos estructurales.
2. Configuración estructural inadecuada
3. Abuso del sistema de construcción
4. Efectos del sitio

Algunos ejemplos de estos daños se muestran en la Figura 27.



**Figura 27.** Estructuras de concreto reforzado (imagen superior) y mampostería confinada (imagen inferior) con serios daños.



A pesar de que la mayoría de las fallas en las estructuras de mampostería confinada se debe a la combinación de los factores anteriormente descritos, se detectó que la principal causante de estas fallas era la mala calidad de los bloques de concreto utilizados. Los datos obtenidos de un muestreo aleatorio realizado por el Instituto de Cemento y Concreto de Guatemala (ICCG) entre las fábricas artesanales de bloques ubicadas en el área cercana a la cabecera departamental de San Marcos días después del terremoto mostraron una variación en la resistencia de los bloques de concreto (hechos de piedra pómez) de entre 1.27 MPa (13 kg/cm<sup>2</sup>, 185 psi) y 3.11 MPa (31.78 kg/cm<sup>2</sup>, 452 psi) sobre el área neta. La mayoría de los bloques que se comercializan en esta región provienen de fábricas artesanales (ver Figura 28) ubicadas principalmente en los Departamentos de San Marcos y Quetzaltenango, que generalmente son operadas por una familia y que carecen de cualquier forma de control de calidad durante todo el proceso de fabricación (selección de materiales, dosificación, mezclado y curado) por lo que es común que la resistencia de los bloques varíe drásticamente todos los días. En el área, también se comercializan bloques provenientes de procesos industriales de fabricación que generan bloques de mayor calidad y menor variación de

resistencia. El problema es que la mayoría de estas fábricas, en un esfuerzo para competir en costo con las fábricas de bloques artesanales, venden bloques de baja resistencia de 2.45 MPa ((25 kg/cm<sup>2</sup>, 356 psi) sobre área bruta que no se incluyen dentro del Norma Técnica Guatemalteca para bloques de concreto NTG 41054. Las Tablas 4 y 5 muestran los valores de la resistencia a la compresión de los bloques de concreto provenientes de algunas fábricas de la región de San Marcos.



**Figura 28.** Vista de una fábrica de bloques artesanal típica en Quetzaltenango.

**Tabla 4. Resistencia a la compresión promedio de fábricas de bloques artesanales en el Departamento de San Marcos**

Fábrica	Departamento	Fuerza Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
CF1	San Marcos	37.0
CF2	San Marcos	24.5
CF2	San Marcos	36.5
CF3	San Marcos	35.5
CF3	San Marcos	35.5
CF3	San Marcos	32.5
CF4	San Marcos	17.5
CF5	San Marcos	12.0
CF6	San Marcos	16.0
CF6	San Marcos	12.0
CF6	San Marcos	11.0
CF7	San Pedro	43.0
CF8	San Pedro	13.0

(fuente: Rubén López)

**Tabla 5. Resistencia de bloques de concreto de fábricas artesanales del Departamento de San Marcos muestreados días después del terremoto del 7 de noviembre**

No.	Fecha de la Prueba:	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Capacidad (kg/cm <sup>2</sup> )
1	2012.11.22	401	149	199	25.74
2	2012.11.22	402	149	203	31.78
3	2012.11.22	401	148	198	19.64
4	2012.11.22	403	149	198	29.71
5	2012.11.22	400	149	202	24.46
6	2012.11.22	388	140	189	15.11
7	2012.11.22	390	139	188	13.28
8	2012.11.22	391	139	190	18.48
9	2012.11.22	388	140	189	18.98

(Fuente: ICCG)

Otro factor importante que afecta el buen rendimiento de las estructuras de mampostería confinada fue la mala configuración estructural de muchos edificios como resultado de la ausencia, en la mayoría de los casos, de un diseño estructural adecuado. Los problemas típicos de la mala configuración estructural en el área afectada por el terremoto son los siguientes:

**Casas de esquina:** Este tipo de estructuras posee la mayor parte de los muros en los lados que dan hacia las vecindades (ver Figura 29), lo que ocasiona problemas de excentricidad que concentran los esfuerzos en los muros perimetrales exteriores debido a la torsión que se genera. El problema se agrava ya que muchas veces los muros de los niveles superiores no continúan en el primer nivel, en muchos casos de uso comercial, para tener ambientes amplios.



Figura 29. Configuración estructural de casas en esquinas.

### Estructuras tipo túnel:

Este tipo de estructuras (ver figura 30) posee la mayor parte de los muros en el sentido largo de la estructura. La densidad de muros en el sentido corto es muy baja y se concentra en la parte trasera del edificio. El problema se agrava ya que muchas veces los muros de los niveles superiores no continúan en el primer nivel, en muchos casos de uso comercial, para tener ambientes amplios, tal como se aprecia en la Figura 31.



Figura 30. Configuración estructural inadecuada, típica estructura tipo "túnel".



Figura 31. Configuración estructural inadecuada, típica estructura tipo "túnel".

**Efectos de columna corta:** En muchos casos se observaron fallas de elementos estructurales ocasionados por la concentración de esfuerzos debido a los efectos de columna corta (ver Figura 32), derivados principalmente por la interacción entre las tabicaciones de mampostería y columnas de concreto. Esta deficiencia en la configuración estructural pudo ser apreciada frecuentemente en aberturas de paredes para ventanas superiores.



Figura 32. Efectos de columnas cortas.

Adicionalmente para las estructuras de mampostería confinada, otro factor importante que repercutió en el desempeño de la edificación, fue el abuso del sistema, ya que, como se mencionó con anterioridad, los constructores empíricos generalmente no tienen el conocimiento de que el sistema tiene sus limitaciones. El proceso constructivo de una vivienda en el área rural generalmente se hace por fases, dependiendo de los recursos que la familia tenga disponibles en el momento. Muchas veces se empieza construyendo los cimientos y las paredes del primer nivel y se utiliza lámina para el techo. En esta etapa generalmente se compra el block más barato que tiende a ser de menor calidad. Cuando la familia tiene acceso a más recursos se le quita el techo de lámina y se le construye un techo de concreto a lo que sigue la construcción de uno o más pisos adicionales. Al final de todo el proceso se tiene edificaciones de mampostería confinada de 4 a 5 niveles, altamente vulnerables a sismos (ver Figura 33) ya que éstas fueron construidas con materiales de mala calidad y sin ningún tipo de diseño y control.



Figura 33. Ejemplos de abusos del sistema de mampostería confinada.



Figura 35. Edificio de tribunales en San Marcos. Sufrió serios daños debido a problemas causados por los efectos de torsión y columna corta.

### 3.3 Concreto reforzado

En las áreas rurales es difícil encontrar edificaciones construidas exclusivamente de concreto reforzado, ya que normalmente se combinan con elementos estructurales de mampostería. El daño de las estructuras en donde el sistema estructural es principalmente el concreto reforzado fue ocasionado principalmente por una configuración estructural inadecuada. La Figura 34 muestra un caso de este tipo.



Figura 34. Estación municipal de bomberos de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos. La estructura estaba a punto de desplomarse debido a una configuración estructural deficiente.

Al igual que las construcciones de mampostería en muchos de los edificios de concreto reforzado se encontraron variaciones considerables en las rigideces perimetrales de las estructuras, que generaron efectos de torsión que dañaron especialmente los elementos estructurales situados en el perímetro del edificio. También se pudo observar la presencia de columnas cortas (o columnas cautivas) debido a la falta de separación de las tabicaciones de mampostería de relleno y a la no consideración de este efecto en el diseño estructural. En la mayoría de estos casos (ver Figura 35), las tabicaciones de relleno sufrieron serios daños o quedaron prácticamente destruidas debido a que pasaron a formar parte del sistema sismo-resistente.

### 3.4 Edificios Históricos

Los edificios históricos del occidente de Guatemala datan de principios del siglo XX o antes y tienen paredes construidas en mampostería no confinada. Estas paredes tienen un grosor de entre 60 y 90 cm (24-26 pulgadas) y están construidas en distintos materiales, entre ellos adobe, calicanto y ladrillo. Un hecho peculiar de estas estructuras es que han sido reconstruidas varias veces a lo largo de su historia debido a los daños sufridos por los distintos terremotos que azotaron esta región del país. A pesar de que las paredes de estas estructuras tienen un grosor considerable, carecen de refuerzo vertical y horizontal y no tienen diafragmas o elementos de refuerzo que impidan que los muros se separen y se volteen durante un terremoto. Por este motivo, era común ver grietas, algunas veces de un ancho considerable, que se pueden atribuir a la tendencia de las paredes a abrirse, especialmente en la fachada y en las paredes esquineras, al igual que lo que sucede con las casas construidas en adobe.

Dentro de este tipo de edificios podemos encontrar iglesias, palacios municipales, casas antiguas que en estos momentos están siendo utilizadas para albergar instituciones públicas, etc. La mayoría de estas estructuras, que están en un proceso de remodelación “estética”, sufrió daño, ya que dentro de estas remodelaciones se no contempla una readecuación estructural que mejore su desempeño ante sismos de gran magnitud. Una y otra vez se pudo observar cómo el tiempo y recursos invertidos en la remodelación de estas edificaciones con valor histórico, no sirvieron de nada debido a los múltiples daños sufridos por el sismo del 7 de noviembre de 2013. Muchas estructuras de éste tipo corren el riesgo de colapsar ante un sismo de mayor intensidad.



