



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE REPARACIÓN EN EDIFICACIONES DAÑADAS
POR EL SISMO OCURRIDO EN SAN MARCOS, EL 7 DE NOVIEMBRE DE 2012**

Helbert Wilfredo Guzmán Martínez

Asesorado por el Ing. Samuel Herbert Tánchez Barrera

Guatemala, marzo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE REPARACIÓN EN EDIFICACIONES DAÑADAS
POR EL SISMO OCURRIDO EN SAN MARCOS, EL 7 DE NOVIEMBRE DE 2012**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HELBERT WILFREDO GUZMÁN MARTÍNEZ

ASESORADO POR EL ING. SAMUEL HERBERT TÁNCHEZ BARRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Walter Rolando Salazar González
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE REPARACIÓN EN EDIFICACIONES DAÑADAS POR EL SISMO OCURRIDO EN SAN MARCOS, EL 7 DE NOVIEMBRE DE 2012

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 11 de marzo de 2014.

Helbert Wilfredo Guzmán Martínez

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por todas sus bendiciones, su amor y por guiar mi camino en los momentos más difíciles.
- Mis padres** Juan Guzmán y Mariela Martínez de Guzmán, como un reconocimiento a sus esfuerzos.
- Mis hermanos** Sucely Raquel y Marlon Danilo Guzmán Martínez.
- Mis abuelos** Fabiana Franco, Eulogio Guzmán y Milagro Sipaque (q.e.p.d.).
- Mis tíos** Emma Martínez, Efraín Xec, Isidra y Eduardo Guzmán, Nicolás y Estela López (q.e.p.d.).
- Mis primos** Londy, Iris, Wilber, Kevin y Andy Xec, Sonia y Mayra López, Lisdian, Oni y Brenda Guzmán.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme formarme como profesional y por cumplir con uno de mis sueños.
Facultad de Ingeniería	Por ser parte de mi formación profesional.
Mis amigos de la Facultad	Por brindarme su amistad durante los momentos más difíciles y por compartir en esos momentos felices.
Sección Socio-Económica, de Bienestar Estudiantil, de la Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme el apoyo durante mi formación y por brindarme la estadía en la Casa del Estudiante, que fue como mi segundo hogar.
Mi asesor de trabajo de graduación Ing. Samuel Herbert Tánchez Barrera	Por su valiosa asesoría y su paciencia.
Licda. Astrea Chavarría	Por brindarme su apoyo y por creer siempre en mis capacidades.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. RESEÑA HISTÓRICA	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Sismo.....	1
1.3. Característica de los sismos	2
1.3.1. Magnitud del sismo	2
1.3.2. Intensidad del sismo	3
1.4. Ubicación de Guatemala	3
1.5. Terremoto de 1976	4
1.6. Monografía del departamento de San Marcos.....	5
1.6.1. Ubicación del departamento de San Marcos	5
1.6.2. Actividad económica.....	6
1.6.3. Tenencia de la tierra	7
1.6.4. Educaión.....	8
1.6.5. Salubridad.....	8
1.7. Daños del sismo N7(7 de noviembre de 2012).....	9
1.7.1. Magnitud del daño	10
1.7.2. Damnificados	11

2.	FALLAS ESTRUCTURALES DESPUÉS DE UN SISMO	13
2.1.	Falla estructural.....	13
2.2.	Tipos de fallas en edificaciones.....	13
2.2.1.	Estructuras de adobe	14
2.2.1.1.	Generalidades	14
2.2.1.2.	Elementos	14
2.2.1.2.1.	Muros	15
2.2.1.2.2.	Columnas	15
2.2.1.2.3.	Vigas	15
2.2.1.2.4.	Dinteles	16
2.2.1.2.5.	Cimentación	16
2.2.1.3.	Elementos principales y secundarios ...	16
2.2.1.4.	Sistemas estructurales	16
2.2.1.4.1.	Estructura tipo cajón.....	17
2.2.1.4.2.	Estructura en “C”	17
2.2.1.4.1.	Tipos de techos.....	17
2.2.1.5.	Tipos de fallas	17
2.2.2.	Estructuras de mampostería	20
2.2.2.1.	Generalidades	20
2.2.2.2.	Elementos	20
2.2.2.2.1.	Cimentación	21
2.2.2.2.2.	Columnas	21
2.2.2.2.3.	Soleras.....	21
2.2.2.2.4.	Vigas	21
2.2.2.2.5.	Muros	21
2.2.2.2.6.	Muros de carga	22
2.2.2.2.7.	Muros de corte	22
2.2.2.2.8.	Tabiques	22
2.2.2.2.9.	Muros aislados	22

2.2.2.3.	Sistemas estructurales.....	22
2.2.2.3.1.	Estructura tipo cajón	23
2.2.2.3.2.	Estructura en C,L o T....	23
2.2.2.4.	Tipos de fallas.....	23
2.2.3.	Estructuras de concreto reforzado	27
2.2.3.1.	Generalidades	27
2.2.3.2.	Elementos.....	27
2.2.3.2.1.	Columnas	27
2.2.3.2.2.	Vigas.....	28
2.2.3.2.3.	Losas	28
2.2.3.2.4.	Muros de carga.....	28
2.2.3.2.5.	Muros de corte.....	28
2.2.3.2.6.	Gradas.....	28
2.2.3.2.7.	Cimientos.....	29
2.2.3.2.8.	Zapatas.....	29
2.2.3.3.	Sistemas estructurales.....	29
2.2.3.3.1.	Muros rígidos.....	29
2.2.3.3.2.	Marcos rígidos y de corte.....	30
2.2.3.3.3.	Estructura tipo cajón	30
2.2.3.4.	Estructuras especiales.....	30
2.2.3.4.1.	Cáscaras y placas	30
2.2.3.4.2.	Bóvedas.....	31
2.2.3.4.3.	Tanques enterrados.....	31
2.2.3.4.4.	Tanques elevados	31
2.2.3.5.	Tipos de fallas.....	31
3.	DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES	39
3.1.	Mapa de ubicación de municipios investigados	39

3.2.	Trabajo de campo	40
3.2.1.	Investigación de edificaciones dañadas	40
3.2.1.1.	Municipio de San Marcos	40
3.2.1.2.	Municipio de San José El Rodeo.....	41
3.2.1.3.	Municipio de San Antonio Sacatepéquez	41
3.2.1.4.	Municipio de Esquipulas Palo Gordo....	41
3.3.	Ubicación de edificaciones dañadas	42
3.4.	Formas de fallas.....	43
3.5.	Ubicación de fallas	54
4.	PROPUESTA DE REPARACIÓN PARA LAS EDIFICACIONES	57
4.1.	Datos de la investigación	57
4.1.1.	Clasificación de edificaciones.....	57
4.1.2.	Clasificación de fallas.....	58
4.2.	Formas de reparación de fallas	61
4.2.1.	Tratamiento superficial	61
4.2.2.	Perfilado y sellado.....	62
4.2.3.	Colocación de mortero como mezcla seca (o concreto expansivo).....	63
4.2.4.	Inyección de resina epoxi.....	65
5.	RESULTADOS ESPERADOS	69
5.1.	Comprobación de fallas teóricas y fallas reales	69
5.2.	Mejoramiento de condiciones actuales de edificaciones dañadas	70
5.2.1.	Estructuras de adobe	70
5.2.2.	Estructuras de mampostería	72

5.2.3. Estructuras de concreto reforzado.....	75
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Hipocentro, epicentro y ondas sísmicas.....	2
2.	Placas y fallas en la República de Guatemala	4
3.	Viviendas colapsadas después del terremoto	5
4.	Departamento de San Marcos	6
5.	Escuela la Grandeza.....	8
6.	Hospital General de San Marcos	9
7.	Hipocentro de la falla	10
8.	Daños en viviendas adobe.....	11
9.	Efecto combinado de carga axial y momento flexionante sobre columna sin y con refuerzo transversal.....	13
10.	Municipio del departamento de San Marcos	39
11.	Reparación de fisuras mediante perfilado y sellado.....	62
12.	Viviendas de adobe con techo de lámina.....	70
13.	Construcción de adobe	71
14.	Construcción de mampostería	73
15.	Refuerzo en columna	75
16.	Sistema típico de marco estructural de concreto reforzado	76

TABLAS

I.	Fallas en edificaciones de adobe.	18
II.	Fallas en edificaciones de mampostería.	24
III.	Fallas en edificaciones de concreto.	32

IV.	Edificaciones dañadas.....	42
V.	Falla en edificación 1.....	43
VI.	Falla en edificación 2.....	44
VII.	Falla en edificación 3.....	45
VIII.	Falla en edificación 4.....	46
IX.	Falla en edificación 5.....	46
X.	Falla en edificación 6.....	47
XI.	Falla en edificación 7.....	48
XII.	Falla en edificación 8.....	49
XIII.	Falla en edificación 9.....	50
XIV.	Falla en edificación 10.....	51
XV.	Falla en edificación 11.....	52
XVI.	Falla en edificación 12.....	53
XVII.	Ubicación de fallas.....	54
XVIII.	Clasificación de edificaciones.....	57
XIX.	Construcción de edificaciones.....	58
XX.	Descripción de fallas.....	59
XXI.	Reparacion de fallas.....	67
XXII.	Número de veces que ocurrió la falla.....	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
cm²	Centímetros cuadrados
∅	Diámetro
t	Espesor de losa
hrs	Horas
km	Kilómetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetros
ED-1	Número de edificio
F-1.1	Número de falla en edificio
p	Perímetro
%	Porcentaje
plg	Pulgadas
”	Pulgadas

GLOSARIO

Adobe	Material de construcción a base de barro y en forma de ladrillo.
Agies	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
ACI	American Concrete Institute.
Concreto reforzado	Concreto simple con cuantía de acero que mejora la resistencia a tensión.
Curado	Procedimiento que permite mantener una temperatura adecuada en el proceso de endurecimiento del concreto.
Daño sísmico	Magnitud de efectos, definidos en pérdidas de vidas o daños materiales.
Edificación	Construcción diseñada a base de distintos materiales que permiten darle forma y tamaño.
Epicentro	Punto directamente encima del hipocentro.
Estructura	Parte de una edificación, diseñada para soportar cargas.

Falla	Surgen en estructuras producto de movimientos externos.
Falla teórica	Nombre de fallas que con el tiempo se ha determinado su causa en una estructura.
Falla real	Nombre de fallas encontradas en edificaciones evaluadas.
Fisura	Grieta muy fina.
Foco	Punto donde se origina el sismo o terremoto.
Grieta	Abertura que se produce por movimientos en estructuras.
Hipocentro	Profundidad a la que se encuentra el foco.
Infraestructura	Tipos de construcciones que dependen de la sociedad que la utiliza para bienes comunes.
Mampostería	Unión de bloques con mortero para formar muros que puedan soportar cierta carga.
Mortero	Mezcla de conglomerantes inorgánicos, agua y algunos aditivos.
NSE	Normas de Seguridad Estructural.

Refuerzo

Cuantía de acero que permite complementar con sus propiedades físicas y mecánicas a bloques de hormigón.

Onda sísmica

Movimientos que se transmite en ciertas direcciones.

RESUMEN

Guatemala es uno de los países con índices de riesgo más altos en la región centroamericana, e incluso a nivel mundial. El crecimiento de la población, las debilidades en los procesos de planificación urbana y rural, así como la degradación ambiental y la deforestación producto de la ampliación de la frontera agrícola han generado condiciones de vulnerabilidad, que contribuyen a exacerbar el impacto de los diferentes fenómenos naturales.

Guatemala está ubicada en un área sísmica y varias construcciones presentan deficiencias, es por eso que se consideró necesario plantear un tema que señale los desperfectos a los cuales están expuestas las construcciones en el país. Las edificaciones más afectadas durante el sismo ocurrido el 7 de noviembre de 2012 hizo evidente estas deficiencias, siendo las construcciones de adobe las más afectadas, por ser la población de escasos recursos las que habitan en estas construcciones de bajo costo.

El sismo sucedido el 7 de noviembre del 2012 dejó un gran número de habitantes afectados de varios departamentos de la República, sin embargo, el presente estudio únicamente se enfoca en el departamento de San Marcos. Por ser uno de los más afectados por el bajo costo de sus construcciones y por el tipo de suelo de la región, siendo de tipo arcilloso.

El trabajo desarrollado se encuentra enfocado a estudiar los establecimientos educativos, debido a que el 90% de los daños lo presentan estas construcciones como se puede observar en el cuadro de apéndice 1, estos establecimientos representan en algunas localidades una de las primeras

construcciones durante su crecimiento como población; es por eso que muchas de las edificaciones encontradas son escuelas públicas, las cuales permitieron poder desarrollar el tema propuesto.

OBJETIVOS

General

Diagnóstico de fallas en edificaciones a consecuencia del sismo del 7 de noviembre de 2012 en San Marcos y propuesta de reparación.

Específicos

1. Investigación de daños ocurridos después del sismo en el departamento de San Marcos.
2. Investigación de edificaciones con daños en los municipios de San Marcos, San José El Rodeo, San Antonio Sacatepéquez y Esquipulas Palo Gordo, departamento de San Marcos.
3. Conceptos básicos de elementos que componen estructuras de adobe, mampostería y concreto armado.
4. Investigación de tipos de fallas en edificaciones de adobe, mampostería y concreto armado.
5. Clasificación de fallas en edificaciones de adobe, mampostería y concreto armado.

6. Propuesta de reparación en edificaciones dañadas en los municipios de San marcos, San José El Rodeo, San Antonio Sacatepéquez y Esquipulas Palo Gordo, departamento de San Marcos.

INTRODUCCIÓN

Guatemala por su posición geosísmica y geográfica está propensa a movimientos sísmicos, debido a estar ubicada en las placas tectónicas de Norteamérica, del Caribe y la de Cocos en el Pacífico. Históricamente se han registrado movimientos sísmicos siendo los siguientes los más importantes:

En 1479, año que ocurre el primer temblor.

En 1541, ocurre el segundo terremoto que destruye la segunda capital asentada en Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

El 1773, un terremoto conocido como Santa Marta destruye la ciudad de Santiago de los Caballeros.

En 1917 y 1918, durante la época del presidente Manuel Estrada Cabrera, ocurren sucesivamente temblores y terremotos, dejando muchas fachadas destruidas.

En 1976, ocurre el terremoto más violento en Guatemala, afectando los departamentos de Guatemala, El Progreso, Jalapa, Zacapa, Sacatepéquez, Chimaltenango, Quiché y Totonicapán.

En 2012, ocurre el sismo más reciente que afecta a los departamentos de San Marcos, Sololá, Quetzaltenango, Quiché, Totonicapán, Huehuetenango, Retalhuleu y Suchitepéquez.

El trabajo de investigación está basado en determinar los tipos de fallas y clasificación de fallas estructurales ocasionados en edificaciones de los municipios de San Marcos, San José El Rodeo, San Antonio Sacatepéquez y Esquipulas Palo Gordo del departamento de San Marcos, ocurridas durante el sismo del 7 de noviembre de 2012.

