



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

**Determinación de la vulnerabilidad sísmica estructural en un sector de
las zonas 1, 2, 3 y 4 de la Ciudad de Chimaltenango**

Ángel Guillermo Texaj López

Asesorado por el ingeniero Omar Gilberto Flores Beltetón

Guatemala, octubre de 2005.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA
ESTRUCTURAL EN UN SECTOR DE LAS ZONAS 1, 2, 3 Y 4 DE LA
CIUDAD DE CHIMALTENAGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

ÁNGEL GUILLERMO TEXAJ LÓPEZ

ASESORADO POR EL INGENIERO OMAR GILBERTO FLORES BELTETÓN

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Antonio Arriaga Solares
EXAMINADOR	Ing. Nicolás De Jesús Guzmán Sáenz
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA
ESTRUCTURAL EN UN SECTOR DE LA ZONAS 1, 2, 3 Y 4 DE LA
CIUDAD DE CHIMALTENAGO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 31 de marzo de 2005.

Ángel Guillermo Texaj López

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

A quien entrego este triunfo, pues me ha dado sabiduría y salud.

MI MADRE

Amorosa y dedicada a mi bienestar y superación, en el más oportuno momento.

MI PADRE

Hombre trabajador, quien ha luchado por darme lo mejor, sin importar el cansancio, apoyándome en cualquier situación; muchas gracias a ellos por la formación y valores que me inculcaron.

MI HERMANO Y CUÑADA

Quienes han sido excelentes ejemplos y me han dado maravillosos sobrinos.

MI HERMANA

Con todo cariño le doy las gracias.

MI ESPOSA

Por su apoyo incondicional en todo momento; gracias, mi amor

MIS ABUELOS

Que han sido fuente de enseñanza, cariño, admiración y respeto.

LA ESPOSA DE MI PADRE

Quien ha estado a su lado y lo ha apoyado en todo momento

**MIS AMIGOS Y
COMPAÑEROS DE
ESTUDIO**

Gracias por su apoyo y amistad.

**INGENIERO
OMAR FLORES**

Mi asesor, por su paciencia y apoyo
en el desarrollo de este trabajo.

**INGENIERO
EDGAR MONTERROSO**

Por permitirme realizar mis prácticas y consultas
en su oficina.

**INGENIERO
JULIO LUNA**

Por brindarme su apoyo y consejos.

**INSTITUTO GEOGRÁFICO
NACIONAL**

Por brindarme información importante.

DEDICATORIA A:

- MI MADRE** Especialmente; y aunque ya no la tengo a mi lado, sé que uno de sus sueños era verme alcanzar un título profesional.
- MI PADRE** Quien a lo largo de mi vida, ha querido siempre lo mejor para mí.
- MI ESPOSA** Quien anhela que se cumpla este sueño compartido.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ASPECTOS GENERALES DE CHIMALTENANGO	1
1.1. Localización y delimitación	3
1.2. Ambiente económico y social	4
1.3. Geología	6
1.4. Suelos	7
1.5. Clima	8
1.6. Hidrología	8
1.7. Precipitación promedio anual	8
1.8. Densidad de población	9
1.9. Historial sísmico de Chimaltenango.	9
1.10. Amenaza sísmica	11
2. INFRAESTRUCTURA	13
2.1. Tipología estructural del sector	13
2.2. Estructuras de gran importancia	22
2.2.1. Escuelas y colegios	22
2.2.2. Hospitales y centros de salud	24

2.2.3. Iglesias	25
3. SERVICIOS BÁSICOS	29
3.1. Servicio de agua potable	29
3.2. Servicio de drenajes	31
3.3. Servicio de electricidad	31
3.4. Servicio de telecomunicaciones	33
4. INVESTIGACIÓN DE CAMPO	35
4.1. Formulario de evaluación	35
4.2. Presentación de datos	37
4.3. Cálculo del grado de vulnerabilidad estructural	40
4.4. Cálculo de los índices de vulnerabilidad estructural	41
4.5. Mapa del grado de vulnerabilidad estructural del sector estudiado	43
5. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS	45
5.1. Deficiencias estructurales observadas en el sector y medidas de mitigación propuestas	45
5.2. Discusión sobre la fabricación de bloques y ladrillos de suelo cocido	51
5.3. Trabajos realizados por CONRED, dedicados al riesgo sísmico	53
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de Guatemala ubicando el departamento de Chimaltenango	1
2.	Modelo tridimensional de la ciudad de Chimaltenango	2
3.	Delimitación del sector estudiado	3
4.	Mapa mostrando la geología del área urbana de Chimaltenango	6
5.	Mapa mostrando los suelos del área urbana de Chimaltenango	7
6.	Área construida en la ciudad de Chimaltenango	10
7.	Curvas de isoaceleración para Guatemala	12
8.	Mapa base de macrozonificación sísmica	12
9.	Fotografías mostrando la tipología estructural del sector estudiado	15
10.	Clasificación estructural según el sistema para resistir fuerzas laterales	20
11.	Fotografías de estructuras de gran importancia dentro del sector estudiado	27
12.	Sector estudiado, ubicando hospitales y posibles lugares de albergue en caso de un desastre	28
13.	Fotografía mostrando un tanque público dentro del sector estudiado	30
14.	Fotografías de subestación y alumbrado público	33
15.	Estructura de uso comercial de TELGUA	34
16.	Cuantificación de los tipos de estructuras en el área evaluada	38
17.	Usos de las estructuras en el área evaluada	40
18.	Mapa del sector estudiado que ilustra el grado de vulnerabilidad estructural de cada lote evaluado	44
19.	Ejemplos de problemas típicos observados en estructuras de mampostería no reforzada	47