**Figura 36:** *Palacio Maya, Municipalidad de la ciudad de San Marcos. Recientemente remodelado, el edificio sufrió serios daños y tuvo que ser desalojado.*



**Figura 37.** *Daños registrados en la Catedral de Quetzaltenango.*



#### 4. Desempeño de la Infraestructura

Uno de los aspectos más preocupantes del daño observado después del terremoto, es la gran cantidad de edificios públicos que debieron ser evacuados debido al daño que sufrieron sus estructuras. Entre las instituciones que fueron afectadas están hospitales, centros de salud, estaciones de bombero, policía nacional, municipalidades, escuelas, edificios del organismo judicial, cárceles, sedes de las gobernaciones departamentales, por citar algunas. Las estructuras que albergan a estas instituciones son catalogadas como obras esenciales y deberían permanecer esencialmente operativas durante y después de un evento sísmico de gran magnitud, para poder atender a la población y coordinar los esfuerzos humanitarios de salvamento de los damnificados por la tragedia. Si bien es cierto que no fue el mismo caso de Haití, donde la mayoría de instituciones públicas colapsaron, casi todo sector público se vio afectado de alguna u otra manera por el terremoto. De acuerdo al

informe “Evaluación del Impacto del terremoto de 7 de

noviembre de 2,013 en Guatemala”, elaborado por la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia del gobierno de Guatemala, Segeplan, se reportaron 215 escuelas, 32 centros de salud (entre los que se incluyen hospitales) y 16 edificios de instituciones públicas con algún tipo de daño.

##### 4.1 Energía Eléctrica

El flujo de corriente eléctrica quedó interrumpido como resultado del evento sísmico del 7 de noviembre. Según los registros de ENERGUATE, que distribuye el servicio de energía eléctrica en la zona oeste, después del terremoto hubo 266.491 personas sin electricidad en este sector. (Editorial, 2012). Se desconocen las causas que llevaron al corte. La siguiente tabla presenta un resumen de los grandes daños sufridos por la infraestructura presentada.

##### 4.2 Telecomunicaciones

**Tabla 6. Resumen de Daños y Pérdidas por Sector: Consolidación Nacional**

Sector	Daño	Pérdidas	Total	Sector Público	Sector Privado	Necesidades Identificadas
Infraestructura	67	112	179	158	21	497
Transporte	35	106	141	123	18	167
Energía	3	-	3	1	2	-
Agua y saneamiento	13	1	14	14	—	116
Infraestructura institucional	16	5	21	20	1	214

*Fuente: Elaboración propia, teniendo en cuenta la información oficial proporcionada por CONRED y las distintas instituciones involucradas en la atención de crisis (SEGEPLAN, 2012).*

Se presentaron informes sobre algunas interrupciones del

**Tabla 7. Cantidad total de daños en la infraestructura energética de San Marcos**

Componentes	Medida	Costo promedio (en miles de Quetzales)	Cantidad	Importe estimado (en miles de Quetzales)
<b>Tensión intermedia</b>				
Postes, transeptos, aislantes	Unidades	5.5	3	16.5
Red Transformadores/controladores	Unidades	14.8	6	88.8
Línea de tensión media	km	15	2	30
<b>Baja tensión</b>				
medidores/fusibles	Unidades	0.46	30	13.8
Línea de baja tensión	km	8.5	2	17
<b>Etiquetas de advertencia</b>				
Brigada de emergencia	Días	1.2	39	46.8
Etiquetas de emergencia	Unidades	0.46	755	347.3
	<b>TOTAL</b>			<b>560.2</b>

*Fuente: MEM SEGEPLAN (2012).*

sistema telefónico, pero no mencionan sus causas, sino solamente los daños temporales (Editorial, 2012). Asimismo, las compañías Movistar y Claro solo registraron situaciones de saturación de llamadas después del terremoto, pero el servicio se normalizó unos minutos más tarde. Tigo no presentó daños en su infraestructura y el servicio permaneció estable durante todo el día. (Morales, S. 2012) No se registraron daños en las centrales telefónicas ni con el desplome de las torres de telefonía celular.

### 4.3 Sistemas de agua

Gran parte del sistema de agua del país es diseñado y construido por organizaciones no gubernamentales, ONGs (con poca supervisión o control) pero no se encuentran en buenas condiciones debido a la ausencia de pautas de diseño y a la carencia de presupuesto y disposiciones de mantenimiento.

Según datos recabados en una evaluación realizada por el Instituto de Fomento Municipal, una tubería equivalente a 80 km de longitud del sistema de agua potable sufrió daños. El daño consistió principalmente en tuberías rotas que ocasionaron interrupciones e irregularidades del servicio. En el departamento se produjeron daños en tuberías equivalentes a 44 km de longitud, que afectaron los pozos que abastecen agua a más de 20,000 personas. El abastecimiento irregular de agua provocó la racionalización del agua en los primeros días, pero después de las reparaciones se reestableció el servicio. El sistema de abastecimiento de agua también tuvo dificultades en las siguientes municipalidades: Esquipulas Palo Gordo, San Cristobal Cucho, La Reforma y El Quetzal. (España M. 2012). El departamento no registró daños en la planta de tratamiento de aguas, el sistema de recolección o los tanques de almacenamiento de agua y no se registraron daños en la calidad del agua.

### 4.4 Sistemas de transporte

#### 4.4.1 Carreteras

El principal daño sufrido por los sistemas de transporte fueron carretas obstruidas por deslizamientos de tierras. En algunas secciones de la ruta que une Quetzaltenango y San Marcos, se observaron fallos en pendientes y en el terraplén de la ruta (ver Figura 38). En San Juan Ostuncalco, en donde la minería de arena pómez para la fabricación de bloques de concreto es informal, los cortes realizados para el retiro de los materiales provocaron la desestabilización de las pendientes. Ver Figura. Lo mismo ocurrió en la ruta que va hacia San Cristóbal Cucho. El material que bloqueaba las rutas se retiró durante la noche y los caminos quedaron bloqueados durante no más de 48 horas. La Sección 2.4

presenta la tabla ## que muestra los deslizamientos de tierras que afectaron los caminos.



**Figura 38.** Daños a las pendientes de la carretera que une Quetzaltenango y San Marcos en la parte superior de San Juan Ostuncalco.

#### 4.4.2 Puentes

En la región afectada se registraron 17 puentes dañados. Ni los informes de la prensa ni el desarrollado por SEGEPLAN especifican qué puentes sufrieron daños o las causas principales de los daños. Se asume que los daños fueron mínimos porque de lo contrario la prensa habría informado sobre interrupciones en el tráfico.

#### 4.4.3 Aeropuertos

San Marcos cuenta con una pista de aterrizaje principalmente para pequeñas aeronaves o helicópteros. La pared perimetral de la pista se desplomó debido a una mala cimentación (ver Figura 39). El asfalto de la pista sufrió grietas transversales. El ancho de las grietas fue de aproximadamente 3 mm (ver Figura 40). El aeropuerto no suspendió sus actividades regulares.



**Figura 39.** Daños a la pared perimetral del Aeropuerto de San Marcos.



Figura 40. Grietas en la pista de aterrizaje del Aeropuerto de San Marcos.

#### 4.5 Hospitales

El país tiene un total de 44 hospitales y según la evaluación de PAHO después del terremoto solo uno de seis hospitales evaluados estaba en buenas condiciones físicas como para resistir las distintas amenazas naturales. En San Marcos y San Pedro, los principales daños al sector de la salud - entre ellos el derrumbe del Centro de Salud de San Pedro - fueron provocados principalmente por los efectos de columnas cortas (ver Figura 41). La clínica de la salud fue construida en los años sesenta hace diez años se le agregó un segundo piso sin ninguna evaluación o mejora estructural del primer piso (entrevista personal, 2013). Las actividades en el centro de salud quedaron suspendidas y el edificio fue demolido. El Hospital Nacional de San Marcos sufrió daños no estructurales en sus cielorrasos (ver Figura 42). Los servicios del hospital quedaron restablecidos el día después del evento.



Figura 31. Daños a los cielos suspendidos del Hospital Nacional de San Marcos.



Figura 32. Daños en columnas en el Centro de Salud de San Pedro.

#### 4.6 Estaciones de bomberos

La estación de bomberos de San Marcos sufrió grandes daños debido a los efectos de entrepisos blandos provocados por problemas en la configuración de planta baja. Como el edificio no se desplomó, las ambulancias o camiones no sufrieron daños. El servicio no sufrió interrupciones y el edificio está siendo restaurado y reconstruido (ver Figura 34).

#### 4.7 Estaciones de policía

La Estación de Policía 42 de San Marcos se vio seriamente afectada (ver Figura 43). Se hizo necesario evacuar y realojar a los prisioneros en la Prisión de Cantel de Quetzaltenango. Según un informe del Ministerio del Interior, durante la reconstrucción de la estación de policía se estableció una estación provisoria con base en las reservas militares. Las computadoras y los equipos de comunicaciones del edificio también sufrieron daños. (Vázquez B. R. 2012)

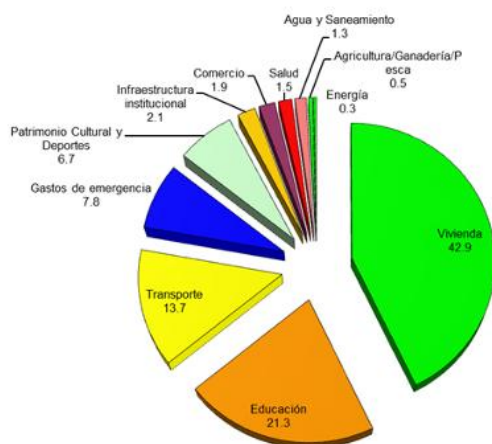


Figura 43. Daños en la estación de policía de San Marcos.



## 5. Impacto Social y Económico

Los daños y pérdidas económicas provocadas por el terremoto del 7 de noviembre de 2012 ascendieron a 1,027 millones de Quetzales (más de USD 128 millones), de los cuales Q766 millones representan la destrucción total o parcial de viviendas (ver Figura 35); Q423 millones daños a escuelas (Q215 millones) y costos asociados con su uso como refugio; y daños a la infraestructura vial (Q35 millones), con efectos económicos de la interrupción del transporte estimados en Q106 millones.