El trabajo consta de cinco (5) capítulos. El capítulo I está basado en una breve investigación: ¿Qué es un sismo?, ¿cómo se originan?, una breve investigación del terremoto de 1976, monografía del departamento de San Marcos y daños ocasionados por el sismo del 7 de noviembre de 2012; en el capítulo II se hace mención de las fallas estructurales más conocidas después de un sismo; en el capítulo III será una investigación de campo en los municipios de San Marcos, San Antonio Sacatepéquez, Esquipulas Palo Gordo y San José El Rodeo para determinar edificaciones dañadas; el capítulo IV está basado en clasificación de edificaciones y fallas encontradas así como una propuesta de reparación estructural; en el capítulo V se analizan los resultados esperados basados en la investigación de campo.

Al final se hace mención de las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron producto del trabajo realizado, así como la bibliografía consultada.

1. RESEÑA HISTÓRICA

1.1. Generalidades

Un sismo es una vibración de la corteza terrestre, a diferentes profundidades y de distintos orígenes, son muchos los fenómenos naturales que pueden originarlos: la actividad volcánica, las erupciones, el colapso de los techos de las cavernas, entre otras. Sin embargo, los sismos más importantes desde el punto de vista del diseño de estructuras y cimentaciones son los de origen tectónico, es decir a los asociados con deformaciones a gran escala en la corteza terrestre, debido a la energía tan grande que se libera y a lo extenso de las áreas que resultan afectadas.

1.2. Sismo

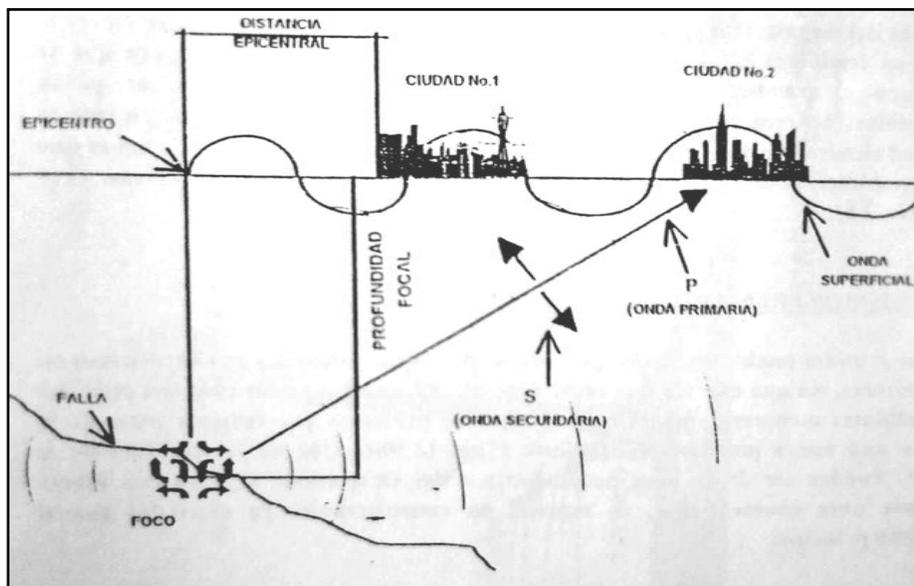
Etimológicamente la palabra sismo viene de la voz griega *seiein*=mover o cualquier movimiento del terreno o litósfera, de origen natural o artificial. Existe una diferencia en lo que se conoce como temblor y terremoto, así:

- Temblor: movimiento telúrico pequeño, local y daños poco considerables. Ejemplo: el paso de un camión o de un tren producen un ligero microsismo.
- Terremoto: sismo muy grande o macrosismo que causa daños considerables. Ejemplo: movimiento diastrófico (tectónico o del subsuelo).

1.3. Característica de los sismos

Foco o hipocentro, magnitud e intensidad. El hipocentro, centro o hipofoco de un sismo, es el punto que indica el origen de las ondas sísmicas.

Figura 1. Hipocentro, epicentro y ondas sísmicas



Fuente: REITHERMAN, Roberto; AROL, Christopher. *Configutation and seismic design*. p. 5.

1.3.1. Magnitud del sismo

La magnitud es una medida de la energía liberada; es una medida cuantitativa del tamaño de un sismo y es independiente del lugar de observación. Se determina a partir de la medición de las amplitudes registradas en sismógrafos. La escala de magnitudes más común es la de Richter, que es una escala logarítmica, de tal manera que un incremento de una unidad en la escala, constituye un aumento de diez veces en la energía liberada. Así un

sismo de magnitud 6,0 es diez veces mayor a uno de 5,0. La máxima magnitud registrada en esta escala es de 8,9. La magnitud se clasifica de 1 a 10 grados, (ver anexos 1, tabla I).

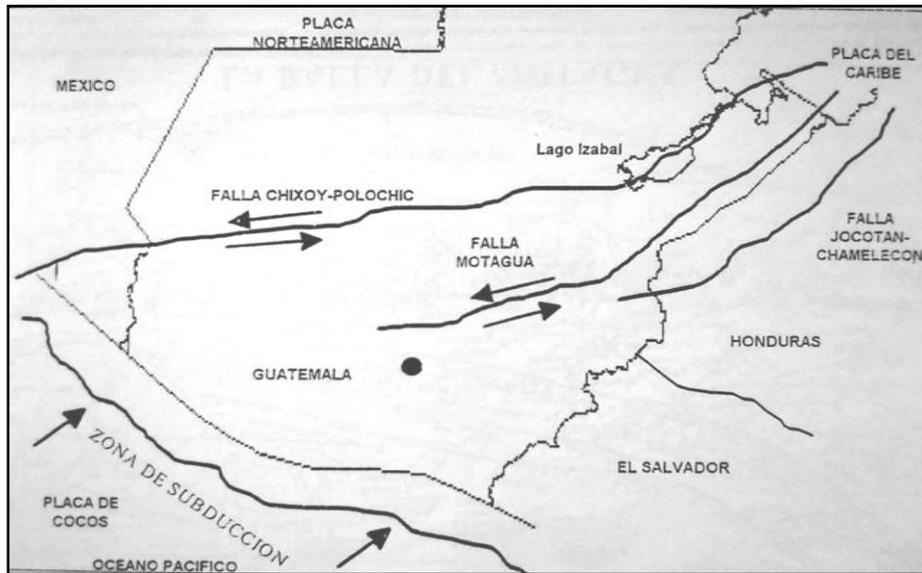
1.3.2. Intensidad del sismo

La intensidad es una medida local de destrucción sísmica, es una medida subjetiva de los efectos de un sismo en un lugar dado. La escala de intensidades que más se utiliza es la denominada “Mercalli Modificada”. A un sismo con una magnitud dada según la escala de Richter, corresponderán intensidades diferentes, según la distancia al foco y las características del suelo donde se efectúa la observación. La escala de Mercalli Modificada (M.M.) tiene doce grados para medir la intensidad del sismo.

1.4. Ubicación de Guatemala

Guatemala por su ubicación se sitúa en el Cinturón, Anillo o Círculo de Fuego donde la placa tectónica oceánica se sumerge bajo la continental ocasionando el movimiento de subducción, área donde también converge la placa de Norteamérica, placa del Caribe y placa de Cocos; dando origen a: falla del Motagua, falla Jocotán-Chamelecón y falla Chixoy-Polochic, ubicadas en la zona de subducción del océano Pacífico.

Figura 2. **Placas y fallas en la República de Guatemala**



Fuente: REITHERMAN, Roberto; AROL, Christopher, *Configutation and seismic design*. p. 8.

1.5. **Terremoto de 1976**

En la madrugada del 4 de febrero (3:03 AM), ocurre el más violento terremoto de la región, originado por la falla localizada en el valle del río Motagua, relativamente joven y con movimientos desde tiempos de la época colonial. La magnitud fue de 7,5 en la escala Richter. Se tuvo un saldo de 23 000 muertos, 77 000 heridos y 1/6 de la población quedó sin vivienda. El epicentro se localizó en el extremo oriental de la falla; afectó la ciudad capital, causándole extenso daño, así como a los departamentos de El Progreso, Jalapa, Zacapa, Sacatepéquez, Chimaltenango, Quiché y Totonicapán. Los materiales como adobe y teja demostraron poca resistencia ante este fenómeno.

Figura 3. **Viviendas colapsadas después del terremoto**



Fuente: Prensa Libre.

1.6. Monografía del departamento de San Marcos

San Marcos representa uno de los departamentos con mayor población de los 22 departamentos en Guatemala, alojando a una gran parte de la población que vive en el sur occidente del país.

1.6.1. Ubicación del departamento de San Marcos

Se encuentra situado en la región suroccidental de Guatemala. Su extensión territorial es de 3 791 kilómetros cuadrados. Limita al norte con Huehuetenango, al sur con el océano Pacífico y Retalhuleu, al este con Quetzaltenango; y al oeste con México, ubicado a una altura media de 2398 msnm.

Figura 4. **Departamento de San Marcos**



Fuente: CONRED. *Informe situación Terremoto 7.2*. p. 11.

1.6.2. Actividad económica

La actividad económica principal es la agricultura cultivándose:

- Maíz: se produce en todas las comunidades. Las técnicas de producción son tradicionales, por lo que los rendimientos por área cultivada son de baja cuantía, estimándose la cosecha de uno y medio a dos quintales por cuerda de 25 X 25 varas. Su destino es autoconsumo.
- Frijol: se produce también en todas las comunidades, siendo el rendimiento de un quintal por cuerda.

- Trigo y papa: desde el punto de vista comercial, estos son los principales cultivos del área de tierra fría; se produce en todas las comunidades obteniendo un rendimiento de 1 a 2 quintales por cuerda; y en trigo dos quintales por cuerda.
- Frutas: en los poblados de tierra fría, que reportan árboles frutales, la importancia por especie es la siguiente: durazno, aguacate, ciruela y manzana. En cuanto a la boca costa el cultivo de mayor importancia es el banano, y zapote. Los frutales no están ordenados en plantaciones, pues generalmente se encuentran dispersos en las áreas destinadas a los cultivos anuales. El caso del banano difiere, pues es una explotación de plantaciones que se utiliza como sombra para los cafetos.
- Además se dedican al comercio de insumos como vestimentas, artículos para el hogar, herramientas de trabajo y otras actividades comerciales que permitan obtener un beneficio económico.

1.6.3. Tenencia de la tierra

Según información proporcionada por las comunidades y autoridades municipales en la parte este, norte y oeste del departamento son tierras no cultivables y aptas para el trabajo forestal, pero por la misma necesidad de la población ha optado a cultivarlas; en la parte sur del departamento especialmente en la costa y boca costa, que son tierras aptas para todo cultivo con poca o ninguna dificultad para la siembra, y aplicando sistemas de riego, pues este terreno está capacitado para trabajo intensivo de manejo. Todo esto se basa en la topografía del área, siendo terrenos quebrados y montañosos del país, ocasionando que los terrenos sean estrechos para poder cultivarlos.

1.6.4. Educación

Según se observó a lo largo de la investigación de campo, las comunidades cuentan con escuela primaria, la cual es atendida por el Ministerio de Educación del departamento y apoyada por las municipalidades de las localidades, las cuales financian maestros para completar la docencia.

Figura 5. **Escuela La Grandeza**



Fuente: Esquipulas Palo Gordo.

1.6.5. Salubridad

De los municipios en estudio, únicamente la cabecera departamental de San Marcos cuenta con hospital general, el cual proporciona la atención adecuada a la población. Los servicios estatales de salud en los municipios están a cargo de un Centro de Salud tipo “B”, ubicado en la cabecera municipal, que cuenta con un médico, una enfermera graduada, cinco auxiliares de

enfermería, dos técnicos de salud rural, 59 promotores de salud, un laboratorista, un secretario y un operativo.

Figura 6. **Hospital General de San Marcos**



Fuente: cabecera departamental de San Marcos, fachada frontal.

1.7. Daños del sismo N7 (7 de noviembre de 2012)

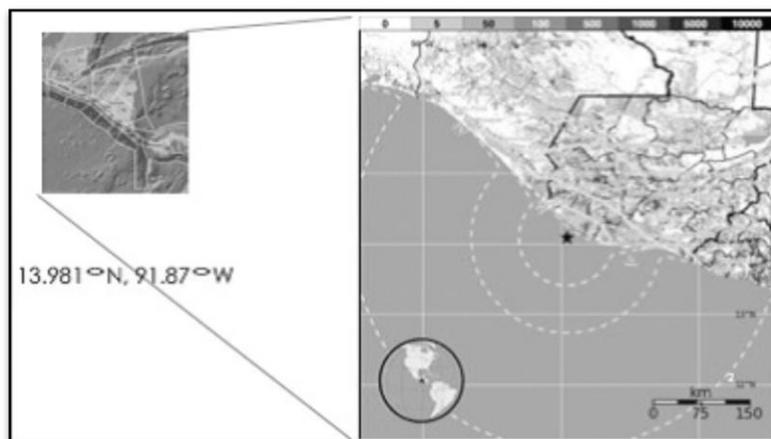
EL departamento de San Marcos cuenta con 29 municipios, de los cuales 20 fueron escenario de afectaciones en el subsector educación: Ayutla, Comitancillo, Concepción Tutuapa, El Quetzal, El Rodeo, El Tumbador, Esquipulas Palo Gordo, Ixchiguán, La Reforma, Nuevo Progreso, Pajapita, San Antonio Sacatepéquez, San Cristóbal Cucho, San Lorenzo, San Marcos, San Miguel Ixtahuacán, San Pablo, San Pedro Sacatepéquez, Sibinal, Sipacapa, Tacaná y Tajumulco. Se dañaron 277 establecimientos educativos.

El monto total estimado de daños asciende a Q 187,7 millones, equivalentes al 90 por ciento del total de daños de los departamentos con afectaciones en el subsector educación (ver imagen 13 de apéndice) y también en otras construcciones que representan un período de vida desde hace más de 50 años.

1.7.1. Magnitud del daño

El miércoles 07 de noviembre de 2012 a las 10:35 hrs (local) se registró un sismo de magnitud 7,2 en la escala de Richter, el cual fue sensible en casi todo el territorio nacional, exceptuando Petén. El epicentro se localizó a 200 km al oeste suroeste de la ciudad de Guatemala, en el océano Pacífico, frente a las costas de Retalhuleu, lo que causó pérdidas de vidas humanas y destrucción de infraestructuras. Según reportes de Conred las fallas que convergen en el territorio oriente del país no provocaron daños o pérdidas durante el movimiento sísmico.

Figura 7. **Hipocentro de la falla**



Fuente: Conred. *Informe*. p.10.

1.7.2. Damnificados

La tragedia en el departamento dejó como cauda 33 muertos, más de diez mil personas damnificadas y cerca de dos mil viviendas demolidas, así como decenas de edificios con daños severos. Diez de las víctimas, todas de una sola familia, fallecieron soterradas en el municipio de San Cristóbal Cucho(ver apéndice 1, tabla I y figura 1).