20.	Ejemplos de problemas típicos observados en estructuras de mampostería media	49
21.	Ejemplos de problemas típicos observados en estructuras de madera	50

TABLAS

I.	Clasificación estructural según el sistema para resistir fuerzas laterales	17
II.	Características generales del área evaluada	37
III.	Cuantificación de los distintos tipos de estructuras existentes en el área evaluada	38
IV.	Usos de las estructuras en el área evaluada	39
V.	Calificación final y grado de vulnerabilidad	41
VI.	Índices de vulnerabilidad estructural para el área evaluada dentro del sector estudiado	42
VII.	Índices de vulnerabilidad estructural para el área evaluada dentro del sector estudiado	42
VIII.	Colores sugeridos para cada vulnerabilidad estructural	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Q	Moneda de Quetzal
m	Metro
m²	Metros cuadrados
Km²	Kilómetro cuadrado
g	Aceleración de la gravedad
%	Porcentaje
°C	Grados centígrados
mm	Milímetros
”	Pulgadas
MM	Intensidad
Kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado

GLOSARIO

Área de construcción	Proyección horizontal del área que ocupa un edificio.
Área construida	Sumatoria de las áreas de construcción de todos los niveles de un edificio
Autoconstrucción	Desarrollo de obras de construcción cuya responsabilidad, dirección y administración está a cargo del propietario, para lo cual es posible que haya existido, al menos, planificación y diseño profesional.
Construcción empírica	Obra de autoconstrucción que evidencia deficiencias en aspectos técnicos, desarrollada según el criterio de los albañiles y el propietario, sin que haya existido planificación, asesoría, criterio o supervisión profesional para su desarrollo.
Desastre	Suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada y que causa, sobre los elementos sometidos, alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de éstos.
Escala de Mercalli modificada	Escala que sirve para designar la intensidad de un sismo en un sitio dado, la cual se asigna en forma subjetiva, según el sismo sea sentido por las personas (grados I a VI), según los daños que ocasione a las edificaciones (grados VII a X), y según los cambios geológicos que éste produce (grados XI a XII).

Lote	Cada una de las parcelas en las que se divide un área de tierra.
Mampostería	Sistema constructivo de tipo cajón, que consiste en pegar piezas o bloques para formar muros y soportar cargas.
Mampostería media o confinada	Sistema constructivo de tipo cajón que consiste en prismas que se forman con piezas o bloques unidos con mortero, confinados entre elementos horizontales y verticales de concreto reforzado.
Placas tectónicas	Segmento relativamente grande y rígido de la litosfera, que incluye la corteza y la parte superior del manto, que se desplaza sobre la astenósfera, moviéndose en relación a las placas adyacentes.
Sismo	Evento físico causado por la liberación repentina de energía, debido a una dislocación o desplazamiento en la corteza terrestre; parte de la energía es irradiada en todas direcciones en forma de ondas elásticas y ondas sísmicas, y es percibido en la superficie como una vibración del terreno denominada “temblor”, cuando no causa daños, y “terremoto”, cuando la sacudida es violenta y el evento es destructivo, causando daños severos y víctimas.
Tipología estructural	Sistema de clasificación de estructuras en función de la forma en que transmiten y soportan las cargas que se les aplican.
Vulnerabilidad	Grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos que corren riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0, o sin daño, hasta 1, o pérdida total.

Vulnerabilidad estructural Grado de pérdidas de un elemento o grupo de elementos que están en riesgo por la probable ocurrencia de un evento desastroso, como resultado del daño al que es susceptible el sistema estructural que mantiene en pie a un edificio.

RESUMEN

Este trabajo de graduación se inicia con la localización, descripción de características económicas y sociales, descripción de las características propias del departamento e historial sísmico del sector, con el fin directo de dar a conocer al lector el nivel de vulnerabilidad estructural y que esta información pueda ser útil a la hora de desarrollar medidas de mitigación de la vulnerabilidad estructural hallada en el sector.

Después de conocer las características del sector estudiado, se da a conocer la tipología estructural encontrada en el sector y se describen brevemente algunas de las estructuras mencionadas, a la vez, se conoce la forma en que el formulario de evaluación clasifica las estructuras. Luego se dan a conocer las estructuras de gran importancia, y su ubicación dentro del sector, con el fin de establecer posibles sitios de albergues en caso de algún desastre natural.

Después de describir los servicios básicos con que cuenta la ciudad de Chimaltenango, se presentan los resultados obtenidos a través de las evaluaciones practicadas a las estructuras, por medio del método de evaluación visual rápido ATC-21, como la cuantificación de los distintos tipos de estructuras y el uso de éstas; y se describen las calificaciones finales con sus respectivas vulnerabilidades. Determinando la vulnerabilidad en elementos humanos y materiales, demostrando que el sector estudiado es susceptible a daños severos aproximadamente en 16,982m² de área construida, lo que implicaría alrededor de Q 41,914,844.00 (cuarenta y un millones novecientos catorce mil ochocientos cuarenta y cuatro quetzales) en el costo de reposición de las pérdidas materiales.

El número potencial de muertes está alrededor de 660 personas y el número potencial de heridos alrededor de 1,393 personas, lo que equivale al 4.40% y 9.30% respectivamente, del total de habitantes en el área evaluada. Por último, se destacan los problemas estructurales típicos observados en el sector y se proponen las medidas de mitigación correspondientes.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio en el sector, por medio del método cualitativo ATC-21, propuesto por Applied Technology Council, que permita cuantificar la vulnerabilidad estructural y la cantidad de daños potenciales en elementos materiales y humanos, que podría sufrir el sector de la ciudad de Chimaltenango ante un fenómeno sísmico con aceleraciones del suelo de $0.3g = 2.94 \text{ m/seg}^2$, o mayores, en la componente horizontal, con una probabilidad de ocurrencia de, al menos, una vez en cincuenta años, equivalente a 0.02.