**Figura 44.** Daños y pérdidas por sector provocados por el terremoto (Fuente: SEGEPLAN)

El terremoto tuvo sus mayores efectos en ocho departamentos de la región oeste de Guatemala: Retalhuleu, Quetzaltenango, Sololá, Quiché, Totonicapán, San Marcos, Huehuetenango y Suchitepequez. Estos departamentos tienen la mayor densidad poblacional en áreas rurales (61%), y una gran concentración de indígenas. Esta composición, por otra parte, tiene mayores tasas de pobreza y desnutrición que otros lugares del país.

Debido a la vulnerabilidad de los grupos sociales afectados (poblaciones rurales, poblaciones que se dedican a la agricultura de subsistencia y hogares mantenidos por mujeres con niveles de ingresos muy bajos), el gobierno ha financiado gran parte de la rehabilitación y la reconstrucción necesarias (Gobierno de Guatemala, 2013).

Alrededor de un quinto de las familias que sufrieron daños en sus hogares son dirigidas por mujeres. Según los daños y pérdidas acaecidas en los 5,649 hogares dirigidos por mujeres en los departamentos de Sololá, Quetzaltenango y San Marcos, la Secretaría Presidencial de la Mujer (SEPREM) considera que las pérdidas económicas totales para estos fueron de Q49.78 millones. No solo sus hogares sufrieron daños o destrucción, sino que también perdieron sus ingresos debido a que sus hogares eran locales comerciales. En el mediano plazo, se requiere asistencia para las pequeñas

empresas dirigidas por mujeres en sus hogares que ahora se encuentran dañados.

Este sería también un buen momento para diseñar un programa de capacitación para obreros, albañiles y trabajadores de la construcción para así asegurar que las viviendas tengan una mayor resistencia sísmica ante futuros eventos.

En el mediano plazo se requiere la reactivación del respaldo a la producción en pequeños comercios de ramos generales, especialmente aquellos que se encuentran en la vivienda, con énfasis en los hogares dirigidos por mujeres. Las familias deberán soportar la pérdida de sus ingresos debido a la destrucción de sus hogares principalmente por daños en viviendas que funcionan como microempresas.

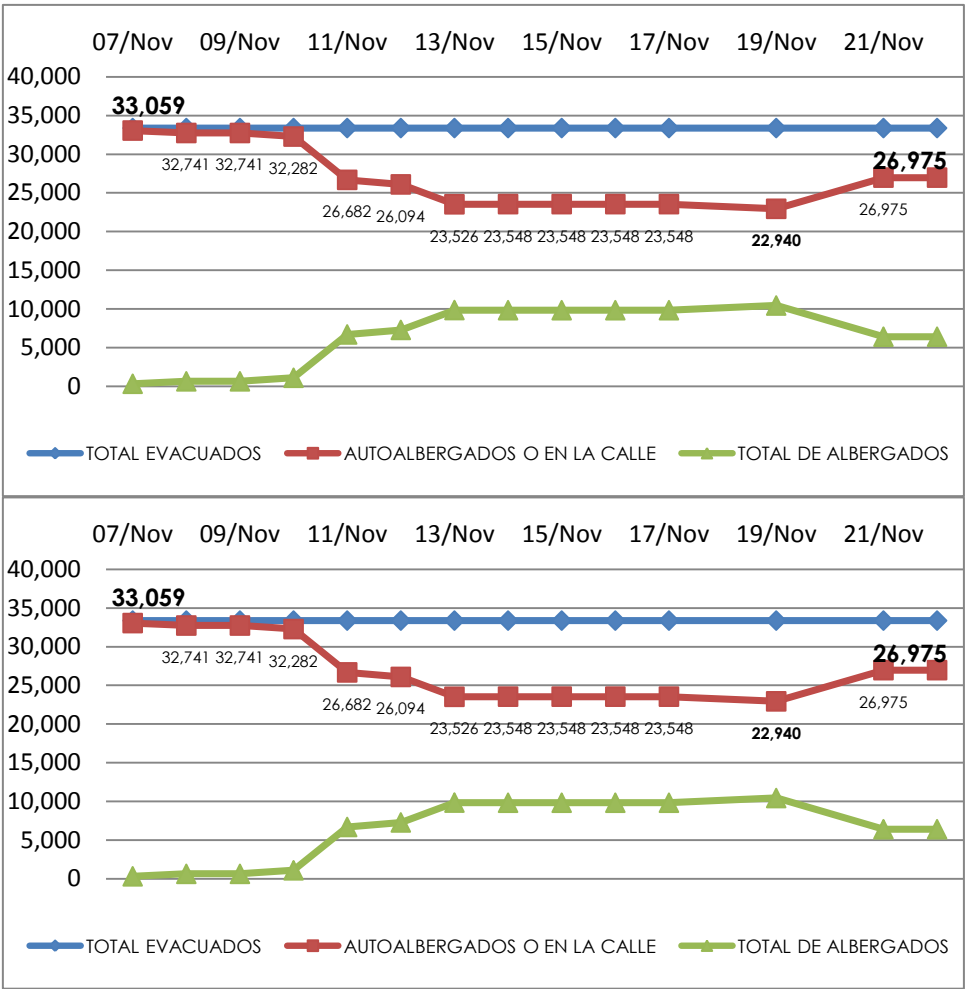
## 6. Respuesta de emergencia

Después del terremoto del 7 de noviembre, el Presidente declaró un estado de calamidad pública de inmediato (Decreto del Gobierno 3-2012) en los departamentos de Retalhuleu, Quetzaltenango, Sololá, Quiché, Totonicapán, San Marcos y Huehuetenango. Después, el Decreto del Gobierno 4-2012 (publicado el 13 de noviembre de 2012) incluyó al departamento de Suchitepequez y amplió los poderes del ejecutivo para llevar adelante las acciones de construcción, reconstrucción, rehabilitación y reparación de las unidades de viviendas en los departamentos afectados. El Congreso lo ratificó mediante el Decreto 33-2012 de la misma fecha.

Para poder evaluar el alcance de los daños, la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) entregó formularios de Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN) y trabajó conjuntamente con los centros de operaciones de emergencia (COE) a nivel departamental y municipal para obtener comida y productos domésticos para las personas afectadas. El gráfico que se presenta a continuación muestra la población evacuada, alojada y alojada por su propia cuenta (en hogares de familiares o amigos). Nótese que 33,379 personas quedaron sin hogar a raíz del desastre. Solamente se admitieron 15,299 personas en los refugios. Según información recibida a fines de noviembre de 2012, se gastaron Q79.8 millones en apoyo a la población amparada. La Figura 45 muestra una cronología de la colocación de personas en refugios después del terremoto.

San Marcos fue el departamento que tuvo la mayor cantidad de personas desplazadas (87,808) con un 9.92% de la población total. En Sololá, la cantidad de personas desplazadas fue de 18,003 (alrededor del 4.41% de la población total); y en Quetzaltenango cerca de 12,413 personas (cerca del 1.62% de la población total de la región) fueron desplazadas.





**Figura 45. Evolución de la población en refugios (Fuente: CONRED)**

## 7. Recuperación y Reconstrucción

Después del terremoto, el Presidente de Guatemala designó a la Vicepresidencia para dirigir el proceso de recuperación y reconstrucción y para brindar de forma inmediata alojamiento permanente a las familias más vulnerables. Para lograr este objetivo, la Vicepresidenta estableció una Comisión de Reconstrucción que se encargaría de coordinar las actividades de los diversos ministerios y socios internacionales. El Coordinador de la Reconstrucción trabajó de manera cercana con el Ministerio de Planificación SEGEPLAN y SE-CONRED (que, de acuerdo con los protocolos de recuperación de desastres, normalmente sería el encargado de dirigir el proceso).

El Gobierno de Guatemala (GoG) ha asumido el compromiso de completar la reconstrucción y ha distribuido responsabilidades entre los Ministerios, el Banco Interamericano de Desarrollo y las comunidades afectadas. El sitio Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia (SCEP) se centra en cerrar refugios y brindar otras 7,000 viviendas permanentes a las familias más vulnerables. Para poner en marcha este programa, hay tres agencias gubernamentales trabajando en conjunto para construir los hogares. Estas agencias son: el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de las Fuerzas Armadas, el Ministerio de Comunicaciones y el Fondo Nacional para la Paz (FONAPAZ).

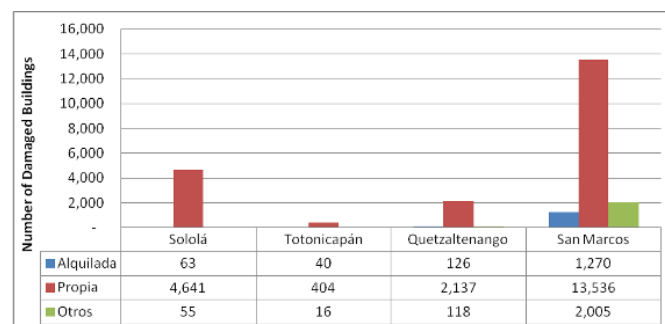
Los Ministerios de Salud y Educación están trabajando conjuntamente con el Banco Interamericano de Desarrollo para reconstruir escuelas e instituciones de salud y han reprogramado la financiación del BID para tales efectos. Otros ministerios, entre ellos el Ministerio de Patrimonio Cultural, son responsables por utilizar sus recursos limitados para realizar las reparaciones necesarias en su sector.