Figura 8. Daños en viviendas de adobe



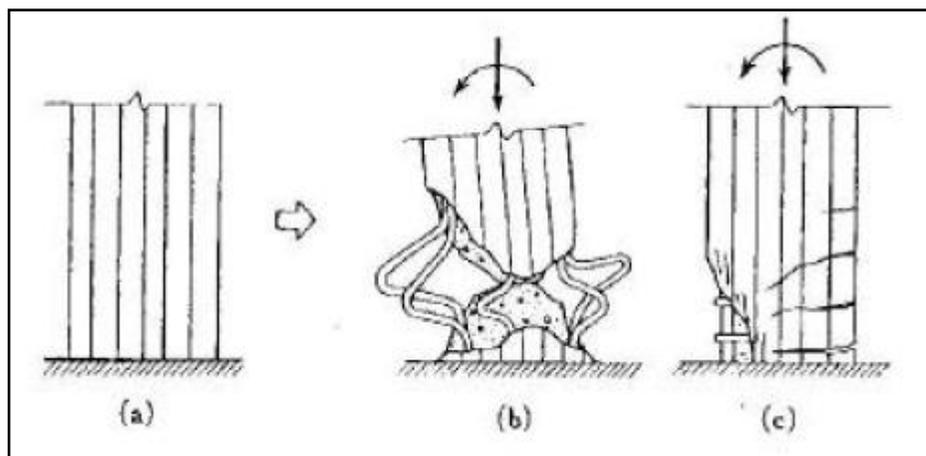
Fuente: Segeplan. *Evaluación del impacto del terremoto del 7 de noviembre de 2012, Guatemala.* p.15.

2. FALLAS ESTRUCTURALES DESPUÉS DE UN SISMO

2.1. Falla estructural

“Una falla de un elemento estructural ocurre cuando cesa de desempeñar su función en forma satisfactoria”¹.

Figura 9. **Efecto combinado de carga axial y momento flexionante sobre columna sin y con refuerzo transversal**



Fuente: COWAN, Henry. *Diseño de estructuras de concreto reforzado*. p.22.

2.2. Tipos de fallas en edificaciones

Las estructuras no siempre presentan las mismas fallas, pueden ocurrir por el mismo fenómeno pero no se dan de la misma manera, es por eso que se

¹. KAMINETSKI. *Consulting engineers*. p. 22

hace énfasis en algunas fallas que se han registrado en sismos y terremotos ocurridos en años anteriores.

2.2.1. Estructuras de adobe

El adobe es uno de los materiales de construcción más antiguos todavía en uso. Es un material de construcción de bajo costo y de fácil accesibilidad es elaborado por comunidades. Las estructuras de adobe son generalmente construidas con técnica constructiva tradicional simple y no requiere consumo adicional de energía.

2.2.1.1. Generalidades

En Guatemala el adobe se ha usado desde La Colonia y se continúa usando, con algunas modificaciones. En la actualidad más de la mitad de la población vive en casas de barro. Las soluciones técnicas para la construcción de adobe han sido diversas a lo largo del tiempo, pero en la práctica se construyen con las mismas técnicas tradicionales. Fundamentalmente el adobe está compuesto de arena, arcilla y agua. Esta mezcla se combina con paja o pino, para moldearse en forma de bloques y son secados al aire para ser utilizados en la construcción de muros, paredes y columnas.

2.2.1.2. Elementos

Son formas constructivas que permites dar forma a estructuras de adobe para mejorar los ambientes que se desean mejorar.

2.2.1.2.1. Muros

- Muro de carga: se caracteriza por soportar cargas verticales, siendo las cargas de vigas de madera, teja o duralita, permitiendo llevar la carga a la cimentación del muro.
- Tabiques interiores: los tabiques interiores generalmente se emplean para dividir ambientes en la parte interna de la vivienda.
- Paredes aisladas: las paredes aisladas de adobe se caracterizan por ser muros perimetrales y tener generalmente una relación 2:1 en longitud-altura.

2.2.1.2.2. Columnas

Las columnas fundamentalmente son elementos de madera que soportan cargas por compresión vertical, viento o movimientos sísmicos y son utilizadas para apoyo de vigas de madera. Estos elementos transmiten las cargas de niveles superiores a niveles inferiores hasta el cimiento.

2.2.1.2.3. Vigas

Comúnmente estas son de madera y se utilizan para soportar la cubierta del techo. Se colocan vigas primarias que van ancladas entre el muro de adobe y la columna de madera colocada en las esquinas, las columnas secundarias se colocan para soporte de la lámina, teja o duralita.

2.2.1.2.4. Dinteles

Las aéreas libres en muros se utilizan como puertas y ventanas, estas aberturas son concentración de esfuerzos encontrándose enmarcadas por elementos de madera y son de forma rectangular, colocando en la parte superior un dintel. Los dinteles generalmente son de madera y se colocan varias piezas una a la par de otra, formando una viga.

2.2.1.2.5. Cimentación

Los cimientos son de piedra unida con un mortero a base de cal, aunque en algunos lugares de la república se ha utilizado una especie de cimiento corrido de tierra con agregados de cal y cemento, en ocasiones algunas estructuras de adobe se levantan encima de una pieza de madera.

2.2.1.3. Elementos principales y secundarios

Los elementos principales se caracterizan por soportar las cargas, mientras que los elementos secundarios son los que no soportan cargas y solo sirven de división, como tabiques interiores, barandas o similares.

2.2.1.4. Sistemas estructurales

Estos tipos de sistemas son formas que se establecen para ubicar los distintos ambientes en la construcción con adobe.

2.2.1.4.1. Estructuras tipo cajón

Este tipo de estructura está conformada por un conjunto de paredes (un mínimo de cuatro), enlazadas entre sí en forma perpendicular, constituyendo conjuntos cerrados rectangulares o cuadrados. Es muy común en viviendas.

2.2.1.4.2. Estructuras en “C”

Las estructuras tipo “C” se caracterizan por estar formadas por tres muros unidos perpendicularmente, formando en planta una “C”. La geometría de este tipo de estructura hace que sea menos resistente a fuerzas laterales, sobre todo en los extremos libres.

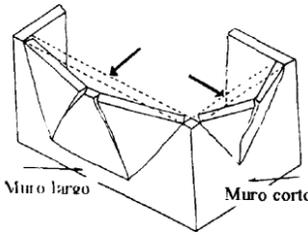
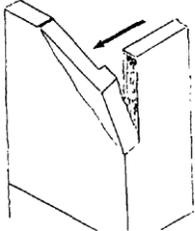
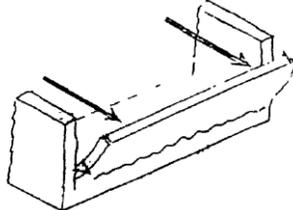
2.2.1.4.3. Tipos de techos

El techo generalmente es apoyado en vigas de madera que están colocados sobre muros de adobe, las cubiertas son lámina galvanizada, teja o paja.

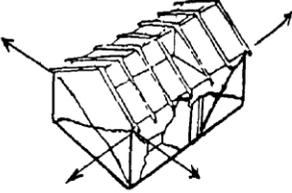
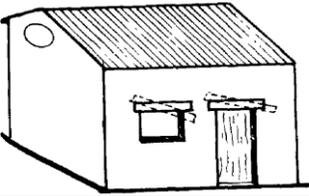
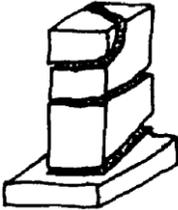
2.2.1.5. Tipos de fallas

Los tipos de fallas son comúnmente registradas conforme la magnitud del movimiento y no siempre se presentan de la misma forma en estructuras de adobe.

Tabla I. **Fallas en edificaciones de adobe**

Elemento	Descripción de falla	Esquema
Muros	Este tipo de falla se presenta en paredes o muros que no poseen refuerzo para resistir cargas horizontales en la parte alta. Un sismo induce fuerzas horizontales sobre el techo, que pueden producir grietas en la parte alta y central del muro, perpendicularmente si el techo es pesado (Falla por flexión), Generalmente en el lado largo.	 <p>El diagrama muestra un muro con un techo. Una línea de grieta se extiende horizontalmente a través del centro del muro, justo debajo del techo. Se indican las direcciones de las fuerzas horizontales que actúan sobre el techo. Las etiquetas 'Muro largo' y 'Muro corto' señalan las dimensiones del muro.</p>
Muros	Este tipo de falla ocurre en muros que no poseen amarre adecuado en las uniones con muros perpendiculares, causando grietas directamente en la esquina superior de las paredes (Falla por tensión).	 <p>El diagrama muestra la esquina superior de un muro donde se encuentra con otro muro perpendicular. Una grieta se abre en la esquina superior del muro principal.</p>
Muros	Este tipo de falla se da en muros largos, especialmente si no están bien ligados a muros perpendiculares, causando grietas verticales en los extremos de paredes. En algunos casos se da el volamiento completo del muro (Falla por flexión).	 <p>El diagrama muestra un muro largo con grietas verticales que se abren en los extremos. Una parte del muro se está volando o desmenujando.</p>

Continuación de la tabla I.

Elemento	Descripción de Falla	Esquema
Muros	Este tipo de falla sobresale en muros y alrededores de puertas y ventanas, generalmente cuando el sismo actúa en forma paralela a la pared. Por lo regular se presentan grietas en diagonal (Falla por corte).	
Muros	Las fallas por asentamiento no uniforme producen grietas diagonales en los muros (Falla por asentamiento).	
Dintel	Las fallas en dinteles se manifiestan por el deslizamiento que sufren estos elementos. Se puede presentar desprendimiento total o parcial del dintel (Falla en dintel).	
Columnas	Las fallas en columnas de adobe frecuentemente se producen por corte. Se manifiestan por la presencia de grietas generalmente en la parte superior. También se presentan fallas por flexión, apareciendo grietas horizontales en la parte central o inferior de columnas (Falla en columnas).	

Fuente: VARGAS, Julio. *Análisis de muros verticales de adobe*. p.18.

2.2.2. Estructuras de mampostería

La mampostería es un método económico en sistemas constructivos, basado en colocación de bloques pegados con mortero de buena consistencia.

2.2.2.1. Generalidades

Las edificaciones de mampostería están hechas con base en la unión de bloques por medio de morteros, pueden estar reforzados o no con elementos de acero y concreto. Los bloques con los cuales generalmente están hechas las edificaciones de mampostería son: bloc de piedra pómez, bloc de concreto, ladrillo de barro cocido y bloc de granito (no muy usual).

Existen dos formas de edificar las estructuras de mampostería, esto es mampostería reforzada y mampostería sin refuerzo. Como su nombre lo indica, la mampostería reforzada incluye elementos de refuerzo hechos de concreto y acero, los que no existen en la mampostería sin refuerzo.

2.2.2.2. Elementos

Los elementos de mampostería pueden combinarse en una edificación con losas, gradas, cimientos, columnas y vigas de concreto; gradas, columnas y vigas de acero; gradas columnas y vigas de madera; entrepisos y techos que pueden construirse de acero, madera o combinaciones de acero-concreto, acero-madera y en casos muy particulares acero-concreto-madera.

Los elementos que más frecuentemente se construyen con mampostería reforzada son columnas, muros y sistemas estructurales.

2.2.2.2.1. Cimentación

Estructuralmente la cimentación es un bloque de concreto reforzado que soporta todo el peso muerto y lo transporta al suelo, siempre y cuando este sea de soporte mayor o igual a la carga de la estructura, diseñado para soportar cargas de viento y movimientos sísmicos.

2.2.2.2.2. Columnas

Las columnas son elementos esbeltos y aislados, siendo su función principal soportar cargas verticales, su sección generalmente es cuadrada o rectangular.

2.2.2.2.3. Soleras

Sirven para darle una mayor rigidez a las columnas en la dirección horizontal y lograr una mayor estabilidad entre los muros de carga, estos presentan cuantía de acero dependiendo de la zona de su construcción, estableciendo tres tipos; solera hidrófuga, solera intermedia y solera corona o final.

2.2.2.2.4. Vigas

Son elementos horizontales que se encargan de recibir las cargas del techo y de transmitir estas cargas a las columnas de la estructura, comúnmente estas vigas solo se construyen sobre muros de carga.

2.2.2.2.5. Muros

Los muros pueden ser muros de carga, corte, aislados o tabiques.

2.2.2.2.6. Muros de carga

Los muros de carga son aquellos cuya función principal es soportar las cargas verticales, provenientes de las vigas y del techo.

2.2.2.2.7. Muros de corte

Los muros de corte son aquellos cuya función principal es absorber fuerzas de corte (fuerzas horizontales en el plano principal del muro) y darle más rigidez a la estructura, permitiendo soportar cargas verticales, de viento y de movimientos sísmico.

2.2.2.2.8. Tabiques

Los tabiques son muros cuya función solo es hacer divisiones interiores y no reciben carga más que su peso propio, son muros de relleno.

2.2.2.2.9. Muros aislados

Muros aislados son aquellos que están aislados a otros muros o contrafuertes. Frecuentemente su función es delimitar propiedades en cuyo caso se les conoce también como muros perimetrales.

2.2.2.3. Sistemas estructurales

Estos sistemas son empleados de forma que la estructura forme rectángulos, cuadrados o dimensiones en las cuales pueda representar una estabilidad en su sistema constructivo.

2.2.2.3.1. Estructuras tipo cajón

Las estructuras tipo cajón son muros que adoptan la forma de cuadros o rectángulos cerrados, sencillos o múltiples. Generalmente los ángulos en que se intersectan los muros son de 90°. Los muros se complementan con entrepisos y techos.

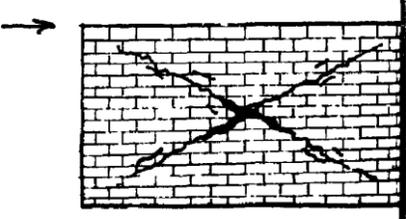
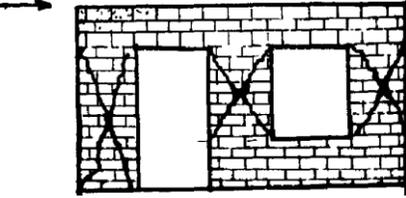
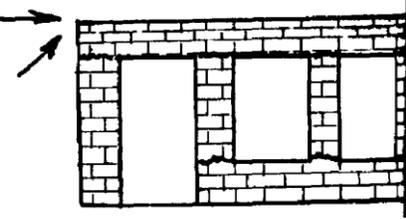
2.2.2.3.2. Estructuras en C, L o T

Son aquellas que en planta adoptan precisamente cualquiera de las formas, su estructura se complementa por medio de losas de entrepiso o techos. Se consideran como estructuras “abiertas”.

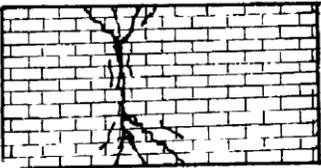
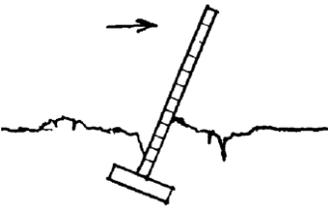
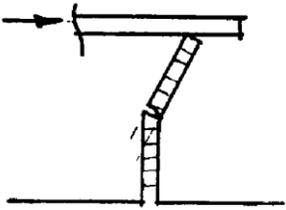
2.2.2.4. Tipos de fallas

Existen tipos de fallas que se dan por los distintos métodos constructivos, en la mayoría de los casos, estos tipos de fallas han estado relacionados con las deficiencias características de esta tipología constructiva, como: malas conexiones, anclajes, diafragmas de piso excesivamente flexibles y morteros de mala calidad, ante sismos menos intensos, las estructuras solo se han visto afectadas ligeramente sin presentar daños de consideración.