Específicos

1. Determinar la vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica en elementos materiales hallada en el sector estudiado, así como estimar el total del área construida susceptible a daños.
2. Determinar la vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica en elementos humanos hallada en el sector estudiado, así como estimar el número de muertes y heridos debido al colapso de las estructuras presentes en dicho sector.
3. Dar a conocer la vulnerabilidad estructural del sector gráficamente por medio de un mapa, coloreando cada uno de los lotes de dicho sector, para su fácil comprensión.

4. Hallar problemas estructurales típicos y hacer las recomendaciones pertinentes.
5. Hacer de su conocimiento a las autoridades pertinentes, sobre la vulnerabilidad estructural hallada en el sector estudiado.

INTRODUCCIÓN

Guatemala está situada geográficamente en la intersección de tres placas tectónicas, las cuales son la placa de Cocos en el océano Pacífico, la placa del Caribe y la placa de Norteamérica; la interacción entre estas placas ha generado grandes fallas geológicas y tiene como resultado el origen de una perpetua cadena de sismos, razón por la cual el país yace sobre un suelo sometido a grandes esfuerzos, siendo Guatemala uno de los países con mayor amenaza sísmica en el mundo. Tomando en cuenta las características anteriores altamente sísmicas, somos habitantes de un país que no tiene una norma de construcción sismorresistente a la cual acogerse, y considerando las características culturales de escasa prevención, en donde abunda la auto-construcción y la construcción empírica, el país es considerado altamente susceptible ante un posible fenómeno natural denominado sismo.

Los fenómenos naturales como los sismos se convierten en sinónimos de desastre. Sin embargo, la ocurrencia de un fenómeno natural sólo causa desastre cuando afecta al ser humano y sus actividades, y cuando esto sucede se obtienen pérdidas humanas y pérdidas materiales a nivel de estructuras. Y debido a esto se detiene momentáneamente el desarrollo de la población afectada.

En lo que compete a la vulnerabilidad estructural, las obras de gran tamaño, por lo general, son ejecutadas por profesionales, los que teniendo una buena formación y aplicando buenos criterios constructivos dan como resultado estructuras más seguras.

Los sistemas y redes de infraestructura como carreteras, plantas hidroeléctricas, de agua potable, drenajes, de telecomunicación, etc., pueden diseñarse y calcularse con una sismorresistencia incorporada. Sin embargo, otras partes de estos mismos sistemas podrían ser difíciles de proteger específicamente contra sismos.

Las construcciones pequeñas pueden ser las más propensas en un desastre natural de origen sísmico, las cuales son en Guatemala desarrolladas con menos control, auto-construidas por sus propietarios y otras construidas empíricamente.

Tomando en cuenta todas estas situaciones reales en el país, y para complementar información a nivel república, se ha desarrollado este estudio en la ciudad de Chimaltenango. Se considera como objeto de análisis una de las áreas más pobladas del departamento de Chimaltenango, la cabecera departamental, la cual fue seriamente dañada durante el último fenómeno sísmico considerable que hubo en el país, el terremoto del 4 de febrero de 1976 y presenta, en la actualidad, edificaciones correspondientes a diversas clases socio-económicas, una gran variedad de comercios, evidenciándose también construcciones empíricas y auto-construcciones, producto de la ignorancia o por los recursos limitados que padece en gran número nuestra sociedad guatemalteca.

Este estudio tiene como objeto determinar la vulnerabilidad estructural en un sector de la ciudad de Chimaltenango de las zonas 1, 2, 3 y 4, en función de la cantidad de daño potencial en elementos materiales y humanos, debido a la ocurrencia de un fenómeno sísmico esperado, al menos, una vez en cincuenta años en el área. Para ello se emplean algunos estudios importantes realizados en el país, metodologías y criterios de mucho prestigio aplicados a nivel internacional para la evaluación masiva de estructuras.

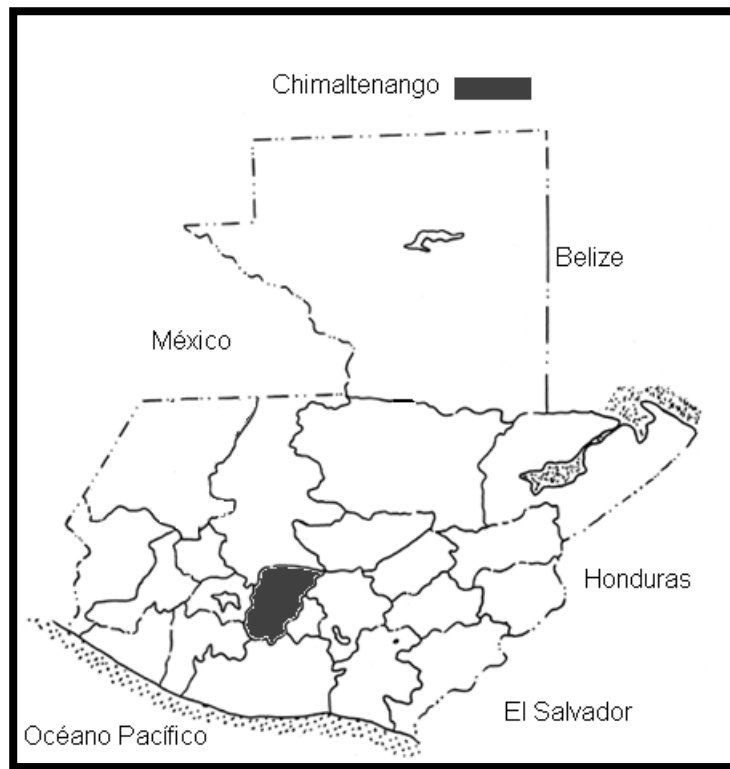
En lo que respecta a la vulnerabilidad estructural, ésta puede variar de estructura en estructura, y en la medida que se renueven o remodelen las estructuras, el tipo e intensidad del fenómeno sísmico que se presente y la respuesta propia del suelo.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, es de suma importancia expresar esta vulnerabilidad estructural, así como las pérdidas humanas y pérdidas materiales que pudieran presentarse por la ocurrencia de un fenómeno sísmico, con el fin directo de alertar a la población y a las autoridades pertinentes para que tomen conciencia en el tema y así desarrollar y priorizar planes y medidas de mitigación de la vulnerabilidad, tanto a nivel estructural como a nivel de educación, cultural, etc. Con el pensamiento de que a la hora de ocurrir un evento sísmico, el país esté preparado para un suceso de tal magnitud.