Alrededor de 7000 familias más vulnerables afectadas por el terremoto pueden acceder a la demolición y reemplazo de sus viviendas que han sufrido daños severos por viviendas pequeñas que cumplen con las normas de construcción en materia de sismos. Después del terremoto, el Gobierno de Guatemala quiso sentar un precedente construyendo nuevamente estructuras mejoradas y contrató a AGIES para que brindara el diseño de las viviendas que construiría. Para recibir una vivienda, las familias debían formular una solicitud oficial de asistencia y cumplir con ciertos requisitos socioeconómicos y legales. Los gobiernos locales y los consejos vecinales colaboran activamente para asistir a las familias a recabar la documentación exigida. A nivel nacional, se ha establecido un grupo de trabajo para resolver los problemas que surgen por documentación faltante de los propietarios, escuelas y centros de salud.

Los 19,000 residentes cuyos hogares sufrieron daños leves o moderados son responsables por reparar o reconstruir sus hogares y empresas. El gráfico que se presenta a continuación en la Figura 37 muestra que en la mayoría de los departamentos fuertemente dañados, alrededor de 18,000 viviendas y negocios deberán realizar algún tipo de reparación o reconstrucción sin la asistencia del Gobierno de Guatemala. Los gobernantes y alcaldes de las jurisdicciones afectadas deben asumir un papel fundamental en incentivar a los miembros de la comunidad a emplear buenos estándares de construcción y utilizar materiales de construcción de buena calidad. Por ejemplo, el Alcalde de San Marcos está intentando exigir el cumplimiento de la normativa existente en materia de construcción.

Por ley, el Gobierno de Guatemala no está autorizado a reparar o reconstruir hogares o edificios en áreas de alto riesgo, por lo que otras organizaciones han asumido la tarea de reconstrucción o reparación. Algunas organizaciones no gubernamentales (ONG) tales como Caritas, Oxfam y Techos por Mi País están ayudando a familias pobres que no tienen medios para mudar o reconstruir sus hogares. Para muchas familias, esto ha introducido un gran cambio de la construcción tradicional en adobe.

El programa de vivienda del Gobierno de Guatemala brinda asistencia solamente a los propietarios. Por este motivo, hay aproximadamente 1200 familias que no reúnen los requisitos para recibir asistencia de viviendas y su situación permanece sin resolverse. El gráfico que aparece en la Figura 46 muestra una comparación entre los propietarios y los arrendatarios en los departamentos más dañados, destacando que San Marcos tiene la mayor concentración de arrendatarios afectados por el terremoto. (Fuente: Análisis Boleta Evaluación Daños – SINIT).



**Figura 46.** Propietarios y Arrendatarios en las Áreas más Afectadas (Fuente: Análisis Boleta Evaluación Daños – SINIT)

Debido a la mala calidad de los materiales de construcción en las jurisdicciones afectadas, la mayor parte de los materiales de construcción adquiridos por el Gobierno de Guatemala para la reconstrucción de viviendas proviene de la ciudad de Guatemala o del exterior del país. La escasez local de

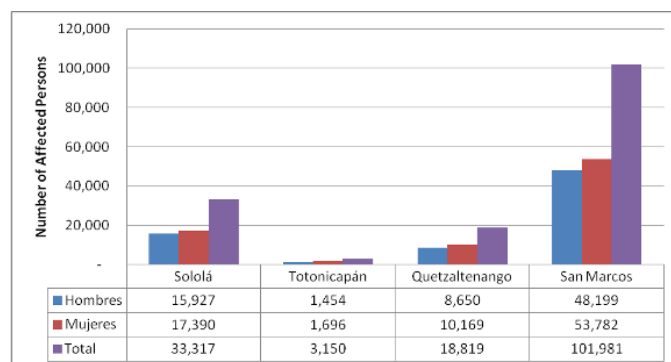
materiales de construcción de calidad dificulta la reconstrucción que deben realizar las familias y las empresas responsables de reparar y reconstruir sus propios activos para. Existe una exigencia de cumplimiento de los estándares de calidad para los materiales de construcción pero las compañías locales casi no garantizan que los materiales de construcción producidos o disponibles a nivel local sean de buena calidad. Como resultado, debido a las dificultades económicas que enfrentan, las familias prefieren materiales de construcción más baratos a la hora de reconstruir sus propias viviendas.

Tanto el Gobierno de Guatemala como las comunidades pueden enfrentar pronto la escasez de mano de obra calificada. El Gobierno de Guatemala procura construir un total de 1,000 viviendas por mes en una región que generalmente construye mucho menos por año. Cada nueva vivienda lleva alrededor de 14 días para su construcción, con dos albañiles y dos ayudantes. A medida que aumenta la tasa de construcción de viviendas, también se necesitarán trabajadores para descargar los materiales de construcción y entregarlos a los sitios. Mientras que es probable que las familias que se benefician del programa de reconstrucción de viviendas sean las que lleven los materiales y trabajen como ayudantes, no hay un proceso de certificación oficial para albañiles. Empresas como Cementos Progreso, productor privado de cemento, están intentando llenar este vacío ofreciendo capacitación a los trabajadores sobre los mejores estándares de construcción. Sin embargo, sigue siendo un reto para los propietarios de viviendas y de comercios el poder verificar que los trabajadores de la construcción tengan capacitación en los mejores estándares y normas de construcción.

Otro desafío de la reconstrucción que enfrenta el Gobierno de Guatemala constituye la reparación de los sistemas de infraestructura de aguas subterráneas y aguas de desecho que no pueden ser fácilmente analizados en busca de daños. Actualmente se desconoce el alcance de los daños y los costos de reparación. También se necesitarán estándares de construcción para sistemas antisísmicos.

Mientras que el proceso de recuperación y reconstrucción se ha centrado en la reconstrucción de hogares e infraestructura, existen herramientas para afrontar la recuperación de la vida y el sustento de las personas. Después de las evaluaciones iniciales coordinadas por SECONRED, SEGEPLAN realizó un sondeo socioeconómico en 7,000 hogares. El análisis realizado por SEGEPLAN en relación con estos sondeos muestra cuales son las comunidades que tienen más hogares y niños dirigidos por mujeres que son potencialmente más vulnerables. El diseño y el desarrollo de objetivos para las estrategias y los programas de recuperación, incluidas las campañas de información sobre

mejores normas y técnicas de construcción, pueden ser más eficientes tomando en cuenta los impactos socioeconómicos del desastre. Por ejemplo, de la información que se brinda en las Figuras 47 y 48, podría esperarse que haya más mujeres que hombres involucradas en las decisiones referentes a la reconstrucción en los departamentos más fuertemente afectados; y para las familias en Sololá y Quetzaltenango, en donde la cantidad de niños afectados supera la cantidad de adultos, podría esperarse que las personas hayan potenciado las dificultades económicas a la hora de tomar decisiones sobre gastar dinero en reparaciones de calidad o cubrir las necesidades inmediatas de recuperación.



**Figura 47. Personas afectadas por género (Fuente: Análisis Boleta Evaluación Daños –SINIT)**

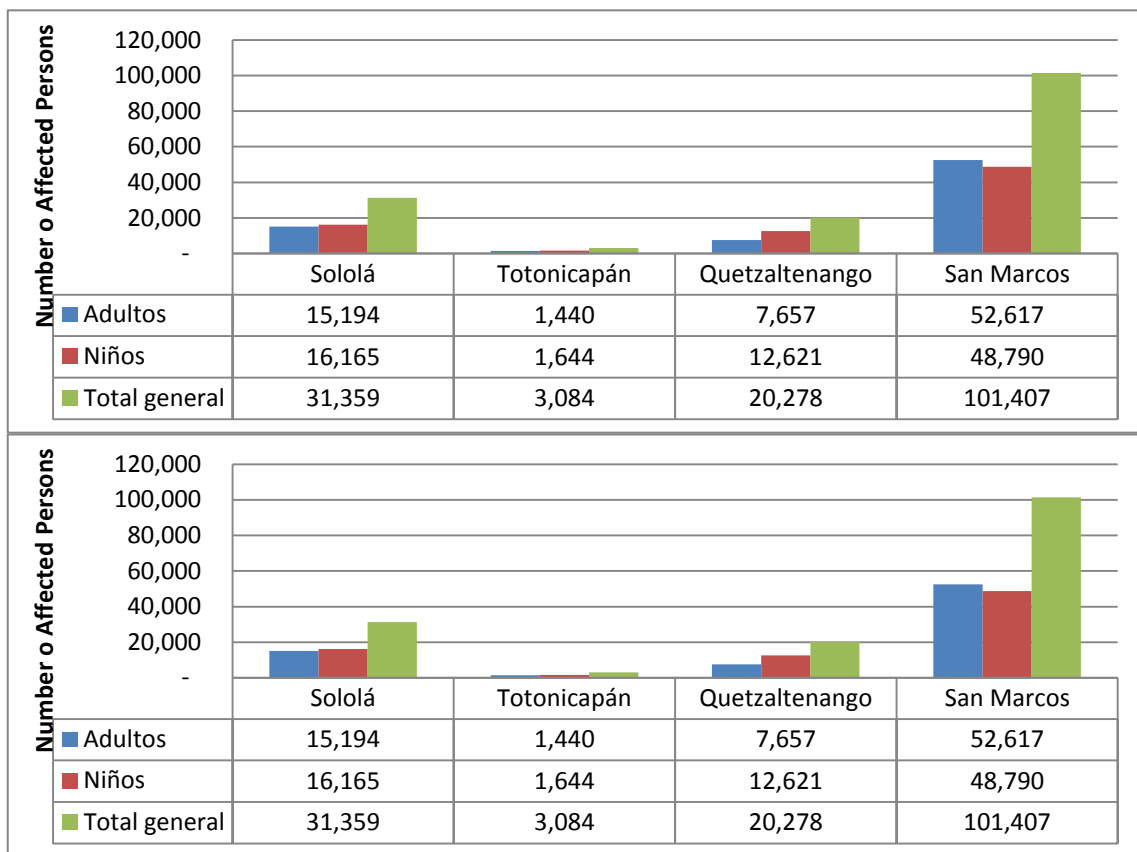


Figura 48. Personas afectadas por edad (Fuente: Análisis Boleta Evaluación Daños –SINIT)



## **8. Lecciones aprendidas**

*Nota: Esta sección fue preparada por miembros de AGIES y refleja sus perspectivas sobre las lecciones importantes que aprendió Guatemala a raíz del terremoto de noviembre de 2012. Los miembros del equipo que participaron en la elaboración de este informe comparten la misma opinión expresada por AGIES.*

El riesgo sísmico de Guatemala es alto. Los daños y pérdidas provocados por el último terremoto son un fuerte recordatorio de la vulnerabilidad de gran parte de la construcción. La reducción de pérdidas en futuros terremotos es prioritaria para el país. El terremoto del 7 de noviembre fue la experiencia más reciente que ha tenido el país con muertes ocasionadas por terremoto (afortunadamente muchas menos que en 1976<sup>1</sup>), colapso de antiguas viviendas de adobe, grandes daños a construcciones locales nuevas pero inadecuadas; y daños significativos a edificios públicos y privados tanto antiguos como nuevos. El terremoto de noviembre no reveló nada nuevo, todos fueron problemas recurrentes.