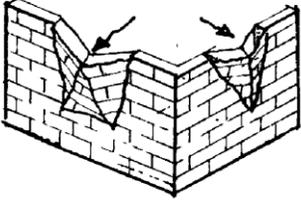
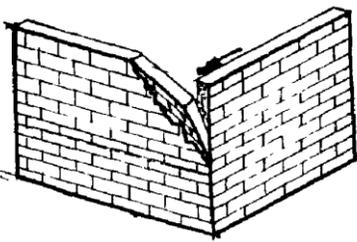
Tabla II. **Fallas en edificaciones de mampostería**

Elemento	Descripción de falla	Esquema
Muros	Grietas que se cruzan formando ángulos de aproximadamente 45° con respecto a la horizontal. El cruce de grietas tiende a localizarse en la parte central del muro. Es ocasionada por fuerzas laterales en el plano del muro.	
Muros	Falla en los muros con vanos de puertas, ventanas u otros. Las grietas se producen en forma de X, distribuidas en los espacios entre vanos. Es ocasionada por fuerzas laterales en el plano del muro.	
Muros	Grietas horizontales en la parte superior o inferior de las regiones entre vanos. Es ocasionada por fuerzas laterales en el plano del muro o en el plano horizontal perpendicular al plano del muro.	

Continuación de la tabla II.

Elemento	Descripción de falla	Esquema
Muros	Grietas que forman líneas verticales al centro con diagonales en las zonas de contacto con las losas y muros. Separación de los bloques por las cizas, atascamiento de puertas y ventanas. Se produce por asentamientos diferenciales.	 <p>Este diagrama muestra un muro de ladrillo con un patrón de grietas. Una grieta vertical principal se extiende desde la parte superior hasta la inferior en el centro del muro. Desde esta grieta vertical, se ramifican varias grietas diagonales que se extienden hacia los bordes del muro, formando un patrón similar a una 'Y' invertida o un árbol.</p>
Muros	Volteo parcial o total de todo el muro. Formación de grietas horizontales. Dependiendo de la severidad del daño el suelo puede verse afectado, mostrando grietas, asentamientos o levantamientos. Es ocasionada por fuerzas en el plano horizontal perpendicular al plano del muro.	 <p>Este diagrama ilustra un muro que se ha volcado. El muro está representado como una estructura inclinada hacia la izquierda. Una línea horizontal con una flecha que apunta a la derecha indica la dirección de la fuerza aplicada perpendicularmente al muro. El muro está apoyado sobre un terreno que muestra grietas y hundimientos, indicando el efecto del vuelco.</p>
Muros	Volteo parcial del muro. Formación de grietas horizontales a lo largo de la zona de vuelco. Es ocasionada por fuerzas en el plano horizontal perpendicular al plano del muro.	 <p>Este diagrama muestra un muro que se ha volcado parcialmente. El muro está inclinado, pero su base superior se ha desplazado hacia la izquierda, formando una estructura en forma de 'Z'. Una línea horizontal con una flecha que apunta a la derecha indica la fuerza aplicada. El muro está apoyado sobre un terreno que muestra grietas horizontales y hundimientos en la zona de vuelco.</p>

Continuación de la tabla II.

Elemento	Descripción de falla	Esquema
<p style="text-align: center;">Muros</p>	<p>Falla en muros que no poseen refuerzo contra cargas horizontales (sin diafragma horizontal). Es ocasionada por fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro.</p>	
<p style="text-align: center;">Muros</p>	<p>Falla que ocurre en muros que no poseen un amarre adecuado en las uniones con muros perpendiculares (no están ligados a diafragma). Es ocasionada por fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro.</p>	

Fuente: MALDONADO, Carlo. *Parámetros de diseño en muros de mampostería*. p.25.

2.2.3. Estructuras de concreto reforzado

Las estructuras de concreto reforzado se caracterizan por la combinación que existe entre el concreto simple con el acero de refuerzo, mejorando la resistencia a flexión y al corte del concreto.

2.2.3.1. Generalidades

Los edificios de concreto reforzado están estructurados por combinaciones de cimientos, vigas, columnas, muros, losas, gradas, entre otras. La respuesta ante sismos depende, entre otras, de las características de masa y de rigidez de los sistemas estructurales. Son importantes también la resistencia, el amortiguamiento y la capacidad de absorción de energía.

2.2.3.2. Elementos

Los elementos básicos de una estructura de concreto reforzado, están sometidos a distintas reacciones, estos elementos reaccionan ante distintos movimientos conforme su función estructural.

2.2.3.2.1. Columnas

Son elementos verticales sometidos cargas verticales (compresión), horizontales (tensión), de viento y sísmicas. Se utilizan para apoyar en ellas la vigas, transmitiendo la carga de los niveles superiores hasta la planta baja para después transmitirla al suelo a través de la cimentación.

2.2.3.2.2. Vigas

Elementos horizontales cuya función es soportar cargas perpendiculares a su eje longitudinal, generalmente esfuerzos de flexión y momentos de corte, transmitiendo las cargas de la losa a las columnas.

2.2.3.2.3. Losas

Son elementos estructurales que además de su función principal como elementos resistentes a cargas verticales como cargas muertas y vivas, las losas de piso actúan como diafragmas horizontales que distribuyen las fuerzas laterales a los elementos estructurales verticales que tienen que resistirlas.

2.2.3.2.4. Muros de carga

Muros de carga son muros que se calculan para soportar cargas verticales, de cargas muertas y vivas, dándole una mejor rigidez a la estructura.

2.2.3.2.5. Muros de corte

Son muros armados con cierta cuantía de acero que resisten cargas verticales y son capaces de soportar fuerza cortante en la base.

2.2.3.2.6. Gradadas

Las gradadas son elementos estructurales que funcionan como losas inclinadas, sirven para establecer un acceso o comunicación entre distintos niveles o plantas de una edificación. La disposición mas sencilla para una escalera de concreto reforzado consiste en una losa inclinada, provista de

peldaños contruidos en su cara superior y soportado por elementos estructurales, tales como muros, columnas o vigas. También hay escaleras con peldaños en voladizo soportados por vigas.

2.2.3.2.7. Cimientos

La cimentación es la parte de la estructura situada debajo de la superficie del terreno que traslada las cargas de la estructura al suelo, proporcionándole estabilidad a la estructura de concreto reforzado, mampostería o adobe.

2.2.3.2.8. Zapatas

Elemento estructural que permite establecer una mejor estabilidad a la estructura, esta presenta tensiones que provienen de las cargas muertas, vivas, de viento y sísmicas. Diseñadas para soportar esfuerzos cortantes por movimientos o por el propio peso de la estructura y reforzada con una cuantía de acero que permita mejorar sus condiciones físicomecánicas.

2.2.3.3. Sistemas estructurales

Los tipos de sistemas estructurales se basan en proporcionar a la estructura una mayor rigidez, basados en el diseño estructural.

2.2.3.3.1. Muros rígidos

Uno de los principales sistemas estructurales que se emplean en edificaciones de concreto reforzado son los marcos rígidos. Estos están conformados por vigas y columnas, unidas rígidamente, es decir que no cambia el ángulo entre los elementos, cuando el marco se deforma. Tanto las vigas

como las columnas sufren flexión al actuar las cargas, sean estas verticales u horizontales. En los marcos rígidos la unión de viga y columna es de gran importancia, no tiene sentido emplear elementos fuertes, rígidos y dúctiles si no se unen en forma apropiada.

2.2.3.3.2. Marcos rígidos y muro de corte

Es un sistema estructural en el cual se combinan muros de corte con marcos rígidos. Ofrecen gran resistencia a cargas laterales, debido a la gran rigidez que el muro aporta.

2.2.3.3.2. Estructuras tipo cajón

Las estructuras tipo cajón son sistemas estructurales en los cuales se combinan muros de carga y losas, formado cajones cerrados.

2.2.3.4. Estructuras especiales

Son estructuras especiales las siguientes, pero no se tratan en este trabajo.

2.2.3.4.1. Cáscaras y placas

Son estructuras especiales conformadas por losas curvas, las cuales presentan un espesor pequeño en comparación con sus otras dimensiones que cubren grandes luces.

2.2.3.4.2. Bóvedas

Son losas curvas (semicirculares o parabólicas) que sigue una directriz recta en su diseño. Que se apoya en muros, pilares o columnas, las cúpulas son también bóvedas.

2.2.3.4.3. Tanques enterrados

Son sistemas formados por muros y losas, diseñados para contener líquidos, el diseño dependerá del volumen de líquido.

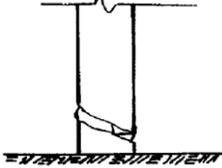
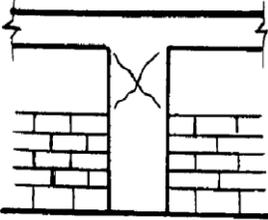
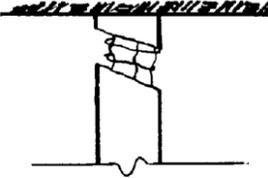
2.2.3.4.3. Tanques elevados

Sistema formado por muros y losas se usan para contener líquidos, están sostenidos por muros o marcos rígidos.

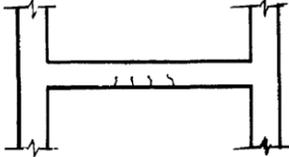
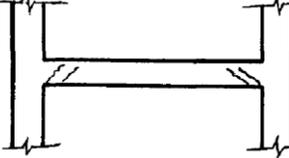
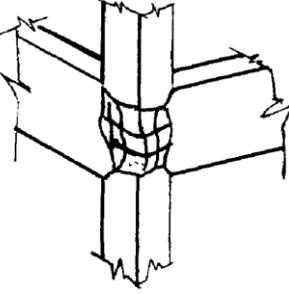
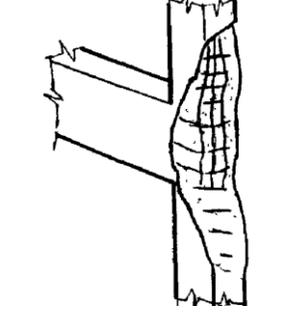
2.2.3.5. Tipos de fallas

En la actualidad no existe ningún método para determinar como puede llegar a sufrir una estructura algún tipo de falla, pero se ha podido analizar algunas fallas que por medio de distintos sucesos como terremotos, sismos, explosiones volcánicas, entre otros, cual ha sido la causa de algunas fallas en estructuras de concreto reforzado.

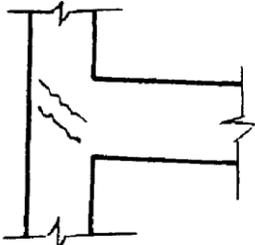
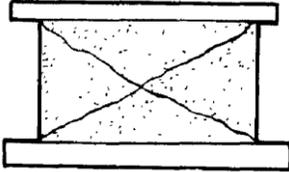
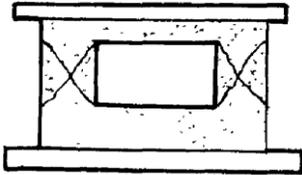
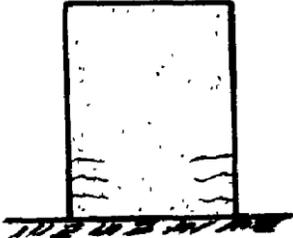
Tabla III. **Fallas en edificaciones de concreto**

Elemento	Descripción de falla	Esquema
Columnas	Grietas aproximadamente a 45° en los extremos de las columnas, puede o no haber desprendimiento del concreto y exposición del esfuerzo (falla por cortante).	
Columnas	Grietas a 45° formando una X en la parte de la columna que no esta restringida por muros laterales (falla en columnas cortas). Presentando concentraciones de esfuerzos.	
Columnas	Fractura y desprendimiento del concreto, exposición y deformación del refuerzo en los extremos de la columna (falla por flexocompresión o torsión).	
Vigas	Fisuras perpendiculares al eje de la viga, en la parte superior de los extremos de la misma (falla por momento negativo en los extremos de las vigas).	

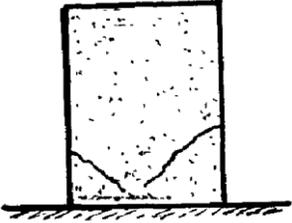
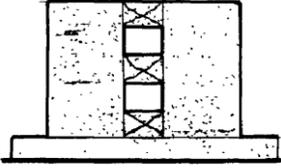
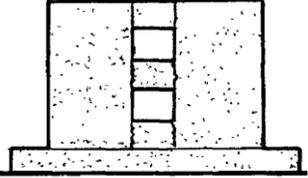
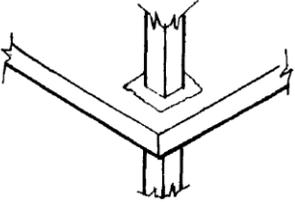
Continuación de la tabla III.

Elemento	Descripción de falla	Esquema
<p style="text-align: center;">Vigas</p>	<p>Fisuras perpendiculares al eje de la viga en la parte inferior del tercio medio del claro (falla por momento positivo).</p>	
<p style="text-align: center;">Vigas</p>	<p>Grietas inclinadas aproximadamente a 45° en los extremos de las vigas (falla por corte).</p>	
<p>Uniones en viga y columna</p>	<p>Desprendimiento del concreto, pandeo y exposición del refuerzo longitudinal de la columna (falla por compresión por falta de confinamiento).</p>	
<p>Uniones en viga y columna</p>	<p>Desprendimiento del concreto, pandeo y exposición de refuerzo de la unión (falla por momento lector).</p>	

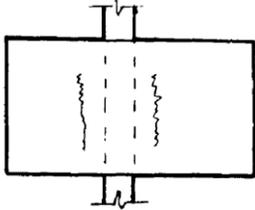
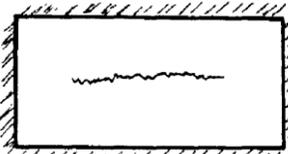
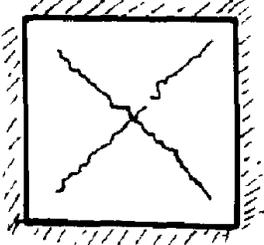
Continuación de la tabla III.

Elemento	Descripción de falla	Esquema
Uniones de viga y columna	Grieta a 45° en la unión (falla por corte).	
Muros de corte	Grieta a 45° formando una X (falla por corte).	
Muros con aberturas	Grietas a 45° formando una X en las partes del muro que rodean la abertura (falla por corte en muros con aberturas).	
Muros de corte y muros de corte acoplados	Grietas casi horizontales en los extremos de la base del muro (falla por flexión).	