1. ASPECTOS GENERALES DE CHIMALTENANGO

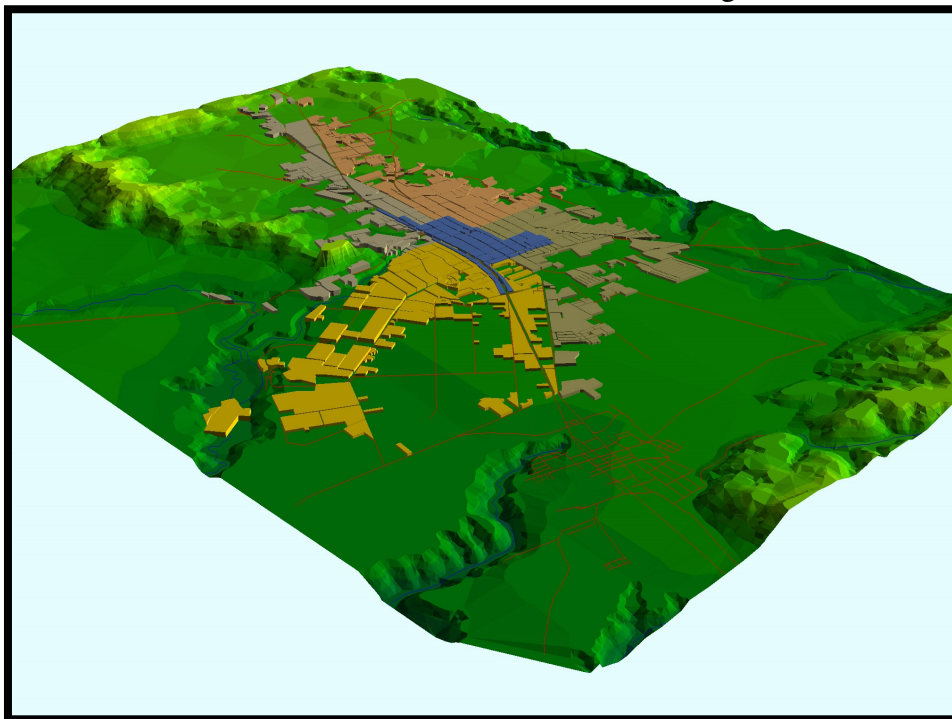
Chimaltenango, cabecera del departamento del mismo nombre, su extensión aproximada es de 212 km². , colinda al norte con San Martín Jilotepeque (Chimaltenango); al este con El Tejar (Chimaltenango) y San Juan Sacatepéquez (Guatemala); al sur con San Andrés Itzapa y Parramos (Chimaltenango) y Pastores (Sacatepéquez); al oeste con Zaragoza, Comalapa y San Martín Jilotepeque (Chimaltenango). La figura 1 muestra la ubicación del departamento de Chimaltenango en el mapa de Guatemala, y la figura 2 presenta un detalle tridimensional de la ciudad de Chimaltenango.

Figura 1. Mapa de Guatemala ubicando el departamento de Chimaltenango.



Fuente: Digitalizado de un mapa del Instituto Nacional de Estadística.

Figura 2. Modelo tridimensional de la ciudad de Chimaltenango.



Fuente: Instituto Geográfico Nacional, **Modelo tridimensional de la ciudad de Chimaltenango.**

Chimaltenango se encuentra aproximadamente a 52 kilómetros de la capital, su principal medio de comunicación es la Carretera Interamericana CA-1 que penetrando por el Tejar municipio de Chimaltenango, cruza su territorio saliendo por el municipio de Tecpán hacia el departamento del Quiché. Contando además con carreteras que lo unen con el resto de municipios. Se encuentra a 1,800 metros sobre el nivel del mar.