Los guatemaltecos son personas que viven conscientes de la posibilidad de un terremoto. Los sismos de gran intensidad y la evaluación posterior de los daños ocasionados constituyen un recordatorio para la población sobre el hecho de que aún hay muchos problemas por resolver. Las inquietudes se expresan con el fin de mejorar los estándares de construcción y reducir los daños provocados por un terremoto. Sin embargo, las opiniones tienden a desaparecer junto con las réplicas. La sensación de urgencia se desvanece tanto para las personas como para quienes toman las decisiones. Los funcionarios del CONRED y de Vicepresidencia afirman que este terremoto ha sido un llamamiento para que el país elabore una estrategia de gestión de riesgos de desastres, especialmente con respecto al uso y el cumplimiento de las normas y directrices en materia de construcción. El CONRED está desarrollando mecanismos para identificar los casos que violan las normas de construcción y sancionarlos como corresponde. Desde la Vicepresidencia - que supervisa las municipalidades - también se han desarrollado planes preliminares para su cumplimiento pero aún falta presupuesto para implementarlos. La falta de conocimiento y la carencia que tienen las municipalidades en términos de capacidad técnica y presupuestaria constituyen los principales obstáculos para hacer cumplir las normas y directrices en materia de construcción. Esta sección describe algunos de los problemas que se deben resolver en el futuro cercano con el fin de reducir la vulnerabilidad sísmica del país.

### **8.1 Construcción en Mampostería Confinada**

En Guatemala, los proyectos pequeños de construcción se realizan de tres maneras: 1) por profesionales universitarios (ingenieros, arquitectos y administradores); 2) por un sector "informal" capacitado de forma empírica, maestros de obra independientes; o 3) por gente no capacitada que construye sus propias estructuras.

#### **8.1.1 El sector empírico de la construcción**

Los ingenieros y arquitectos son contratados principalmente en las áreas metropolitanas por personas con buenos ingresos, o por desarrollos financiados con préstamos o en proyectos estatales. Afortunadamente, hoy en día hay más constructores capacitados que antes.

El sector intermedio, el de los Maestros de Obra, es el mejor objetivo para concentrar esfuerzos orientados a mejorar las prácticas de diseño y construcción. El terremoto del 7 de noviembre, así como el terremoto ocurrido en 2011, fueron una demostración clara de lo que AGIES venía planteando hacía un tiempo: estos Maestros de Obra requieren capacitación formal porque son los responsables de la mayor parte de las edificaciones menores en el país. Sin capacitación no será posible mejorar la mampostería confinada que invariablemente utilizan.

Los Maestros de Obra se han ido posicionando gradualmente en la actividad de construir viviendas en los centros urbanos pequeños a medianos así como en las áreas semi rurales. Los Maestros son especialistas reconocidos en sus poblaciones y normalmente ofrecen servicios de construcción de bajo costo.

En los últimos años se ha desarrollado un sector complementario, el de las fábricas artesanales de bloques de cemento, y hoy en día comprar bloques de cemento es tan fácil como comprar soda y los camiones que realizan su transporte parecen estar siempre a la vuelta de la esquina. Estas personas normalmente se ocupan de la construcción en ciudades pequeñas usando este tipo de materiales y las sumas de dinero que están siendo enviadas por inmigrantes que trabajan en los Estados Unidos y Canadá han aumentado esta práctica.

La mampostería confinada ha sido bien descrita en la bibliografía técnica internacional (p. ej. Meli et al 2011), por lo que no es necesario describirla en este texto. El sistema se ha utilizado en Guatemala desde los años 30, originalmente con ladrillos de arcilla en lugar de bloques de cemento y se limitaba a viviendas de personas con altos ingresos y edificios públicos. En Guatemala se desarrolló una variante local del sistema genérico: En 1960 el sistema se utilizaba por lo general para la construcción de viviendas a través de

préstamos en la Ciudad de Guatemala y se desarrollaron reglas de construcción empíricas que luego fueron aplicadas en ciudades más pequeñas. La mampostería confinada fue un éxito en el terremoto de 1976 dado que estas estructuras fueron las únicas que quedaron relativamente intactas en medio de ciudades destruidas con edificaciones construidas en adobe. El sistema fue ampliamente utilizado por el gobierno y las ONG durante la fase de reconstrucción.

Sin embargo, aunque a primera vista el sistema parece bueno, su aplicación ha tenido fallas: la mala calidad de los bloques, los materiales utilizados sin ensayos de laboratorio, la inadecuada configuración estructural y, en la última década, la inobservancia de límites estructurales de altura. Es muy común ver viviendas de tres pisos en donde el primer piso se utiliza para fines comerciales; en algunas ciudades también es común observar edificaciones de cuatro a cinco pisos; y las edificaciones de seis pisos parecen ser el límite práctico autoimpuesto. Las autoridades municipales no comprenden o no desean ver el riesgo inherente en este tipo de estructuras, quizás porque los permisos de construcción que se emiten representan una buena fuente de ingresos para la ciudad.

En las ciudades de San Marcos y San Pedro, la mayoría de las edificaciones construidas con mampostería confinada tienen entre dos y tres pisos. Ninguna de ellas se desplomó como consecuencia del último terremoto (intensidades locales de MMI VI-VII) pero algunas fueron demolidas posteriormente debido a que sufrieron serios daños.

### **8.1.2 Enfoque de la reducción de riesgos**

Los Maestros de Obra y los fabricantes artesanales de bloques son responsables por más de la mitad de las nuevas viviendas y edificios comerciales pequeños fuera de las áreas metropolitanas. Hay algunas pocas escuelas técnicas que capacitan a estos maestros de obra, algunas de ellas muy buenas, como los centros de capacitación de la red INTECAP, por mencionar alguno. Se pueden encontrar materiales adecuados para los bloques y es posible lograr su mejora mediante la selección de agregados y proporciones de mezcla adecuadas. Pero, nuevamente, la educación es la clave. Actualmente es difícil acceder a laboratorios de ensayos, son muy pocos y alejados. Por eso una solución podría ser implementar laboratorios de ensayo móviles.

Es necesario que el Estado exija requisitos mínimos para mejorar la calidad de la construcción. Se necesitan leyes nacionales específicas que obliguen a las municipalidades a adoptar requerimientos, preferentemente a partir de códigos modelo. Sin embargo, en Guatemala tales códigos modelo no existen y los códigos internacionales de ingeniería no tienen aplicación directa. Se requieren modelos específicos y aplicables, junto con guías para su uso. AGIES se encuentra

desarrollando dichas guías técnicas y códigos modelo que incluyen disposiciones simplificadas, especialmente orientadas a los Maestros de Obra y las municipalidades. Para este fin, el Banco Mundial ha brindado apoyo financiero. Al mismo tiempo, estamos en proceso de revisar las disposiciones que establece el código de mampostería para ingenieros y arquitectos. Esperamos que las escuelas técnicas para albañiles y maestros de obra también puedan aprovechar este material.

En Guatemala, hay cuatro escuelas de ingeniería y al menos dos centros de investigación aplicada que podrían ensayar formalmente la variante local de mampostería confinada y ampliar el alcance de los programas de estudios de ingeniería. Las capacidades y recursos disponibles no han sido utilizados en su máximo alcance.

### **8.2 Antiguas viviendas de adobe**

En Guatemala, las antiguas viviendas que se encuentran fuera de las áreas metropolitanas son de adobe no reforzado o "bajareque", que consiste en una pasta para hacer adobe sobre colocada entre dos retículas de madera. Ambos sistemas se agrietan con sismos de baja intensidad (MMI I - V) y tienden a desplomarse incluso con sismos de intensidad media (MMI VI - VII). Debido a la escasez de arcilla y de suelos cohesivos en el área sísmica del país, gran parte del adobe se fabrica con materiales volcánicos no cohesivos recientes en términos geológicos o limos - materiales deleznable para propósitos constructivos.

#### **8.2.1 Enfoque de la reducción de riesgos**

Cerca del 90% de las fatalidades generadas por terremotos en Guatemala en los últimos 40 años han sido provocadas por el derrumbe de las edificaciones construidas en adobe y bajareque.<sup>2</sup> Esto no quiere decir que no existan otros riesgos potencialmente letales, pero las antiguas viviendas de adobe en ciudades que aún no han sido azotadas por terremotos están allí, como a la espera de desplomarse. A la fecha no existen programas eficientes para reemplazar las estructuras en adobe. Después de un terremoto, el gobierno se siente políticamente obligado a reemplazar las viviendas, pero dichas políticas solo funcionan en las áreas rurales en donde la única opción de diseño ofrecida por la unidad encargada de los reemplazos puede acomodarse al terreno disponible; en áreas urbanizadas, en donde las necesidades son más complejas, las personas no llegan a solicitar el reemplazo de sus viviendas. Obviamente, una política de este tipo no es la solución para el resto de las viviendas de adobe que representan un riesgo.