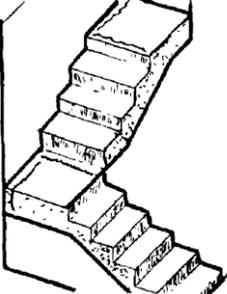
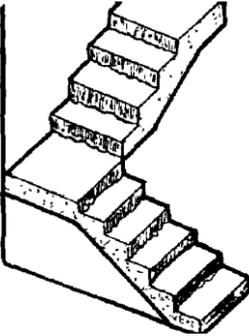
Continuación de la tabla III.

Elemento	Descripción de falla	Esquema
<p>Muros de corte y muros de corte acoplados</p>	<p>Grieta aproximadamente a 45° en los extremos de la base del muro (falla por cortante).</p>	
<p>Muros de corte acoplados</p>	<p>Grietas a 45° formando una X en las vigas que unen las dos porciones de muro (Falla por tensión diagonal en vigas de acoplamiento).</p>	
<p>Muros de corte acoplados</p>	<p>Grietas verticales en los extremos de la viga de acople (falla por cortante deslizante).</p>	
<p>Losas</p>	<p>Grieta alrededor de la columna siguiendo la geometría de esta (falla por punzonamiento en losas sin vigas).</p>	

Continuación de la tabla III.

Elemento	Descripción de falla	Esquema
<p>Losas</p>	<p>Fisuras en la parte superior cerca del apoyo y paralelas a este (falla por momento negativo en losas continuas).</p>	 <p>The diagram shows a rectangular slab supported by two vertical columns. Vertical dashed lines with wavy patterns represent cracks in the top surface of the slab, occurring near the supports.</p>
<p>Losas</p>	<p>Grietas longitudinales al centro, en la cara inferior de la losa (falla por flexión en losas en un sentido).</p>	 <p>The diagram shows a rectangular slab resting on a hatched base. A horizontal wavy line in the center of the bottom surface represents a longitudinal crack.</p>
<p>Losas</p>	<p>Grietas en la cara inferior a 45° formando una X (falla por flexión en losa cuadrada apoyando en los cuatro bordes).</p>	 <p>The diagram shows a square slab resting on a hatched base. Two diagonal wavy lines intersect at the center, forming an 'X' shape, representing cracks on the bottom surface.</p>
<p>Losas</p>	<p>Grietas a 45° unidas por una grieta longitudinal, en la cara inferior (falla por flexión en losa rectangular apoyada en los cuatro bordes).</p>	 <p>The diagram shows a rectangular slab resting on a hatched base. Two diagonal wavy lines meet at the center, and a horizontal wavy line connects them, representing a combination of diagonal and longitudinal cracks on the bottom surface.</p>

Continuación de la tabla III.

Elemento	Descripción de falla	Esquema
<p style="text-align: center;">Gradas</p>	<p>Si presentan alguna falla o si existe grietas entre las escaleras y los elementos de apoyo deben considerarlas peligrosas (falla en apoyos).</p>	
<p style="text-align: center;">Gradas</p>	<p>Grietas longitudinales entre la huella y contrahuella de las gradas, próximas a los descansos (fallas en escalones).</p>	

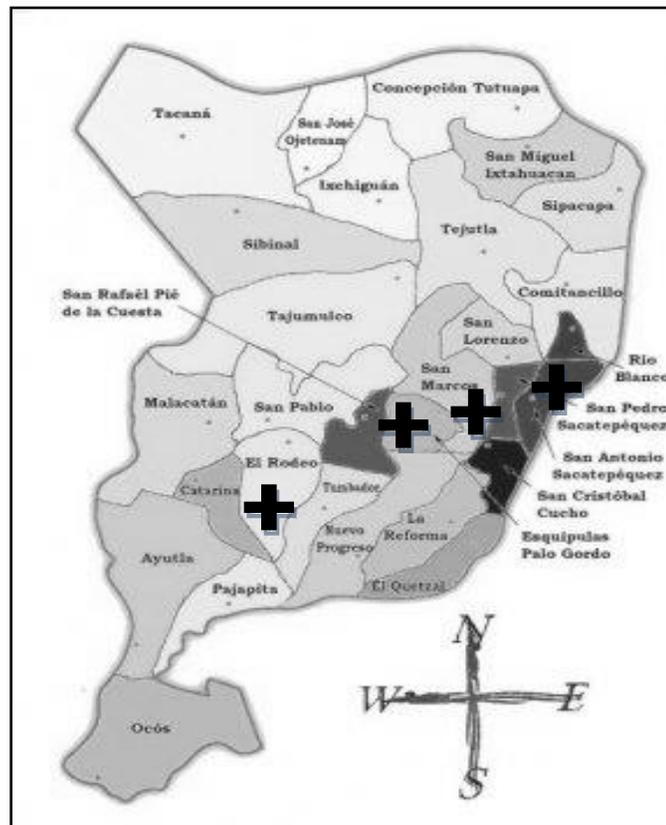
Fuente: WINTER, Julio. *Proyecto de estructuras de hormigón*. p. 22.

3. DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES

3.1. Mapa de ubicación de municipios investigados

Los municipios localizados tienen alto grado de daños en sus estructuras y se ubican en el siguiente mapa:

Figura 10. Municipios de San Marcos



Fuente: *Mapa de San Marcos*. www.html//:mapasdeguatemala. Consulta: 6 de mayo 2014.

⊕ = Indica municipios investigados

3.2. Trabajo de campo

En el departamento de San Marcos, los establecimientos educativos públicos representan un porcentaje mayor en daños sufridos después del sismo, tomando como base de investigación estas edificaciones.

3.2.1. Investigación de edificaciones dañadas

Las edificaciones más dañadas en los siguientes municipios son las escuelas públicas, estas contemplan un período de funcionamiento de 35 a 50 años desde de su construcción.

3.2.1.1. Municipio de San Marcos

Los establecimientos educativos: Escuela Oficial de Párvulos No.2 Georgina Rodas de Escobar, Escuela Oficial Urbana de Niñas No. 2 Isabel Barrios y Barrios y Escuela Oficiala Urbana Mixta Carlos Castillo Armas. Las edificaciones: el Salón Quetzal Marquense, Comisaría 42 de San Marcos, Edificio de Gobernación de San Marcos son algunas edificaciones afectadas por el sismo. También se observó viviendas en cantón San Nicolás con daños severos en su diseño.

3.2.1.2. Municipio de San José El Rodeo

En este municipio se encuentra uno de los establecimientos más alejados del municipio, ubicado en la boca costa del departamento, la Escuela Primaria Oficial Rural Mixta caserío La Grandeza.

3.2.1.3. Municipio de San Antonio Sacatepéquez

En el municipio se encuentra la Escuela Preprimaria Oficial de Párvulos y la Escuela Primaria Oficial Urbana Mixta 15 de Septiembre, siendo la edificación más afectadas por el sismo del municipio con casi 50 años de funcionamiento, pudiendo haberse clasificado antes del sismo un patrimonio nacional.

3.2.1.4. Municipio de Esquipulas Palo Gordo

En el municipio se encuentra la Escuela Primaria Oficial Rural Mixta cantón Primavera y la Escuela Primaria Oficial Rural Mixta Kirsten Walter tienen sus edificaciones dañadas.

3.3. Ubicación de edificaciones dañadas

Estas edificaciones se encuentran en zonas donde el sismo provocó daños estructurales, siendo áreas son de fácil acceso.

Tabla IV. Edificaciones dañadas

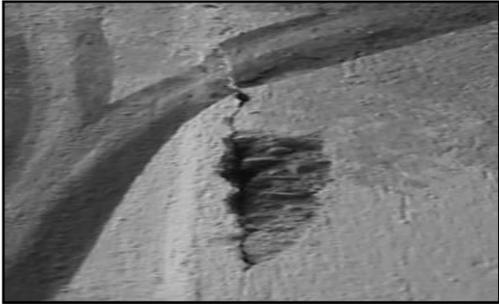
Número de edificación	Nombre de la edificación	Ubicación de la edificación
Municipio de San Marcos		
ED-1	Escuela Oficial de Párvulos No.2 Georgina Rodas de Escobar	Ave. El Reformador zona 5
ED-2	Escuela Oficial Urbana de Niñas No. 2 Isabel Barrios y Barrios	5ta. calle 9-38 zona 4
ED-3	Escuela Oficial Urbana Mixta Carlos Castillo Armas	Cantón San Francisco, zona 5
ED-4	Salón Quetzal Marquense	8va. calle 8-01 zona 2
ED-5	Comisaría 42 de San Marcos	9na. calle 8-66 zona 1
ED-6	Edificio de Gobernación Departamental de San Marcos	8va. avenida 9-25 zona 1
Viviendas		
ED-7	vivienda 1	Cantón San Nicolás, zona 4
	vivienda 2	Cantón San Nicolás, zona 4
Municipio de San José El Rodeo		
ED-8	Escuela Primaria Oficial Rural Mixta Caserío la Grandeza	Caserío La Grandeza, aldea San Francisco
Municipio de San Antonio Sacatepéquez		
ED-9	Escuela Preprimaria Oficial de Párvulos	2da. calle 3-88 zona 1
ED-10	Escuela Primaria Oficial Urbana Mixta 15 de Septiembre	2da. calle 3-88 zona 1
Municipio de Esquipulas Palo Gordo		
ED-11	Escuela Primaria Oficial Rural Mixta Cantón Primavera	Cantón Primavera, Aldea Tanil
ED-12	Escuela Primaria Oficial Rural Mixta Kirsten Walter	Aldea Tanil

Fuente: elaboración propia.

3.4. Formas de fallas

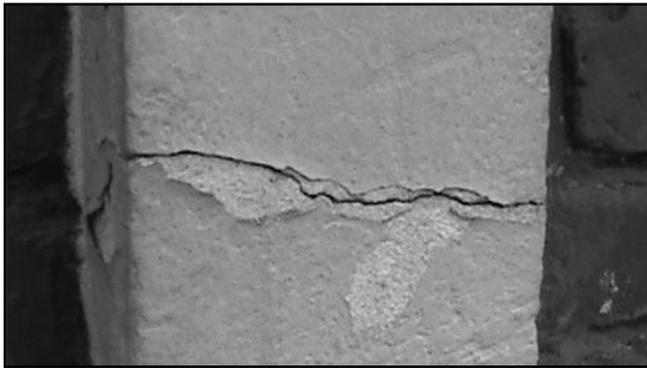
- Municipio de San Marcos:

Tabla V. **Fallas en edificación 1**

ED-1	
Número falla	Forma de falla
F-1.1	
F-1.2	
F-1.3	

Fuente: municipio de San Marcos.

Tabla VI. **Fallas en edificación 2**

ED-2	
Número falla	Forma de falla
F-2.1	
F-2.2	
F-2.3	

Fuente: municipio de San Marcos.

Tabla VII. **Fallas en edificación 3**

ED-3	
Número falla	Forma de falla
F-3.1	 <p>A black and white photograph showing a vertical crack in a light-colored wall. To the left is a window with a metal grille. To the right is a dark door or panel with a sign that reads "5to. 'E'".</p>
F-3.2	 <p>A black and white photograph of a concrete wall with several horizontal and vertical cracks. The wall appears to be part of a larger structure with some architectural details.</p>
F-3.3	 <p>A black and white photograph showing a corner of a wall where it meets a ceiling. A prominent crack runs along the corner joint. The ceiling has a ribbed or corrugated appearance.</p>

Fuente: municipio de San Marcos.

Tabla VIII. **Falla en edificación 4**

ED-4	
Número falla	Forma de falla
F-4.1	

Fuente: municipio de San Marcos.

Tabla IX. **Falla en edificación 5**

ED-5	
Número falla	Forma de falla
F-5.1	

Fuente: municipio de San Marcos.

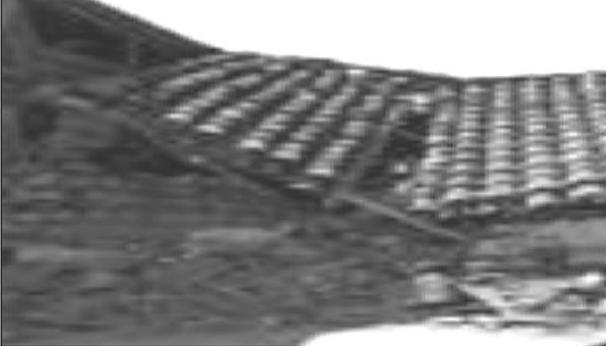
Tabla X. **Falla en edificación 6**

ED-6	
Número falla	Forma de falla
F-6.1	

Fuente: municipio de San Marcos.

- Viviendas

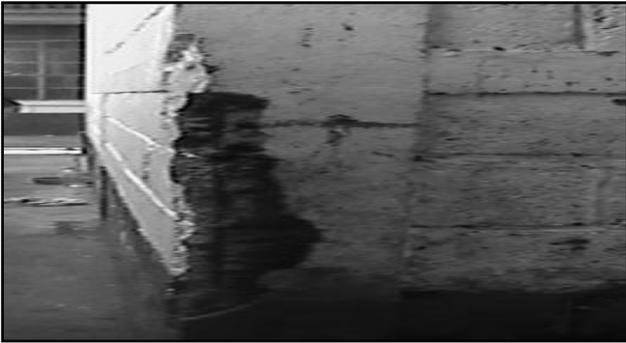
Tabla XI. **Fallas en edificación 7**

ED-7	
Número falla	Forma de Falla
F-7.1	
F-7.2	

Fuente: municipio de San Marcos.

- Municipio de San José El Rodeo

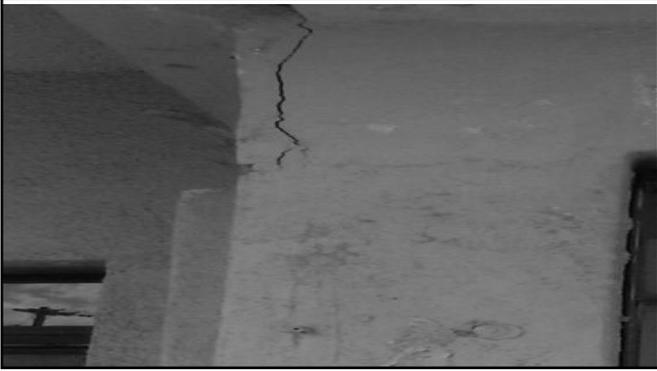
Tabla XII. **Fallas en edificación 8**

ED-8	
Número falla	Forma de falla
F-8.1	
F-8.2	
F-8.3	

Fuente: municipio de San José El Rodeo.