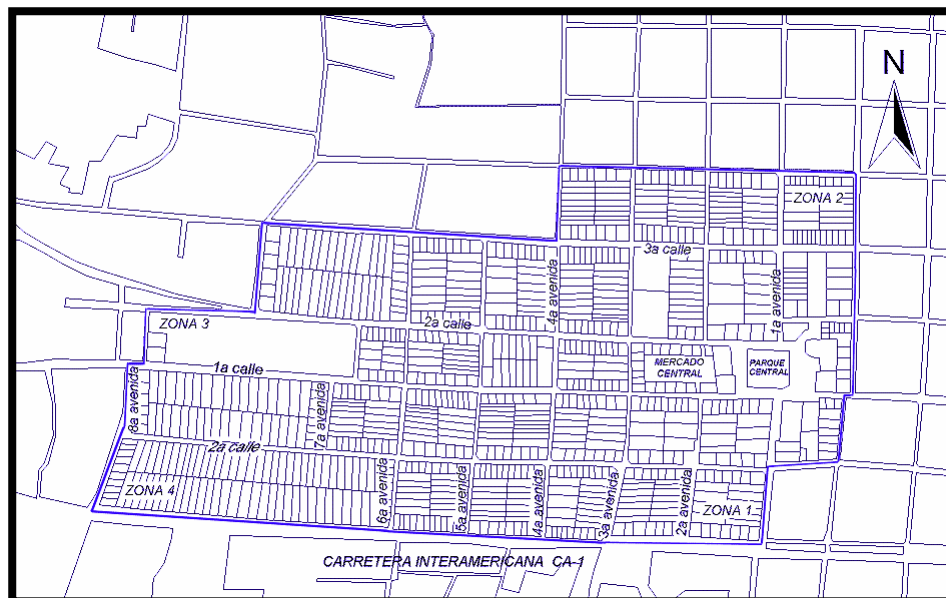
A continuación se da a conocer el sector de la ciudad de Chimaltenango el cual ha sido estudiado, se presentan las características del lugar, así como su historial sísmico con el fin inmediato de reducir la vulnerabilidad del sector ante los fenómenos sísmicos.

1.1. Localización y delimitación

El sector que se estudia, se encuentra localizado entre las zonas 1, 2, 3 y 4 de la ciudad de Chimaltenango, en el municipio y departamento del mismo nombre, y tiene un área de 516,870m².

Está limitado al norte por la 3a y 4a calle de las zonas 2 y 3, al oriente por la 1a avenida de la zona 4, y 2a avenida de las zonas 1 y 2, al sur por la 3a calle de la zona 4, y al occidente por la 8a avenida de las zonas 3 y 4, así como por la 7a y 4a avenida de la zona 3, tal como se ilustra en la figura 3. En el sector se encuentran vías importantes, tal es el caso de la 3a calle de las zonas 1 y 4 que colinda con la carretera interamericana que comunica a occidente, también se encuentran vías principales de tráfico para Chimaltenango como la 1a y 2a calle de las zonas 1, 2, 3 y 4 que conduce al parque de la ciudad, y vías secundarias como la 3a calle de las zonas 2 y 3, y la 2a calle de las zonas 1 y 4, utilizadas como vías alternas que permiten descongestionar el tránsito en vías principales y conexiones importantes.

Figura 3. Delimitación del sector estudiado



Fuente: Instituto Geográfico Nacional, Mapa de la ciudad de Chimaltenango

1.2. Ambiente económico y social

El sector estudiado presenta diferentes tipos de actividades y sectores económico-sociales diversos. Existen áreas altamente comerciales como lo son la 3a calle de las zonas 1 y 4 (carretera a occidente) en las que se encuentran pequeñas empresas las que prestan diversos servicios y venta de artículos de consumo diario como tapicerías, talleres, panaderías, tiendas. La 1a y 2a calle entre las zonas 4 y 3 respectivamente, la 1a avenida entre las zonas 1 y 4, en las que se encuentran empresas y comercios grandes como agencias bancarias, servicios de telecomunicaciones, restaurantes, mueblerías, y diversos comercios. También se encuentran hospitales dos escuelas y diversos centros educativos

En el área evaluada existen 905 lotes, de los cuales 76 son de uso exclusivamente comercial que constituyen un 8.40%, cabe mencionar la combinación de actividades comerciales con otros usos como lo son de uso residencial y comercial.

En el sector están instaladas una empresa de telecomunicaciones, así como dos torres de plantas de telecomunicaciones. Pequeñas industrias como talleres, fábrica de muebles para oficina y otras, estas combinan la actividad industrial con residencial en algunos casos.

Del total de lotes en el área evaluada, alrededor de 502, equivalentes a un 55.47%, son de uso residencial, 224 lotes, equivalentes al 24.75%, manifiestan uso residenciales y comerciales, y unos 33 lotes, correspondientes al 3.64%, usos residenciales en combinación con otras actividades. Los habitantes del sector pertenecen a diversos sectores económico-sociales, que van desde clase media-alta que poseen casa propia, hasta sectores de clase baja-baja que viven en viviendas muy deterioradas.

El sector estudiado cuenta con servicios de energía eléctrica, alumbrado público, drenajes municipales, y servicio de agua potable aunque en algunos sectores el servicio es deficiente y racionado. En la 1a calle de la zona 1 a un costado del parque se encuentra la estación departamental de la Policía Nacional Civil (evaluación # 5).

En cuanto a servicios de emergencia, no existe dentro del sector una estación de bomberos, aunque se encuentra cerca la estación de bomberos voluntarios, a unos 80 metros del sector sobre la 1a calle de la zona 3, cabe mencionar que no se cuenta con estación de bomberos municipales en la cabecera, la más cercana se encuentra en el municipio del Tejar (Chimaltenango), aproximadamente a 4 kilómetros de Chimaltenango.

Dentro del sector existen 3 hospitales o sanatorios, uno de ellos es la Fundación Carrol Behrhorst (evaluación # 63), Hospital Los Aposentos (evaluación # 482), y el Sanatorio Familiar (evaluación # 296). También existen algunas clínicas privadas.