En El Salvador, donde se enfrenta un problema similar con respecto a la calidad del adobe, la Agencia Japonesa para la Cooperación Internacional (JICA) realizó investigaciones y

pruebas en el adobe; las unidades mejoradas resultantes eran una combinación de materiales cohesivos y no cohesivos que debían ser importados de distintas áreas geográficas. AGIES considera que los blocks huecos de cemento adecuadamente fabricados constituyen una solución más práctica.

En algunas áreas rurales pueden observarse construcciones de mampostería confinada hecha con adobes de limo pero los elementos de concreto que rodean las poco resistentes unidades de material limoso no son compatibles y la solución no ha proliferado. Para las construcciones con adobe de limo, el enfoque de reducción de riesgos más adecuado desde el punto de vista técnico parece ser el remplazo pero este es, por supuesto, un problema socio-económico (y político).

### **8.3 Edificios pre-1970 de varios pisos de concreto reforzado no dúctil**

Este es un riesgo que ha pasado desapercibido especialmente en la ciudad de Guatemala, donde la mayoría de los edificios anteriores a 1970 enfrentan un alto riesgo de colapso. En América Central esto ha quedado demostrado sin lugar a dudas en los terremotos de Managua (1972) y San Salvador (1986). El terremoto de la Ciudad de México en 1985 agregó más historias de casos relacionados. Sin embargo, durante el terremoto de Guatemala en 1976 se desplomaron muy pocos edificios de varios pisos de este tipo. Algunos pocos edificios tuvieron que ser demolidos y muchos otros recibieron grandes reparaciones, pero estas instancias han caído en el olvido. Los edificios adquirieron una reputación de fortaleza comprobada y la mayoría de los propietarios no creen que son altamente vulnerables. El terremoto de 1976 fue un evento de alta frecuencia que solo alcanzó los 0.25 g en la Ciudad de Guatemala, a 30 km (18.6 millas) de distancia de la ruptura de la falla, lo cual provocó menos daños a los edificios de interés de varios pisos con frecuencias medias de vibración. Desafortunadamente, solo existen pruebas circunstanciales para comprobarlo y convencer a los escépticos del riesgo que implican. Un evento cortical intenso, cercano a la fuente en la Ciudad de Guatemala o en otra ciudad podría demostrarlo. La agencia de reducción de riesgos, CONRED, emitió directrices para evaluar todos los edificios públicos en 2011, pero hasta ahora muy pocos - sino ninguno - de los administradores de edificios públicos han realizado una evaluación integral de los riesgos de muchos edificios educativos y los centros de salud que presentan un estado quebradizo, a pesar de que el terremoto de noviembre provocó serios daños en un edificio administrativo y la demolición de un centro de salud.

#### **8.3.1 Enfoque de la reducción de riesgos**

Relativamente pocas edificaciones con deficiencias han sido reforzadas a la fecha. De las que sí fueron reforzadas, la

mayoría pertenecen a particulares o a universidades o empresas extranjeras. Una excepción en el sector público fue el reforzamiento de la principal terminal del aeropuerto internacional.

Actualmente, la sede local de PAHO<sup>3</sup> ha venido promoviendo evaluaciones estructurales de hospitales y centros de salud; se han aplicado métodos rápidos de inspección ocular para detectar los mayores riesgos. El Banco Mundial también viene promoviendo una rápida inspección de centros educativos a través de una iniciativa latinoamericana que se denomina: Programa CAPRA. Sin embargo, debido al hecho de que estas iniciativas no provienen de los sectores potencialmente afectados, su eficacia es cuestionable.

Queda claro que el paso inicial de reducción de riesgos debe aumentar la concientización pública con respecto al riesgo. Quienes toman las decisiones deben comprender no solamente el riesgo sino también el proceso de mejora: 1) inspección estructural rápida y de bajo costo; 2) evaluación estructural detallada intermedia y planificación del reforzamiento; y 3) financiamiento del reforzamiento.

Incluso cuando exista la determinación de realizar una inspección inicial rápida así como la siguiente etapa, no habrá suficientes ingenieros con el conocimiento necesario para llevar adelante la tarea. Nuevamente, la educación es un factor crítico para la reducción de riesgos. Actualmente hay dos<sup>4</sup> universidades que brindan capacitación en los enfoques de reforzamiento estructural para edificaciones existentes.

### **8.4 Edificaciones de baja y mediana altura**

El diseño y la construcción de estas edificaciones a menudo son realizados por ingenieros con poca o ninguna experiencia que tienden a sub-reforzar o sub-dimensionar sus proyectos, quizás porque los consideran "pequeños". A veces se asume que las estructuras más pequeñas no están sujetas a las mismas reglas que los proyectos mayores. Muchos de estos proyectos resultan híbridos de entre marcos flexibles inadecuadamente detallados y estructuras de mampostería confinada. De hecho, no siendo ni marcos ni cajones se vuelven muy vulnerables. Estos proyectos se observan típicamente en pequeñas ciudades y villas e incluyen escuelas, centros de salud, estaciones de bomberos, salones municipales y de usos públicos múltiples. Guatemala ya está repleta de estos "proyectos pequeños" que surgieron durante décadas de no exigir el cumplimiento de las disposiciones mínimas que establecen las normas. A todo esto se le agrega el componente de la corrupción, por lo que no deberíamos sorprendernos con la cantidad de problemas sísmicos que presentan estas edificaciones.



## 8.4.1 Enfoque de la reducción de riesgos

Lo anterior es otro problema derivado de carecer de un código uniforme. La solución para las nuevas construcciones es simple: Elegir un sistema estructural adecuado y aplicar el código. Para edificaciones de uno y dos pisos, especialmente fuera de las grandes ciudades, la solución adecuada comprende evitar el uso de detalles dúctiles complejos y confiar en la capacidad lateral de las paredes de mampostería confinada.

Para las edificaciones existentes, agregar paredes que tengan una ubicación y dimensiones adecuadas parece la solución más sencilla pero requiere una evaluación y técnicas de reforzamiento que nos llevan de nuevo a la falta de conocimiento entre ingenieros sobre cómo evaluar y reforzar, mencionada anteriormente. Tener más programas universitarios y programas de educación continua para ingenieros en práctica forman parte de la solución.

## 8.5 Riesgos de sitio

Los riesgos del sitio ya han sido tratados en otro informe y no serán discutidos en el presente, pero es importante destacar que la ignorancia del posible problema constituye un tema importante. Los deslizamientos de laderas y flujos de lodo tierras y de barro pueden ser fácilmente comprendidos por una población de escasa educación, pero la licuefacción del suelo, y la subsidencia son mucho más difíciles de explicar como riesgos. Los eventos que tienen baja probabilidad de ocurrencia son rara vez percibidos como un riesgo inmediato: "He vivido aquí toda mi vida y nunca ocurrió semejante cosa".

Un peligro de baja probabilidad que ha recibido muy poca consideración es el del tsunami. De hecho, solo ha ocurrido dos veces en 100 años en toda la costa de América Central. Los tsunamis en el área son ocasionados por sismos locales de subducción lo que deja muy poco tiempo de advertencia. Un factor que complica la situación es que muchas poblaciones costeras se encuentran entre el océano y un canal natural que impide la rápida evacuación. La educación y la construcción de plataformas altas y seguras son los mejores enfoques para la reducción del riesgo de este tipo de eventos.

## 8.6 Riesgos por fallas geológicas locales

Las fallas locales son una amenaza para muchos lugares en Guatemala, pero es especialmente importante en el valle de la Ciudad de Guatemala. El valle es una fosa tectónica sísmicamente activa de 15 km (9.5 millas) de ancho y alrededor de 400 km<sup>2</sup> (150 mi<sup>2</sup>) de superficie. Alrededor de 2.5 millones de personas viven dentro de la fosa tectónica y

sobre ambos flancos. Cada flanco es una zona de fallas geológicas, una tercera zona de falla parece estar en parte del centro de la fosa. Cuando ocurrió el terremoto de 1976 en Guatemala, un desplazamiento normal secundario del flanco oeste provocó cientos de rajaduras del suelo en un segmento del valle en que hay un profundo relleno de cenizas volcánicas; muchas de las grietas ocasionaron daños a edificaciones a medida que se fueron propagando. Si esto ocurriera hoy en el flanco oriental del lado opuesto de la fosa, los daños serían intensos en una sección densamente poblada del valle.

Sin embargo, no ha habido una evaluación de la actividad potencial de las diversas zonas de la falla. Las normas no requieren actualmente que se restrinja la construcción por proximidad a fallas potencialmente activas. Hasta no tener bases técnicas sólidas no se podría arriesgar el impacto socio-económico de la especulación irresponsable con los bienes raíces, favoreciendo algunos sitios y desfavoreciendo otros con base en presunciones. Las normas sí ofrecen un procedimiento para tomar en cuenta la cercanía de una zona de falla (el mismo método que UBC 97), pero su aplicación depende del equipo de diseño y no se requiere legalmente. Existen metodologías disponibles para evaluar el riesgo, pero no se dispone de información geológica cuantitativa.

## 8.6.1 Enfoque de la reducción de riesgos

Se debería realizar una investigación geológica a largo plazo de la fosa tectónica de la Ciudad de Guatemala. Aún no se tiene una comprensión total de la sismicidad de la fosa tectónica. El conocimiento que tenemos hoy día proviene de investigaciones básicas realizadas décadas atrás. Por ello, se deberían retomar las investigaciones. Diversos equipos académicos han venido estudiando la tectónica de Guatemala en los últimos años (por ejemplo, Caen et al, 2006) y es posible ampliar el alcance de la investigación con los mismos equipos o con nuevos equipos. La Sociedad Geológica de Guatemala (SGG) podría delinear un programa.