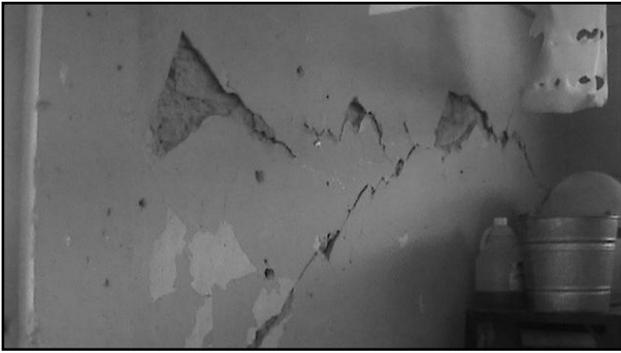
- Municipio de San Antonio Sacatepéquez

Tabla XIII. **Fallas en edificación 9**

ED-9	
Número falla	Forma de falla
F-9.1	 A black and white photograph showing a vertical crack in a light-colored wall. The crack runs from the top towards the bottom, with some horizontal lines visible in the background, possibly from a window or door frame.
F-9.2	 A black and white photograph showing a vertical crack in a wall. The crack is irregular and jagged, extending from the top of the frame down towards the bottom. The wall surface appears slightly textured.
F-9.3	 A black and white photograph showing a horizontal crack in a wall, likely near a window or door sill. The crack is jagged and runs across the width of the frame. There is some dark material or debris visible above the crack.

Fuente: municipio de San Antonio Sacatepéquez.

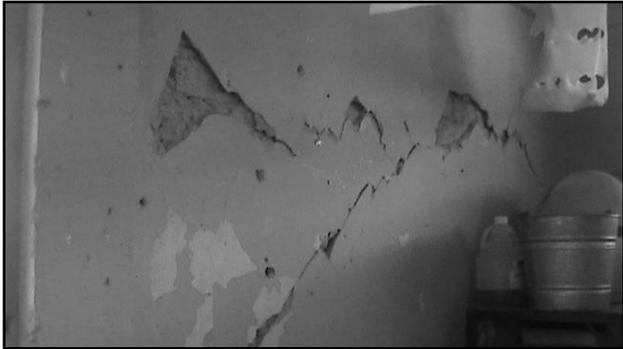
Tabla XIV. **Fallas en edificación 10**

ED-10	
Número falla	Forma de falla
F-10.1	
F-10.2	
F-10.3	

Fuente: municipio de San Antonio Sacatepéquez.

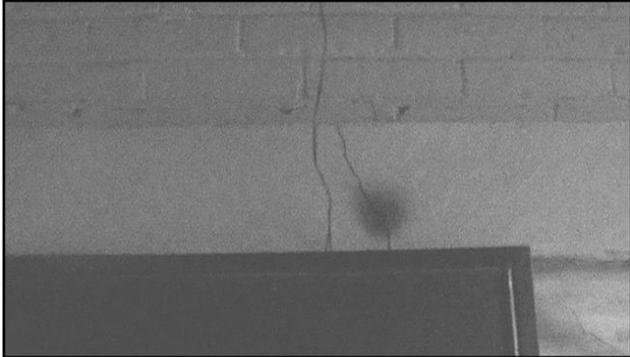
- Municipio de Esquipulas Palo Gordo

Tabla XV. **Fallas en edificación 11**

ED-10	
Número falla	Forma de falla
F-10.1	 A black and white photograph showing a horizontal crack in a light-colored wall. The crack is irregular and runs across the middle of the frame. To the right, a window with horizontal bars is partially visible.
F-10.2	 A black and white photograph of a wall with significant peeling and chipping of the surface material. The damage is concentrated in the upper and middle sections, revealing a darker substrate underneath. A white electrical outlet is visible on the right side of the wall.
F-10.3	 A black and white photograph of a brick wall. A vertical crack is visible, running through the mortar joints between the bricks. The bricks are dark, and the mortar is lighter.

Fuente: municipio de Esquipulas Palo Gordo.

Tabla XVI. **Fallas en edificación 12**

ED-12	
Número falla	Forma de falla
F-12.1	 A black and white photograph showing a corner of a building. A prominent vertical crack runs down the wall, and a horizontal crack is visible near the top corner where the wall meets the ceiling or roof structure.
F-12.2	 A black and white photograph of a wall with horizontal masonry courses. A large, dark, irregular water stain is visible, spreading across several courses and partially obscuring the wall's texture.
F-12.3	 A black and white photograph of a wall with horizontal masonry courses. A single, thin, vertical crack runs down the center of the wall, extending from the top edge towards the bottom.

Fuente: municipio de Esquipulas Palo Gordo.

3.5. Ubicación de fallas

Descripción de la ubicación de falla según su forma y tipo de edificación.

Tabla XVII. **Ubicación de fallas**

Edificación	Falla	Ubicación
ED-1	F-1.1	Columna exterior de dirección a 2/3 de altura.
ED-1	F-1.2	Con base inferior del muro perimetral posterior.
ED-1	F-1.3	En esquina superior del muro interior de dirección.

Edificación	Falla	Ubicación
ED-2	F-2.1	En la base de una columna secundaria.
ED-2	F-2.2	A 1/2 de la altura de una columna secundaria.
ED-2	F-2.3	Parte superior de una columna principal.

Edificación	Falla	Ubicación
ED-3	F-3.1	Entre vano de puerta y ventana de un salón.
ED-3	F-3.2	En muro de división de salones.
ED-3	F-3.3	En esquina superior al ingreso de la cocina.

Edificación	Falla	Ubicación
ED-4	F-4.1	En la parte superior de la fachada principal.
ED-5	F-5.1	En la parte superior e inferior de una ventana en fachada principal.
ED-6	F-6.1	En la parte inferior de la losa en fachada principal.

Edificación	Falla	Ubicación
ED-7	F-7.1	En los cuatro muros de la vivienda.
ED-7	F-7.2	En el muro de la facha principal de vivienda.

Continuación de la tabla XVII.

Edificación	Falla	Ubicación
ED-8	F-8.1	En columna principal en fachada posterior.
ED-8	F-8.2	En columna y muro de parte superior de división de salones.
ED-8	F-8.3	En esquina de salón.

Edificación	Falla	Ubicación
ED-9	F-9.1	En fachada principal de lavandería.
ED-9	F-9.2	En parte superior de columna principal de salón con losa.
ED-9	F-9.3	En sillar de ventana de fachada principal.

Edificación	Falla	Ubicación
ED-10	F-10.1	En parte superior de columna principal.
ED-10	F-10.2	En parte interior de fachada posterior de salón.
ED-10	F-10.3	En muro de salón con viga de pasillo.

Edificación	Falla	Ubicación
ED-11	F-11.1	En sillar de ventana con columna de ingreso al salón.
ED-11	F-11.2	En comuna secundaria entre dos ventanas.
ED-11	F-11.3	En unión de viga con columna secundaria.

Edificación	Falla	Ubicación
ED-12	F-12.1	En unión de viga sobre dintel de puerta.
ED-12	F-12.2	En esquina interior de salón.
ED-12	F-12.3	A 1/2 luz de viga sobre dintel de puerta.

Fuente: elaboración propia.

4. PROPUESTA DE REPARACIÓN PARA LAS EDIFICACIONES

4.1. Datos de la investigación

Los siguientes datos se basan en tipo construcción, tipo de falla y ubicación de la edificación.

4.1.1. Clasificación de edificaciones

Basado en las Normas de Seguridad Estructural (Agies-Guatemala) las edificaciones se clasifican dependiendo de su uso (ver tabla II en anexos). Clasificación según Agies:

Tabla XVIII. **Clasificación de edificaciones**

Edificación	Clasificación de categoría
ED-1	III
ED-2	III
ED-3	III
ED-4	I
ED-5	IV
ED-6	IV
ED-7	II
ED-8	III
ED-9	III
ED-10	III
ED-11	III
ED-12	III

Fuente: elaboración propia.

- clasificación de edificaciones según su construcción:

Tabla XIX. **Construcción de edificaciones**

Edificación	Clasificación según su construcción
ED-1	Estructuras de mampostería
ED-2	Estructuras de mampostería
ED-3	Estructuras de mampostería
ED-4	Estructura de adobe
ED-5	Estructura de adobe
ED-6	Estructura de concreto reforzado
ED-7	Estructura de adobe
ED-8	Estructura de mampostería
ED-9	Estructura de mampostería
ED-10	Estructura de mampostería
ED-11	Estructura de mampostería
ED-12	Estructura de mampostería

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Clasificación de fallas

En la descripción de la falla se analiza como pudo surgir la falla durante el sismo, tomando en cuenta la ubicación y tipo de construcción.

Tabla XX. Descripción de fallas

Edificación	Falla	Descripción de tipo de falla
ED-1	F-1.1	Desprendimiento de concreto, producto de un momento flector durante el sismo.
ED-1	F-1.2	Separación de bloques por las cizas, producto de asentamiento.
ED-1	F-1.3	Grieta directamente en la esquina de la pared, falla por tensión.

Edificación	Falla	Descripción de tipo de falla
ED-2	F-2.1	Desprendimiento de concreto en su base y exposición del refuerzo, falla por flexocompresión.
ED-2	F-2.2	Grieta aproximadamente a 45 grados donde no hubo desprendimiento de concreto, falla por corte.
ED-2	F-2.3	Grieta a 45 grados falla por corte y por desprendimiento de concreto falla a compresión.

Edificación	Falla	Descripción de tipo de falla
ED-3	F-3.1	Grieta en X ocasionado por fuerzas laterales en el plano del muro.
ED-3	F-3.2	Falla en muro sin refuerzo, ocasionado por fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro.
ED-3	F-3.3	Separación de unión de viga falla por corte.

Edificación	Falla	Descripción de tipo de falla
ED-4	F-4.1	Falla en muros sin refuerzo, ocasionado por fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro.
ED-5	F-5.1	Grietas horizontales ocasionadas por fuerzas laterales en el plano del muro.
ED-6	F-6.1	Grietas horizontales en la base del muro, falla por flexión.

Edificación	Falla	Descripción de tipo de falla
ED-7	F-7.1	Muros que no resisten cargas y con techo de teja demasiado pesado, falla por flexión.
ED-7	F-7.2	Desprendimiento del adobe y grietas falla por corte.

Continuación de la tabla XX.

Edificación	Falla	Descripción de tipo de falla
ED-8	F-8.1	Desprendimiento de concreto, producto de un momento flector durante el sismo.
ED-8	F-8.2	Desprendimiento de concreto y exposición del refuerzo, falla por flexocompresión.
ED-8	F-8.3	Desprendimiento de la unión del muro falla por cortante deslizante.

Edificación	Falla	Descripción de tipo de falla
ED-9	F-9.1	Desprendimiento de la unión del muro falla por cortante deslizante.
ED-9	F-9.2	Desprendimiento de concreto, falla a compresión.
ED-9	F-9.3	Sillar de ventana agrietada en unión de columna, falla a flexión con desprendimiento de concreto.

Edificación	Falla	Descripción de tipo de falla
ED-10	F-10.1	Grieta en la parte superior de la unión de la columna falla por corte horizontal.
ED-10	F-10.2	Agrietamiento de muro en forma de X, falla por corte.
ED-10	F-10.3	Desprendimiento de viga y muro por no tener columna, por fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro.

Edificación	Falla	Descripción de tipo de falla
ED-11	F-11.1	Grieta a 45 grados en muro de sillar, falla por corte, producto de la inestabilidad del suelo.
ED-11	F-11.2	Grieta vertical en los extremos y desprendimiento de concreto, falla por cortante.
ED-11	F-11.3	Grietas inclinadas en la unión de los extremos de la viga, falla por corte.

Edificación	Falla	Descripción de tipo de falla
ED-12	F-12.1	Fisuras perpendiculares al eje de la viga, en parte superior del extremo, falla por momento negativo.
ED-12	F-12.2	Falla en muro sin refuerzo, ocasionado por fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro.
ED-12	F-12.3	Fisuras perpendiculares al centro de la viga, falla por momento positivo.

Fuente: elaboración propia.

4.2. Formas de reparación de fallas

Existen varios métodos para reparar una edificación, en este estudio se detallan algunas y la forma de utilizarlas. La reparación de fisuras y grietas será realizada de acuerdo con la magnitud de la fisura o grieta de la siguiente manera:

4.2.1. Tratamiento superficial

Para sellar las superficies de concreto y el tratamiento de fisuras finas no progresivas. Las fisuras finas muertas, se pueden reparar aplicando mortero de cemento portland o concreto modificado con sustancias químicas (epóxicas) de alta resistencia como Sikatop 111-3; mortero de alta resistencia y buena adherencia. Estas técnicas no son adecuadas para efectuar reparaciones en caso de fisuración progresiva.

Procedimiento de reparación

- Limpieza de la superficie

La superficie se debe limpiar retirando cemento suelto, material fino de los agregados y otros contaminantes, luego se lava y se deja secar la superficie.

- Aplicar mortero con adherente

El proceso de mezcla con una proporción de 1:2, colocación y acabado debe realizarse rápidamente, evitando el endurecimiento del mortero o concreto modificado.

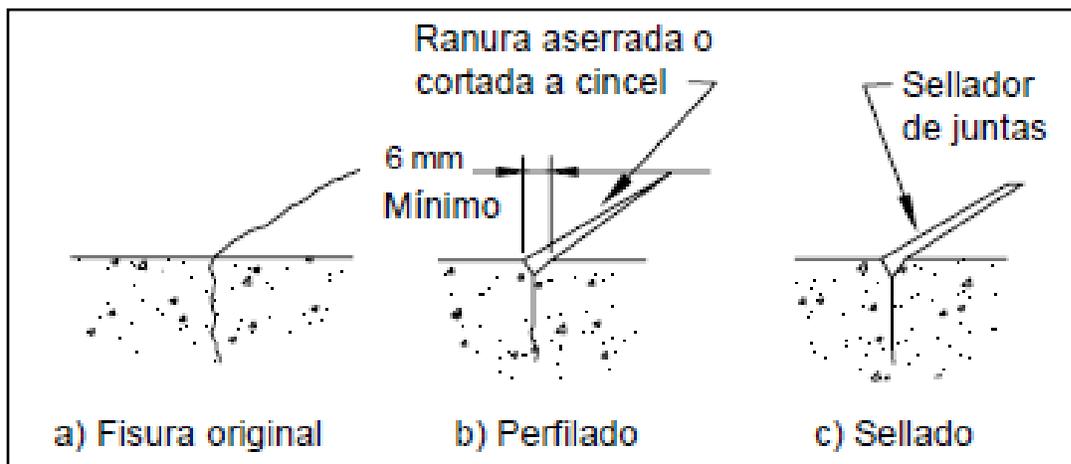
- Tiempo de curado

Realizar curado húmedo durante 24 horas, basado en humedecimiento del mortero para que mantenga una temperatura adecuada.

4.2.2. Perfilado y sellado

Este método consiste en agrandar la fisura, para llenarla y sellarla con un material adecuado de tipo sellador como BAST NP1 de alta resistencia. Se usa para tratar tanto fisuras finas de patrón irregular, como fisuras aisladas de mayor tamaño. Los selladores pueden ser de diferentes materiales, incluyendo resinas epoxi, siliconas, materiales asfálticos o morteros.

Figura 11. Reparación de fisura mediante perfilado y sellado



Fuente: ACI 224.1R-93.

Procedimiento de reparación

- Abertura de la fisura o grieta

Sobre la fisura, se abre una ranura de profundidad entre 6 mm y 2,5cm (dependiendo de la fisura). Pueden emplearse herramientas manuales, o una sierra para concreto.