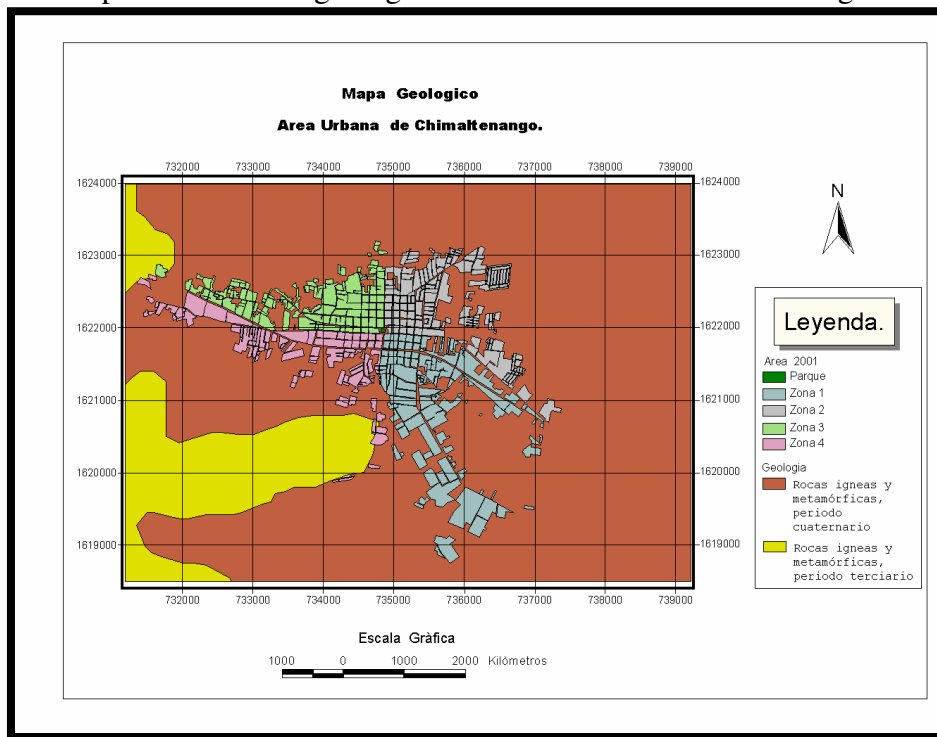
Existen escuelas y colegios dentro del sector, como la Escuela Nacional Para Párvulos Ramona Gil (evaluación # 873), el colegio J. Simeón Cañas (evaluación # 214) el cual cuenta con una instalación grande, colegio Mixto Santa Ana (evaluación # 638), colegio Visión de Fe (evaluación # 420), colegio Liceo Chimalteco (evaluación # 663).

En el sector existen varias iglesias de la cuales las más grandes son el Seminario Bíblico Guatemalteco el cual cuenta con un complejo de 3 edificios de tres, dos y un nivel, así como de 4 casas de un nivel, la Catedral Católica de Santa Ana, iglesia cristiana MI-EL, iglesia cristiana Visión de Fe.

1.3. Geología

Según el mapa geológico del Instituto Geográfico Nacional de Guatemala, el suelo de Chimaltenango yace sobre Tephra interestratificada con diamictones pomáceos y sedimentos fluvio-lacustres; por lo que se clasifica con el perfil de suelo S2, el cual satisface como suelo firme, cuyo basamento rocoso se encuentra a más de 50 metros de profundidad y cuyos depósitos son cenizas volcánicas, suelos granulares densos, limos densos o arcillas firmes, según las norma recomendada AGIES NR-2:2000 (AGIES, 2000). En la figura 4 se muestran la geología del área urbana de Chimaltenango.

Figura 4. Mapa mostrando la geología del área urbana de Chimaltenango.

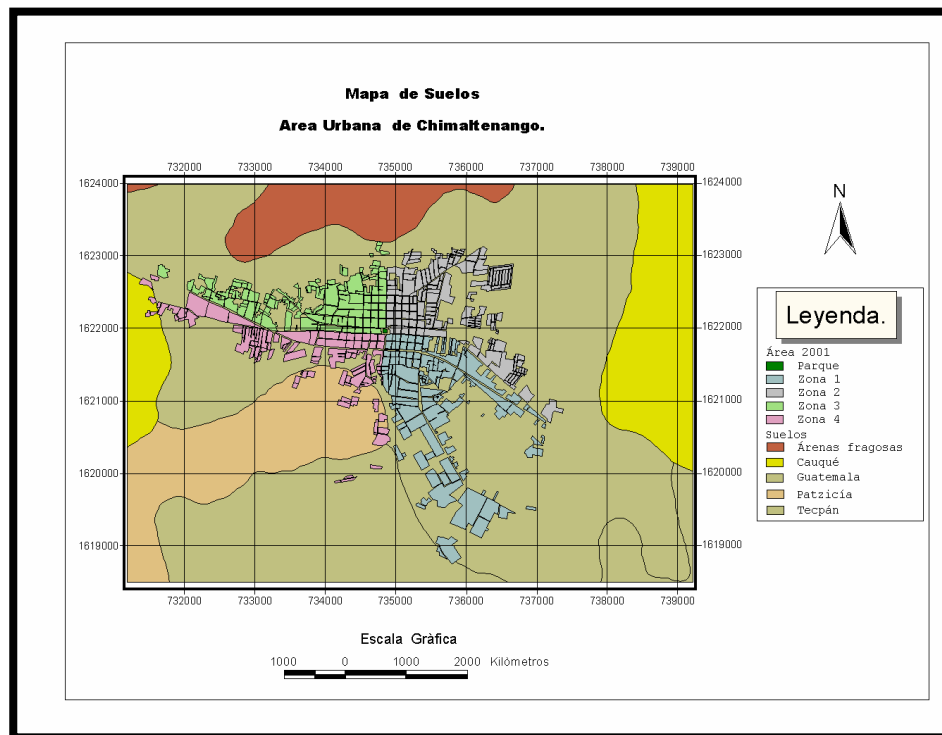


Fuente: Instituto Geográfico Nacional, Mapa geológico área urbana de Chimaltenango.