## 8.7 Otros aspectos de vulnerabilidad

Entre otros asuntos no cubiertos en este informe, se incluyen:

**Construcción de infraestructura:** Su alcance es demasiado amplio como para discutirlo en este artículo. **Edificios Altos:** Están cubiertos por el código actual; normalmente su diseño y construcción han sido realizadas por firmas de consultoría y contratistas con buena experiencia. Pueden presentar menos riesgos a la vida pero representan algunos riesgos económicos porque su operación cotidiana puede verse interrumpida por los daños colaterales. Hasta hace poco hubo un enfoque no uniforme para limitar los daños colaterales al contenido; muchos pozos de elevadores son de mampostería confinada, que llevarían más tiempo de

reparación después de sufrir daños. **Edificios industriales:** Algunas industrias, especialmente las de cemento y minería, tienen extremado cuidado con la vulnerabilidad sísmica de sus activos; otros se sienten protegidos por estructuras livianas y le prestan menos atención a los sismos. Algunos de ellos incluso confían en su suerte y en sus pólizas de seguros y el próximo gran terremoto en un área industrial podría tomar por sorpresa a muchos de ellos. **Industria de seguros:** Las tasas de seguros se establecen de forma independiente de las medidas de calidad estructural y de prevención sísmica. Los aseguradores intentan mantener su competitividad y confían en sus reaseguros. Por norma, los aseguradores deben contratar un reaseguro mínimo en base al 13% de pérdidas sísmicas esperadas, sin perjuicio de qué tan cuidadosos sean (o no) a la hora de asumir riesgos sísmicos. Los activos públicos normalmente carecen de seguros.

---

<sup>1</sup> En las circunstancias actuales es poco probable que se repita la cifra registrada en 1976 de 23,000 muertes, pero un terremoto cortical en ciertas condiciones podría ocasionar miles de muertes.

<sup>2</sup> Al menos 22,000 de 23,000 fatalidades en febrero de 1976 fueron en construcciones de adobe; en el terremoto ocurrido en noviembre de 2012 se registraron 40 fatalidades en construcciones de adobe, de un total de 50 fatalidades, el resto fueron causadas por deslizamientos de tierras.

<sup>3</sup> PAHO: Organización Panamericana de la Salud

<sup>4</sup> Universidad Mariano Gálvez en la Ciudad de Guatemala y Universidad de CUNOC/San Carlos en Quetzaltenango

## **Parte II: Recomendaciones para Mejorar las Prácticas de Mitigación de Riesgos Sísmicos**

En base a las vulnerabilidades observadas durante el terremoto del 7 de noviembre de 2012 en Guatemala y la evaluación del estado actual de la práctica en ingeniería estructural y sísmica, se han presentado algunas recomendaciones para mejorar las prácticas de mitigación de riesgos sísmicos en el país.

Las recomendaciones propuestas se clasifican en cuatro categorías: A) educación, desarrollo de capacidades y capacitación; B) fuerte programa de monitoreo de movimientos; C) reducción de riesgos de edificaciones e infraestructura existentes; y D) mejora de las prácticas de diseño y construcción. Para cada una de estas categorías se asignan los grupos de interés objetivo, los métodos de implementación, los resultados, las estimaciones de costes y la duración esperada.

### **A. Educación, Desarrollo de Capacidades y Capacitación**

#### **1. Aumentar la cantidad de especialistas locales en las áreas de geología, sismología e ingeniería sísmica**

a. Grupos de interés:

1. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).
2. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres Naturales (CONRED).
3. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN).
4. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES).
5. Universidades en Guatemala.

b. Métodos de implementación:

1. Requerir que los profesores e instructores de las universidades de Guatemala tengan títulos de especialización, preferentemente obtenidos en universidades extranjeras.
2. Brindar y promover becas para profesores y profesionales jóvenes para obtener títulos de especialización en el extranjero. Es importante brindar incentivos a estos especialistas para su pronto regreso e integración en la actividad económica y académica.
3. Otorgar apoyo a profesores para que realicen investigaciones en colaboración con otras instituciones.

c. Resultados:

1. Se logrará la transferencia de tecnologías, lo que provocará un entorno construido e infraestructura de modernos y seguros.
2. Se le brindará una mejor educación a futuros profesionales y se aumentará la capacidad de investigación en universidades.
3. Los profesores jóvenes con títulos profesionales obtenidos en el exterior jugarán un papel importante en la actualización de los programas de ingeniería civil que se enseñan en las universidades guatemaltecas.

d. Costo aproximado: \$1 millón

e. Duración: 5-7 años

#### **2. Pasantías para profesores guatemaltecos en instituciones de investigación en Norteamérica/ Europa/ Asia:**

a. Grupos de interés:

1. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).
2. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres Naturales (CONRED).
3. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN).
4. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES).
5. Universidades en Guatemala.

b. Métodos de implementación:

1. Patrocinar a los profesores jóvenes de Guatemala para que realicen investigaciones colaborativas en el exterior.
2. Mejorar las relaciones con las universidades y los instituciones de investigación extranjeros. Los desafíos de investigar y mitigar el riesgo sísmico en Guatemala son comunes a los de otros países alrededor del mundo. Esta es una oportunidad de asociarse con instituciones extranjeras y trabajar juntos en proyectos de investigación.
3. Establecer acuerdos de colaboración con otras organizaciones de ingeniería sísmica, tales como:
  - i. Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica  
<http://www.iaee.or.jp/worldlist.html>
  - ii. Instituto de Investigación de Ingeniería Sísmica



<https://www.eeri.org/member-center/get-involved/become-a-member/>

- c. Resultados:
  - 1. Se pueden establecer relaciones a largo plazo con institutos de investigación y colegas de todo el mundo.
  - 2. Esto ayudará a mantener a los profesores actualizados en materia de investigación y práctica avanzada en ingeniería sísmica.
- d. Costo aproximado: \$400,000
- e. Duración: 5-7 años

### **3. Implementación de un programa de calificación para Ingenieros Profesionales**

- a. Grupos de interés:
  - 1. Colegio de Ingenieros de Guatemala (CIG).
  - 2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES).
  - 3. Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (ICGG).
  - 4. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR).
- b. Métodos de implementación:

Un proceso de cuatro etapas para llegar a ser un Ingeniero Profesional, con especialización en el diseño de ingeniería Sísmica, según se detalla a continuación:

  - 1. Obtener un título de un Programa de Ingeniería Civil reconocido.
  - 2. Registrarse como Ingeniero en Capacitación
  - 3. Realizar una pasantía de tres años, trabajando bajo la supervisión directa de un Ingeniero Profesional experimentado.
  - 4. Aprobar un examen técnico y ético.
- c. Resultados:
  - 1. Ingenieros expertos mejor calificados que brinden servicios de ingeniería de alta calidad en las áreas de consultoría, diseño, construcción, reforzamiento, supervisión y mantenimiento de infraestructuras construidas.
  - 2. A través del proceso de volverse un Ingeniero Profesional, los ingenieros estarán mejor calificados para asumir sus responsabilidades en la práctica de diseño y construcción.
- d. Costo aproximado: \$400,000
- e. Duración: 3-4 años

### **4. Programas de educación continuos (seminarios, webinarios)**

- a. Grupos de interés:
  - 1. Colegio de Ingenieros de Guatemala (CIG).
  - 2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES).
  - 3. Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (ICGG).
- b. Métodos de implementación:
  - 1. Promover el acceso a seminarios web/videoconferencias internacionales.
  - 2. Establecer un programa de educación continua para Ingenieros Profesionales a través de AGIES.
  - 3. Documentación de daños y riesgos sísmicos a través de publicaciones en revistas y conferencias.
- c. Resultados:
  - 1. Una comunidad de ingeniería actualizada en las nuevas prácticas de diseño y construcción.
  - 2. La interacción entre ingenieros ayudará a construir una comunidad más fuerte y a prestar sus servicios en los futuros proyectos de AGIES.
- d. Costo aproximado: \$150,000
- e. Duración: continúa

### **5. Desarrollo de capacidades y capacitación de contratistas y trabajadores de la construcción:**

- a. Calificación de contratistas y trabajadores de la construcción
- b. Alcance al público general y autoridades locales
- c. Comité multisectorial para la gestión del riesgo sísmico.

## **B. Programa de Monitoreo de Movimientos Fuertes**

- 1. Instalación de una nueva Red de Movimientos Fuertes y desarrollo de un programa para la instrumentación de edificios e infraestructuras.**
  - a. Grupos de interés:
    1. Municipalidades y agencias del gobierno
    2. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).
    3. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres Naturales (CONRED).
    4. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN).
    5. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES).
    6. Universidades de Guatemala
    7. Ingenieros consultores.
  - b. Métodos de implementación:
    1. Colaboración entre organizaciones privadas e instituciones estatales para implementar y mantener instrumentos y equipos de monitoreo en ubicaciones clave de todo el país.
    2. Participar de programas de investigación conjuntos con instituciones de investigación extranjeras.
  - c. Resultados:
    1. Mejora de la capacidad de respuesta de emergencia de las agencias gubernamentales mediante el desarrollo en tiempo real de mapas de temblores de tierra y la notificación de eventos sísmicos y de su intensidad.
    2. Verificación de la exactitud de las ecuaciones de predicción de movimientos de tierra que se utilizan para realizar evaluaciones de riesgos sísmicos y desarrollo de disposiciones de diseño sísmico.
    3. Información estratégica para realizar evaluaciones luego de sucedido un terremoto en los edificios y la infraestructura existentes.
    4. Mejoras de las disposiciones de diseño sísmico en base al rendimiento de las estructuras instrumentadas durante terremotos severos.
  - d. Costo aproximado: \$500,000-\$800,000
  - e. Duración: 5-7 años