- Limpieza de la superficie

Se limpia muy bien la ranura, con chorros a presión de aire, agua o arena. Se deja secar.

- Llenado de fisura o grieta

Se llena la ranura con sellador, se engrasa y se deja secar.

4.2.3. Colocación de mortero como mezcla seca (o concreto expansivo)

Consiste en la colocación y apisonado de mortero, constituido una proporción de 1:3 para lograr una mezcla que permita formar una bola con la mano, esto permitirá que el aditivo pueda pegar concreto nuevo con concreto viejo.

Procedimiento de reparación

- Abertura de la fisura o grieta

Se debe ensanchar la superficie a reparar, haciendo una ranura de 0,5 cm de espesor y de 2,5cm de profundidad.

- Limpieza de la superficie

Limpiar todo tipo de material para luego lavar el área de la abertura y se deja secar la ranura.

- Primera aplicación de aditivo adherente

Después de la limpieza de la superficie se coloca primero el aditivo adherente que pueden ser compuesto a base de látex.

- Colocación de mortero

Inmediatamente luego de colocar el aditivo adherente, se coloca el mortero con una proporción de 1:3.

- Seguir con el procedimiento 2 y 3 hasta sellar la fisura o grieta

El mortero se debe colocar en aproximadamente 10mm de espesor. Cada vez que se coloque mortero debe ser aplicado y rayado para facilitar la adherencia de la superficie anterior.

- Acabado de la superficie

Realizar el acabado, puede hacerse con una esponja de manera que quede uniforme la superficie resanada con el acabado actual.

- Tiempo de curado

Realizar curado con agua durante 24 horas para mantener la temperatura adecuada que permita obtener una mejor adherencia de la mezcla.

4.2.4. Inyección de resina epoxi

Con este método es posible adherir micro fisuras (de 0,05 milímetros de espesor, o menos). La técnica generalmente consiste en:

Procedimiento de reparación

- Limpieza de la superficie

Limpiar las fisuras: remover aceites, grasas, polvo y partículas finas del concreto, para lograr mejor penetración y adherencia de la resina. Preferiblemente debe realizarse aspirando o lavando y secando la fisura.

- Sellar las superficies

Si se pueden ver ambas caras de la fisura, debe sellarse una de ellas, para evitar que la resina se vaya a salir antes de tomar su consistencia de gel.

- Instalar bocas de entrada y ventilación

A través de accesorios que permiten el ingreso del adhesivo adecuadamente y pueda ingresar con facilidad.

- Mezclar la resina epoxi

Empleando una paleta, seguir las instrucciones del fabricante; cuidando de mezclar solo la cantidad de resina que se pueda utilizar antes de que comience a gelificarse.

- Inyectar la resina epoxi

Utilizando bombas hidráulicas, tanques de presión o pistolas neumáticas, debe hacerse cuidadosamente.

- Retirar el sellado superficial

Una vez que se ha secado la resina inyectada, se retira por trituración u otros medios.

Reparación de fallas

Tabla XXI. **Reparaciones de fallas**

Edificación	Falla	Método recomendado
ED-1	F-1.1	Tratamiento superficial.
ED-1	F-1.2	Demolición por falta de refuerzo y levantado de muro.
ED-1	F-1.3	Demolición de esquina afectada y levantado de muro.

Edificación	Falla	Método recomendado
ED-2	F-2.1	Tratamiento superficial.
ED-2	F-2.2	Perfilado y sellado.
ED-2	F-2.3	Tratamiento superficial.

Edificación	Falla	Método recomendado
ED-3	F-3.1	Demolición completa del área afectada y construcción con dintel de puerta.
ED-3	F-3.2	Tratamiento superficial, no presenta mayor riesgo.
ED-3	F-3.3	Inyección de resinas epoxi.

Edificación	Falla	Método recomendado
ED-4	F-4.1	Demoler parte de fachada y reconstruirla.
ED-5	F-5.1	Demoler y extracción de ripio para una nueva construcción completa de la fachada.
ED-6	F-6.1	Perfilado y sellado.

Edificación	Falla	Método recomendado
ED-7	F-7.1	Demolición y extracción de ripido para una construcción completa.
ED-7	F-7.2	Demolición de fachada y construcción desde la base.

Continuación de la tabla XXI.

Edificación	Falla	Método recomendado
ED-8	F-8.1	Tratamiento superficial.
ED-8	F-8.2	Demolición del área afectada y colocación de mortero como mezcla seca (o concreto expansivo).
ED-8	F-8.3	Inyección de resina epoxi.

Edificación	Falla	Método recomendado
ED-9	F-9.1	Inyección de resina epoxi.
ED-9	F-9.2	Demolición de área afectada y tratamiento superficial.
ED-9	F-9.3	Demolición de área afectada y tratamiento superficial.

Edificación	Falla	Método recomendado
ED-10	F-10.1	Perfilado y sellado.
ED-10	F-10.2	Demolición del acabado y tratamiento superficial.
ED-10	F-10.3	Demolición vertical del área debajo de la viga y construcción de columna para colocar al final concreto expansivo para que la columna cumpla su función.

Edificación	Falla	Método recomendado
ED-11	F-11.1	Inyección de resinas epoxi.
ED-11	F-11.2	Inyección de resinas epoxi y por último tratamiento superficial.
ED-11	F-11.3	Perfilado y sellado.

Edificación	Falla	Método recomendado
ED-12	F-12.1	Inyección de resinas epoxi.
ED-12	F-12.2	Tratamiento superficial.
ED-12	F-12.3	Perfilado y sellado.

Fuente: elaboración propia.

5. RESULTADOS ESPERADOS

5.1. Comprobación de fallas teóricas y fallas reales

Basados en las fallas ocurridas en las edificaciones, las siguientes fallas fueron las más comunes según daños sufridos:

Tabla XXII. Número de veces que ocurrió la falla

Tipo de falla	Número de veces evaluada
Falla a compresión	2
Falla por tensión	1
Falla por corte	10
Falla por flexión	3
Falla por flexocompresión	2
Falla por momento flector	2
Falla por fuerzas laterales al plano del muro	2
Fallas horizontales perpendiculares al plano del muro	4
Falla por momento negativo	1
Falla por momento positivo	1
Falla producto de asentamiento diferencial	1

Fuente: elaboración propia.

La tabla refleja lo que se esperaba, siendo la falla mas común la falla por corte ocasionada por el poco refuerzo estructural, que presentan las edificaciones que en algunos casos la estructura sometida a mayor peso del que soporta.

5.2. Mejoramiento de condiciones de las edificaciones dañadas

Tomar como referencia algunos parámetros de construcción garantiza no solo la seguridad estructural, también un diseño constructivo que establezca la vida útil de la edificación.

5.2.1. Estructuras de adobe

Lo recomendable para mejorar edificaciones de adobe es mejorar sus techos, estos son demasiado pesados para estructuras que no están diseñadas para soportar techos de duralita o teja, estas por su material son muy pesados, siendo el principal motivo que las edificaciones de adobe representen un grave peligro estructural. Pero si es necesario optar por reemplazar el techo actual y construir uno más liviano como por ejemplo un techo de lámina que presenta un peso más liviano.

Figura 12. **Vivienda de adobe con techo de lámina**



Fuente: cantón Primavera, aldea Tanil, San Marcos.

Es necesario lograr que la mezcla que se fabrique para unir los bloques de adobes sea de buena consistencia como por ejemplo buenos materiales y una proporción adecuada de los mismos, esto logrará que los bloques queden de manera homogénea durante un movimiento sísmico, siendo este el segundo problema por el cual las edificaciones de adobe no son muy seguras, producto de que en algunas ocasiones no presentan morteros. Pero si es posible fomentar que con un poco de más inversión se puede construir una vivienda segura para los habitantes de escasos recursos.

Figura 13. **Construcción de adobe**



Fuente: cantón Primavera, aldea Tanil, San Marcos.

Para mejorar una mejor estabilidad en muros de adobe, pueden utilizarse.

- Tabiques: fabricados de forma prismática, de arcillas comprimida o extruidas mediante proceso de cocción. Las dimensiones nominales deben ser de 5x10x19cm; la junta de albañilería no esta tomada en cuenta.
- Bloques: pueden ser macizos o huecos. Sus dimensiones mínimas deben ser 10x10x30cm; el grosor de la pared debe tener un mínimo de 2,5 cm.
- Tabicón: fabricado de concreto y otros materiales. Sus dimensiones deben ser de 6x10x24cm. Incluye la junta de albañilería.

5.2.2. Estructuras de mampostería

- Mampostería sin refuerzo
Para lograr su mejoramiento es recomendable que por lo menos este pineado en sus esquinas con hierro de diámetro de 3/8 plg. y que su mortero de proporción 1:2 presente una buena consistencia para lograr una mejor adherencia entre los blocs.

Figura 14. **Construcción de mampostería sin refuerzo**



Fuente: aldea La Grandeza, El Rodeo, San Marcos.

- **Mampostería reforzada**

En mamposterías reforzadas en edificaciones de un nivel es recomendable que la construcción sea evaluada por un ingeniero, pero según el Código ACI-318-08 se puede tomar como mínimo los siguientes lineamientos para la construcción:

 - **Zapatas**

Se puede contemplar un área de 6 400 cm² (dimensión de 80x80 cm) para columnas de hasta 900 cm² (dimensión de 30x30cm) y un espesor de 20cm. Con un refuerzo de ϕ 3/8" en ambos sentido, con una profundidad mínima de 1,20 m.

- Columnas
Se puede contemplar con un área de 400cm² (dimensión de 20x20cm) para columnas no sísmicas y para columnas sísmicas un área de 900cm² (dimensiones de 30x30cm). Con refuerzo como mínimo 4 hierros longitudinales de $\phi 3/8"$ y estribos $\emptyset 1/4"$ a 20cm de separación, para columnas cuadradas y para columnas circulares como mínimo 6 hierros longitudinales de $\emptyset 3/8"$ y zunchos a 20cm de separación.
- Vigas
Puede establecerse de 8-10 por ciento de la luz libre para el peralte de la viga y estableciendo la base como la mitad del peralte, en ocasiones suele darse 1/3 del peralte, para vigas principales; para vigas secundarias como mínimo 6 por ciento de la luz libre para determinar su dimensión. Con un refuerzo como mínimo de $\emptyset 3/8"$ para hierro longitudinal y estribos de $\emptyset 1/4"$ a 15cm de separación.
- Losa
En losas es recomendable que el espesor como mínimo sea establecido con el perímetro dividido entre 180 ($t=P/180$ para losas en ambos sentidos), contemplando un refuerzo como mínimo de $\phi 3/8"$ tanto para el riel, tensión y bastón con una separación mínima de 25cm.

Figura 15. **Refuerzo en columna**



Fuente: San Marcos, San Marcos.

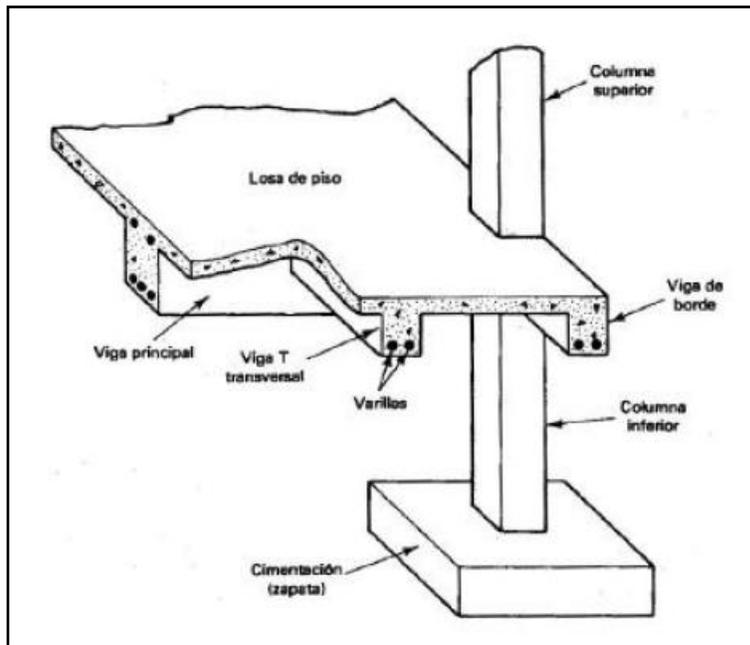
5.2.3. Estructuras de concreto reforzado

Las estructuras de concreto reforzado son edificaciones de más de dos niveles, estas edificaciones son diseñadas dependiendo del uso que estas presentarán, es recomendable que el mejoramiento de estas estructuras dependerá del ingeniero estructural que este a cargo tanto de su diseño como en el mejoramiento de la estructura, mencionándose dos métodos de análisis estructurales por sismo:

- Método del portal
Este método estructural puede utilizarse en edificaciones donde su estructura es más larga que alta.

- Método de voladizo
Este método estructural es usado en edificaciones que son más altas que largas.

Figura 16. **Sistema típico de marco estructural de concreto reforzado**



Fuente: COWAN, Henry. *Diseño de estructuras de concreto reforzado*. p. 36.

CONCLUSIONES

1. Puede mencionarse que no solo los movimientos sísmicos o volcánicos provocan fallas en estructuras, basados en los estudios de meteorización estos provocan fisuras leves que al paso del tiempo con movimientos externos provocan fallas estructurales.
2. Existen estudios que demuestran las características fisicomecánicas del adobe, pero en este trabajo no se menciona con exactitud como mejorar una construcción de adobe, es por eso que algunas de las fallas en su diagnóstico no existe propuesta de reparación
3. En la clasificación del tipo de fallas, se establece que la falla más común es la falla por corte, esto permite establecer que no están reforzadas con la cuantilla mínima de acero requerido para zonas sísmicas.
4. Existen criterios para hacer una reparación en una edificación dañada, por lo tanto se propone en cada falla una solución, con el objetivo de lograr obtener una mejor rigidez en la estructura, que permita darle una mejor estabilidad.
5. Es preferible que las edificaciones de adobe no sean reparadas ni reconstruidas, esto es por la mala construcción que presentan y tomando en cuenta que el departamento de San Marcos y el país en sí, se ubica en una zona sísmica, en la que se ha demostrado que actualmente estos fenómenos tienen un suceso de retorno de casi 50 años.

6. Existen fallas que se tomaron en cuenta solo para demostrar que en ocasiones no son reparables, debido a que estas no cumplirían con la finalidad de mejorar la funcionalidad de la edificación.

RECOMENDACIONES

1. Para las edificaciones de mampostería reforzada y concreto reforzado exista un estudio de suelo o un sondeo del área, en la que se garantice una mejor estabilidad que permita mejorar la funcionalidad de la edificación.
2. En algunos diagnósticos se comprobó que es recomendable el criterio de un ingeniero estructural, que permita dar una solución de acuerdo a la magnitud de la falla.
3. Es preferible que ciertas edificaciones importantes por su aglutinamiento de personas sean evaluadas conforme a su vida útil, para que se permita establecer si son seguras según recomendaciones de entidades como Conred.
4. Existen sistemas constructivos que fueron tomados como prototipos a partir del terremoto de 1976, que pueden servir como parámetros para mejorar muchas estructuras. Como por ejemplo se podría mencionar las corrugas en las barras de acero y otros criterios más que no pueden pasar desapercibidos.
5. Es preferible que ya no se piense en construcciones de adobe y que se pueda financiar una buena ayuda a personas de escasos recursos para poder invertir en una vivienda segura.