1.4. Suelos

El departamento de Chimaltenango comprende los suelos de la altiplanicie central, clases misceláneas de terreno, y suelos de las montañas volcánicas cubriendo estos últimos alrededor de un doceavo del área del departamento, encontrándose estas en un alto grado de erosión causadas por las correntadas de invierno, alterada por el excesivo uso y explotación de los suelos. El área ha sido cubierta por cenizas volcánicas, principalmente pomáceas, una pequeña parte yace sobre esquistos y arcilla esquistosa a poca profundidad (Simmons y otros, 1958). En la figura 5 se muestran los suelos del área urbana de Chimaltenango.

Figura 5. Mapa mostrando los suelos del área urbana de Chimaltenango.



Fuente: Instituto Geográfico Nacional, Mapa de suelos área urbana de Chimaltenango.

1.5. Clima

El clima del área de Chimaltenango varía de templado, húmedo-seco en el norte, y cálido-húmedo en el sur. La temperatura media es de 18.8° C, la máxima de 26.5° C, y la mínima de 1.5° C. (INE, 2000).

1.6. Hidrología

Los principales lagos y lagunas:

Laguna los Aposentos, ubicado en el kilómetro 57.5 ruta Nacional 14, hacia Sacatepequez.

Los principales ríos son:

Al territorio de Chimaltenango lo cruzan varios ríos como el Coyolate, Madre Vieja, el Pixcayá y el Río Grande o Motagua, el Guacalate o de la Virgen y el Balanyá

1.7. Precipitación promedio anual

Por lo general la precipitación pluvial en la altiplanicie central es muy similar a la de la ciudad de Guatemala, pero un tanto más seca, irregular y variable (Simmons y otros, 1958).

El departamento de Chimaltenango tiene una precipitación pluvial promedio de 2035.9mm., al año según datos del INE con datos obtenidos de los años 1998, 1999 y 2000.

1.8. Densidad de población

La densidad de población para el departamento de Chimaltenango es de 225 habitantes/km². (INE, 2003)

1.9. Historial Sísmico del departamento de Chimaltenango

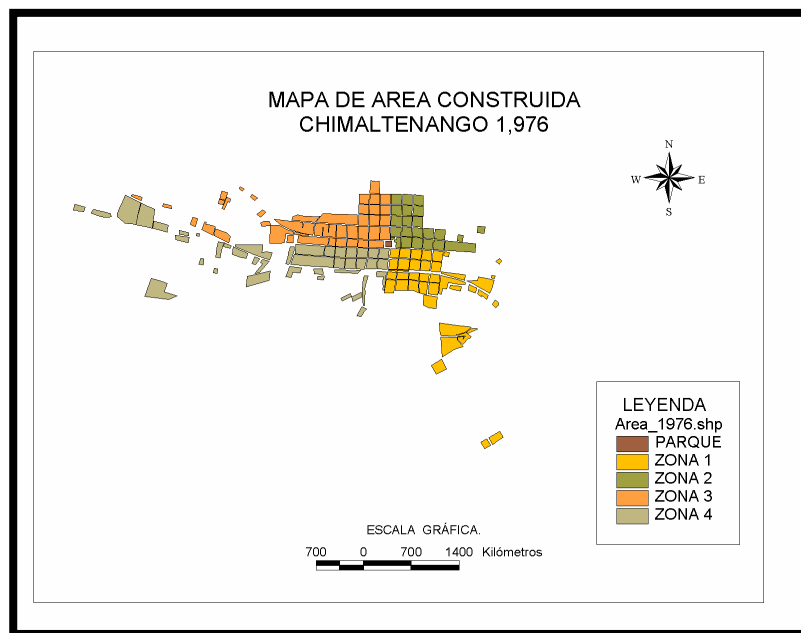
La ciudad de Chimaltenango ha sido afectada en varias ocasiones por diferentes movimientos sísmicos, entre los cuales están el terremoto de Santa Marta el 29 de julio de 1773 que convirtió la población en ruinas; otros sismos que también destruyeron la ciudad, se produjeron en los años 1874, 1918, y 1942 (Revilla, 1976). El último terremoto, fue el de la fecha 4 de febrero de 1976, que para la región del centro de la república significó trágicas consecuencias; se presentaron intensidades MM de VII y VIII (Espinosa y otros, 1976). En general el departamento de Chimaltenango fue uno de los más afectados, las pérdidas materiales ascendieron a millones de quetzales, en vista que el 100% de las viviendas quedaron totalmente destruidas. El 100% de los edificios educativos de nivel pre-primario y nivel medio, y el 87% de los de nivel primario fueron afectados (Cerezo, 1976). La ciudad de Chimaltenango pasó por lo menos un mes para contar con servicio más o menos regular de agua después del terremoto.

Las pérdidas humanas en la ciudad de Chimaltenango ascendieron a 600 muertos y 3,000 heridos (Marroquín y Gándara, 1976), y en todo el departamento murieron 13,792 personas (Cerezo, 1976). Fue necesario enterrar en una fosa común a la mayoría de muertos, las cajas mortuorias se agotaron y era difícil conseguirlas por estar obstruidos los caminos. La destrucción de viviendas se debió a que en su mayoría las estructuras de estas eran de adobe, con techos de teja de barro.