## **C. Reducción de Riesgos en Edificios e Infraestructura Existentes**

- 1. Desarrollo de protocolos de evaluación de riesgos para edificios e infraestructura esencial.**
  - a. Grupos de interés:
    1. Municipalidades y agencias del gobierno
    2. Propietarios de edificaciones, usuarios y arrendatarios de edificaciones.
    3. Industria privada
    4. Ingenieros consultores y contratistas de la construcción
    5. Organizaciones de respuesta frente a emergencias (CONRED, Cruz Roja, etc.)
  - b. Métodos de implementación:
    1. Desarrollo de inventarios de edificios e infraestructura existentes utilizando tecnología GIS.
    2. Desarrollo de índices de vulnerabilidad, tales como curvas de fragilidad, para cada tipo de edificación e infraestructura comunes en la práctica de construcción guatemalteca.
    3. Generación de escenarios de daño ocasionados por terremotos utilizando software especializado que incorpore la información arrojada por los puntos 1 y 2 que anteceden.
    4. Estudios para determinar las maneras de minimizar el riesgo sísmico de edificaciones e infraestructura existentes, tales como técnicas de readaptación sísmica eficientes.
    5. Evaluación del impacto de las medidas de reducción de riesgos sísmicos en el riesgo sísmico regional general (repetir el paso 3 con una base de datos de edificaciones e infraestructura mejorados)
    6. Desarrollo de un plan nacional para apoyar la implementación de las estrategias de reducción de riesgos sísmicos propuestas y desarrolladas dentro de este proyecto.
  - c. Resultados:
    1. Se logrará la transferencia de tecnologías, lo que provocará un ambiente e infraestructura de construcción más segura y resiliente.

2. Educación de ingenieros y contratistas en materia de técnicas de readaptación sísmica.
  3. Educación de ingenieros y contratistas sobre cómo determinar la vulnerabilidad de las edificaciones existentes.
  4. Reducción considerable de riesgos en edificaciones e infraestructuras peligrosas.
  5. Información al público sobre la seguridad y el rendimiento esperado de los tipos de edificaciones e infraestructura que se consideran altamente vulnerables a los temblores sísmicos.
- d. Costo aproximado: \$ 3-5 millones
- e. Duración: 4-5 años

## **D. Mejora de las Prácticas de Diseño y Construcción**

1. **Desarrollo de estándares y pautas de mejores prácticas para el diseño y construcción de edificaciones e instalación de elementos no estructurales, operativos y funcionales; estrategias para aprobar los sistemas estructurales que no se encuentran descritos en las recomendaciones que brindan los códigos.**
  - a. Grupos de interés:
    1. Municipalidades y agencias del gobierno (p. ej. COGUANOR)
    2. Cámara Guatemalteca de la Construcción (CGC)
    3. Ingenieros consultores y contratistas de la construcción
    4. Universidades e institutos técnicos como INTECAP
    5. Asociaciones de ingeniería (p. ej. AGIES)
  - b. Métodos de implementación:
    1. Colaborar con instituciones y expertos extranjeros en el área de desarrollo de guías de diseño
    2. Trabajar con asociaciones locales, expertos locales y universidades para implementar las guías de diseño
    3. Desarrollar programas de capacitación para contratistas sobre cómo implementar adecuadamente las guías de diseño.
    4. Trabajar junto con municipalidades y otras agencias estatales en el desarrollo y la implementación de guías de diseño.
    5. Desarrollar una estrategia para sostener la revisión de las guías de diseño en el largo plazo.
    6. Implantar un programa de investigación para comprender las características de la construcción en mampostería guatemalteca.
    7. Realizar pruebas de movimiento en los sistemas de construcción en mampostería guatemaltecos.
    8. Activar la evaluación estructural al modificar edificaciones o realizar mejoras arquitectónicas.
  - c. Resultados:
    1. Documentos que incluyanguías.
    2. Mejora de prácticas de construcción y calidad de diseño y obras de construcción.
    3. Exigencia de la construcción de calidad para edificios públicos.
    4. Implementación de procesos de revisión entre pares del diseño de instalaciones esenciales.
    5. Exigencia de bloques de concreto de calidad a través de la prueba y la certificación en sitio.
    6. Información no técnica que se puede utilizar para la implementación de programas de concientización pública.
  - d. Costo aproximado: \$800,000-\$1 millón
  - e. Duración: 2-3 años

**REFERENCIAS**

1. SEGEPLAN (2012) "Evaluación del Impacto del Terremoto del 7 de Noviembre de 2012 en Guatemala. Para una Reconstrucción Segura. Gobierno de Guatemala, Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia – SEGEPLAN.
2. Instituto Geográfico Nacional. Mapa Geológico República de Guatemala, Escala 1:500,000. Guatemala, 1970. Primera Edición.
3. Instituto Geográfico Nacional. Mapa Geológico Hoja Quetzaltenango. Escala 1:250,000. Guatemala 1970.
4. De León Susana. "El Recuento de los daños". (hereinafter referred to as "THE BUILDING") Domingo 11 de noviembre de 2012 Año 17. No. 5723 pp. 16-17. Guatemala.



**APÉNDICE 1. Lista de Contribuyentes**

No.	Nombre	Institución	Cargo
1	Raúl Rolando Enríquez	Ministerio de Finanzas Públicas	Director de Crédito Público
2	Mynor Argueta	Ministerio de Finanzas Públicas	Director departamento de Negociación de la deuda
3	Juan Manuel de La Cruz	Ministerio de Finanzas Públicas	Unidad de cambio climático
4	Jorge Guillermo Escobar	MINFIN	Dirección Técnica del Presupuesto
5	Ekaterina Parrilla	SEGEPLAN	Secretaria General
6	Luis Catalán	SEGEPLAN	Subsecretario de Inversión Pública
7	Hugo Gómez	SEGEPLAN	Subsecretario de Planificación Regional
8	Luis Ovando	SEGEPLAN	Director de Gestión de Riesgo
9	Rhina de León	SEGEPLAN	Enlace de Cooperación Internacional
10	Henry Daniel Castaneda	SEGEPLAN	
11	Marcia Roxana Sobenes Garcia	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales	Ministra del MARN
12	Alejandro Maldonado L.	SE-CONRED	Secretario Ejecutivo
13	Angela Leal	SE-CONRED	Directora de Gestión de Riesgo
14	Tatiana Acuña	SE-CONRED	Asesora Técnica
15	Lisbeth Padilla	CONRED	
16	Jorge Mario Hurtarte	Vicepresidencia de la Republica	Subsecretario Ejecutivo Coordinador del proceso de reconstrucción
17	Juan Carlos Monzón	Vice-Presidencia de la República	Secretario Privado de la Vice-Presidencia
18	Eddy Sánchez	INSIVUMEH	Director Ejecutivo
19	Roberto Catalán	INSIVUMEH	Asesor Financiamiento Externo
20	Victor M. Jacinto	INSIVUMEH	Coordinador de Planificación
21	Abraham Velásquez	MINEDUC	Ministerio de Educación
22	Oscar Mendoza	MINEDUC	Especialista en Gestión de Riesgos
23	Rolando Torres	U. Mariano Gálvez	Instituto de Investigaciones de Ingeniería
24	José Carlos Gil	U. Mariano Gálvez/ AGIES	Instituto de Investigaciones de Ingeniería
25	Jorge Recinos	Universidad Rafael Landívar	
26	Antonio Jimenez	UVG	
26	Emilio Beltranena	ICCG y AGIES	
27	P. Estuardo Herrera	ICCG	
28	Luis Alvarez Valencia	ICCG	
29	Xiomara Sapon Roldan	ICCG	Gerente de Capacitación y Divulgación
30	Emilio Beltranena	ICCG/AGIES	
31	Ana Campos Garcia	Banco Mundial	Líder del Equipo del Proyecto
32	Osmar Velasco	Banco Mundial	Consultor
33	Victoria Salinas	Banco Mundial	GFDRR
34	Jeannette Fernandez	Banco Mundial	Especialista Senior de Gestión de Riesgo de Desastres
35	Yaprak Servi	Banco Mundial	Consultor
36	Carlos Estuardo Ventura	EERI/UBC	Profesor, Departamento de Ingeniería Civil de la Uni. Of British Columbia
37	Manuel Archila	EERI/UBC	Candidato al título PhD en Ingeniería Estructural y Sísmica
38	Maggie Ortiz	EERI	Asociada del Programa
39	Sahar Safaie	EERI	Ingeniero Estructural
40	Jeff Dragovich	EERI	
41	Marcial Blondet	EERI	Profesor Principal, Pontifica Universidad Católica del Perú
42	Ronaldo Luna	EERI	Profesor y asistente de la cátedra de ingeniería civil de

			la University of Science and Technology de Missouri.
43	Adhemar Argueta	FOPAVI (Fondo para la Vivienda)	
44	Hermam Padilla	FHA	
45	Juan Pablo Ligorria	AGIES/CONRED	Ingeniero Geofísico
46	Hector Monzon	AGIES	Coordinador
47	Omar G. Flores	AGIES	Ingeniero Geotécnico
48	Oscar Sequeira Garcia	AGIES	
49	Mario Yon	AGIES	Ingeniero Civil
50	Roberto Chang	AGIES	
51	Enrique Molina	U. Mariano Gálvez	
52	Ruben Lopez	Cempro	
53	Gustavo Adolfo Polanco	Cempro	Monitor de Vivienda
54	Karen Wantland Arce	OPS/OMS Guatemala	Consultora Desastres y Emergencias
55	Carlos Bran	Colegio de Ingenieros de Guatemala	
56	Ricardo Obiols	CGC	Cámara Construcción
57	Fernando Cajas	CUNOC Quetzaltenango	
58	Fernando Callejas	MultiProyectos	Director de Planeamiento



**GFDRR**  
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery



Vista de la ciudad de San Marcos desde el Hotel MiralValle