6. Las fallas estructurales teóricas que fueron investigadas son fallas que fueron analizadas en los tipos de movimientos sísmicos ocurridos en el país, pero es necesario determinar cual fue el principal motivo de falla estructural, tomando en cuenta que no siempre los fenómenos naturales ocasionan las fallas.

7. Es necesario que las edificaciones de mampostería reforzada utilicen los criterios mínimos de construcción que permita lograr una mejor rigidez en su estructura, por eso se mencionan criterios de construcción para zonas sísmicas, basadas en el Código ACI 308-08.

BIBLIOGRAFÍA

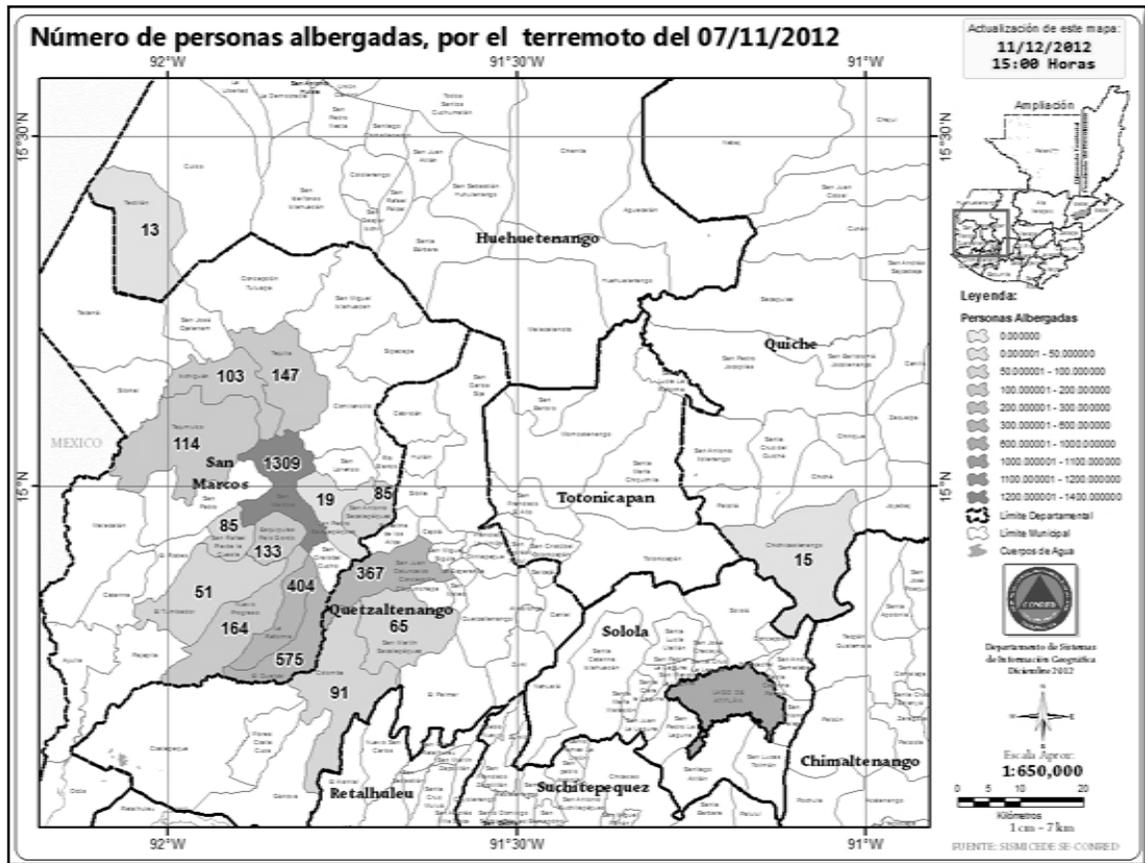
1. ACI. *Causas, evaluación y reparación en estructuras de hormigón*: ACI 224.1R-93, Detroit: ACI, 1993. 24 p.
2. _____. *Reinforced concrete structures in seismic zone: ACI 318-08*. Detroit: ACI, 2008. 485 p.
3. Applied Technology Council. *Procedures for post-earthquake safety evaluation of buildings*, ATC-20. USA: ATC, 1989. 152 p.
4. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica Guatemala. *Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala*. documento 3 NSE. Guatemala: AGIES, 2010. 28 p.
5. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres; Secretaria Ejecutiva. *Informe situación Terremoto 7.2*. Guatemala: CONRED, 2012. 22 p.
6. COWAN, Henry J. *Diseño de estructuras de concreto reforzado*. México: Cecsca, 1993. 377 p.
7. MALDONADO LUTOWSKI, Carlos. *Parámetros de diseño en muros de mampostería*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala, 1992. 168 p.

8. RECINOS, José Antonio. *Estudio de las características fisicomecánicas del adobe estabilizado con cal para la aldea Xepol del municipio de Chichicastenango*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1987.193 p.
9. REITHERMAN, Roberto; AROL, Christopher. *Building configuration and seismic design*. USA: John Wiley & Sons, 1982, 245 p.
10. SAMANEZ, Roberto. *Uso y técnicas de materiales de barro para construcciones en el contexto Latinoamericano. Simposio internacional y curso taller sobre conservación del adobe*. Lima, Perú: PNUD/UNESCO/ICCROM, 1983. 43 p.
11. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, *Evaluación del impacto del terremoto del 7 de noviembre de 2012*. Guatemala: SEGEPLAN, 2012. 99 p.
12. VARGAS, Julio. *Análisis de muros verticales de Adobe*. Trabajo presentado en el seminario sobre protección de monumentos en áreas sísmicas. Antigua Guatemala: ICOMOS/UNESCO/OEA/CNPAG, 1978. 6 p.
13. WINTER, George; NILSON, Arthur H, *Proyecto de estructuras de hormigón*. Colombia: Reverte, 1977.721 p.

ANEXOS

Daños ocasionados en el departamento de San Marcos

Anexo 1. Damnificados en el departamento de San Marcos

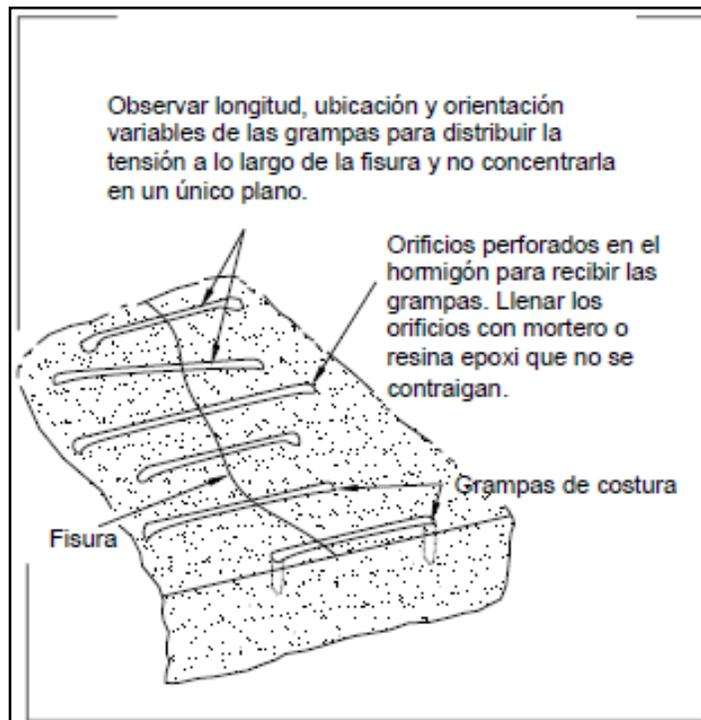


Fuente: Informe de Conred. p. 17.

Otros tipos de reparación para fallas estructurales en concreto reforzado.

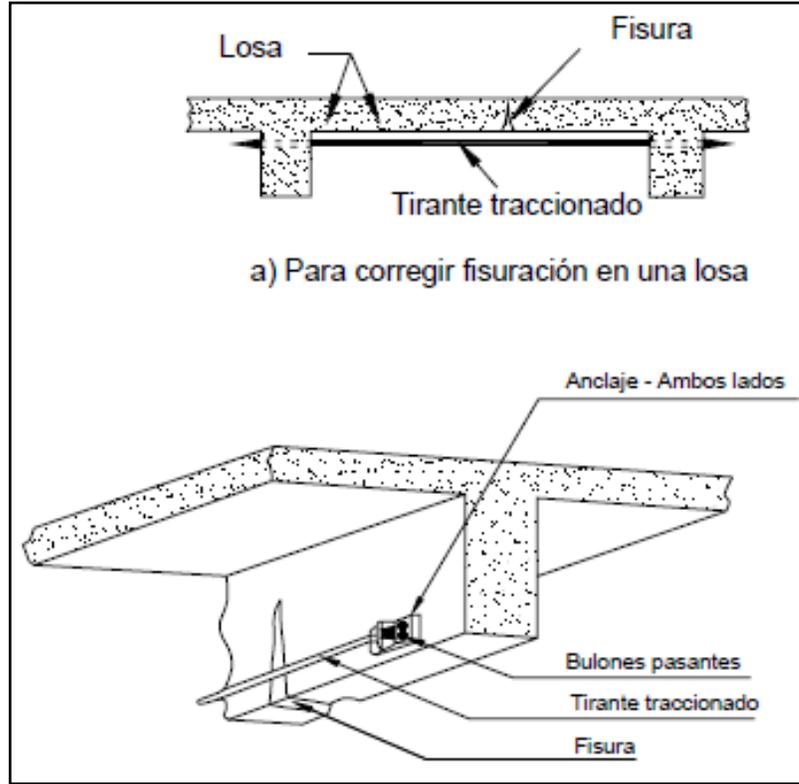
(Consultar ACI 224.1R-93).

Anexo 2. Costura de una fisura



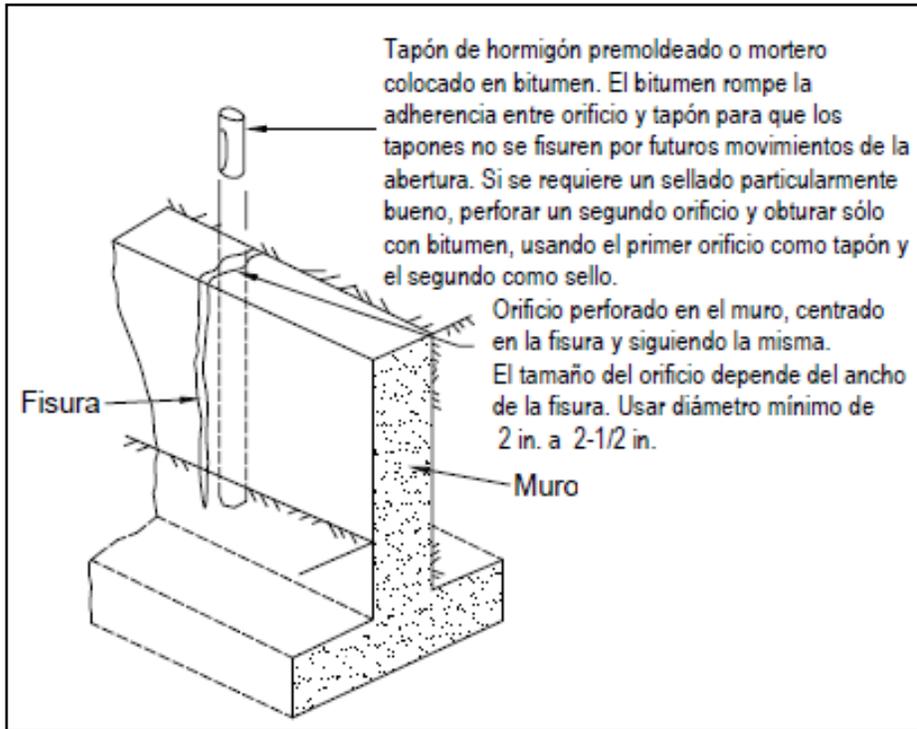
Fuente: ACI 224.1R-93.

Anexo 3. **Colocación de armadura adicional**



Fuente: ACI 224.1R-93.

Anexo 4. Reparación de fisura mediante perforación y obturación



Fuente: ACI 224.1R-93.

Anexo 6. **Determinación de daños durante y después de un sismo**

CORRESPONDENCIA ENTRE ESCALAS SISMICAS			
Escala de Richter Mide la energía de un temblor en su centro, o foco, determinando intensidades que crecen de forma exponencial en una escala medible entre 1 y 10.		Escala de Mercalli Determina la intensidad aparente de los terremotos de acuerdo a la distancia del observador y el centro, realizando descripciones subjetivas en escalas de I a XII.	
Valores	Descripción	Valores	Descripción
2.5	En general no sentido, pero registrado en los sismógrafos.	I	Casi nadie lo ha sentido
		II	Muy pocas personas lo han sentido
3.5	Sentido por mucha gente.	III	Temblor notado por mucha gente que, sin embargo, no suele darse cuenta de que es un terremoto.
		IV	Se ha sentido en el interior de los edificios por mucha gente. Parece un camión que ha golpeado el edificio.
		V	Sentido por casi todos; mucha gente se despierta. Pueden verse árboles y postes oscilando.
4.5	Pueden producirse algunos daños locales pequeños.	VI	Sentido por todos; mucha gente corre fuera de los edificios. Los muebles se mueven, pueden producirse pequeños daños.
		VII	Todo el mundo corre fuera de los edificios. Las estructuras mal construidas quedan muy dañadas; pequeños daños en el resto.
6.0	Terremoto destructivo.	VIII	Las construcciones especialmente diseñadas dañadas ligeramente, las otras se derrumban.
		IX	Todos los edificios muy dañados, desplazamientos de muchos cimientos. Grietas apreciables en el suelo.
7.0	Terremoto importante.	X	Muchas construcciones destruidas. Suelo muy agrietado.
8.0 ó más	Grandes terremotos	XI	Derrumbe de casi todas las construcciones. Puentes destruidos. Grietas muy amplias en el suelo.
		XII	Destrucción total. Se ven ondulaciones sobre la superficie del suelo, los objetos se mueven y voltean.

Fuente: Applied Technology Council. *Procedures for post-earthquake safety evaluation of buildings*. p. 26.

Anexo 7. **AGIES-documento 3 NSE 1 (Clasificación de Edificaciones)**

Clasificación de obras		
Categoría	Nombre	Descripción
I	Obras Utilitarias	Son las obras que albergan personas de manera incidental
II	Obras Ordinaria	Son las obras que no están en las categorías I, II o IV
III	Obras Importantes	Son las que albergan o pueden afectar a más de 300 personas
IV	Obras Esenciales	Son las que deben permanecer esencialmente operativas durante y después de un desastre o evento

Fuente: AGIES-GUATEMALA.