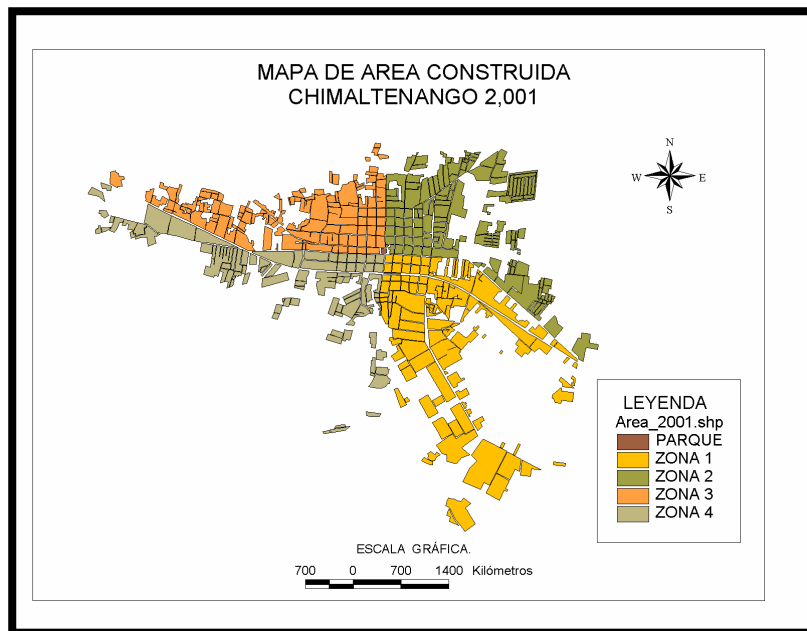
Otro aspecto importante del porqué este fenómeno afectó enormemente a la región central del país, es que el departamento de Chimaltenango está localizado geográficamente dentro del sistema de fallas del país; la falla del Motagua atraviesa la parte norte del departamento y la falla de Mixco atraviesa la parte oriente (Monzón, 1996).

La ciudad de Chimaltenango tenía una extensión aproximada en el año de 1976 de 1,974,266.695m². Para el año 2001 tiene aproximadamente 5,957,454.333m². de extensión según el mapa de área construida del IGN. En la figura 6 se muestra los detalles del área construida en la ciudad de Chimaltenango un día anterior al terremoto del 4 de febrero de 1976, y el área construida en el año 2001.

Figura 6. Área construida en la ciudad de Chimaltenango a) área construida en la ciudad de Chimaltenango un día antes del terremoto del 4 de febrero de 1976 b) área construida en la ciudad de Chimaltenango del año 2001.



a



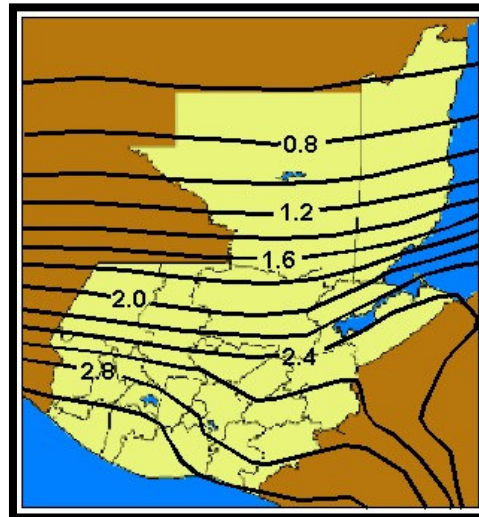
b

Fuente: Instituto Geográfico Nacional, **Mapas de área construida de Chimaltenango.**

1.10. Amenaza sísmica

El área de Chimaltenango es susceptible a sismos asociados a las fallas menores del altiplano, como lo fue el terremoto del municipio de Pochuta, Chimaltenango en septiembre de 1991 (Molina y otros, 1996). También es susceptible a fallas de transcurrancia, como la falla del Motagua (Dengo, 1996; Monzón, 1996). Las aceleraciones máximas del suelo esperadas al menos una vez en cien años se observan en la figura 7, así como el mapa de macro zonificación sísmica en la figura 8.

Figura 7. Curvas de isoaceleración para Guatemala, en m/seg/seg, esperadas, al menos, una vez en cien años.



Fuente: Adaptado de Ligorria, *Seismic hazard for Guatemala*, technical report No. 2-21 NORSAR. Guatemala, 1995).

Figura 8. Mapa base de macro zonificación sísmica.



Fuente: Adaptado de AGIES, *Normas estructurales de construcción recomendadas para la república de Guatemala NR 1-96*, 1996.

2. INFRAESTRUCTURA

En este capítulo se presentarán los diversos tipos de estructuras halladas en el sector en estudio describiéndolas brevemente; así como también se darán a conocer las estructuras de gran importancia dentro y fuera de este mismo sector.

2.1. Tipología estructural del sector

Con el terremoto del 4 de febrero de 1976, con el dolor sufrido por la pérdida de vidas humanas, mejoraron considerablemente las estructuras de la ciudad y su trazo cambió de fisonomía. Han surgido construcciones de tipo moderno, los edificios públicos como la Municipalidad, Gobernación Departamental, Correos, etc. Evidencian rasgos de construcción profesional. En lo que a viviendas se refiere surgieron varios tipos; pues una ciudad que data del período Pre-hispánico no podría dejar a un lado su construcción tradicional que consiste en paredes de adobe, techos de teja de barro o lámina galvanizada, piso de ladrillo de barro o de torta de cemento. Por último vemos las viviendas de construcción mejor elaborada y moderna, las que consisten en paredes de mampostería media, madera, estructuras de acero, etc.

En su mayoría las construcciones son de mampostería, utilizan el sistema de mampostería media o confinada, alrededor de 713 lotes, equivalentes al 78.78% del total de los lotes en el área evaluada. En segundo orden se encuentran estructuras que son de mampostería no reforzada de adobe presentes en 179 lotes, lo que equivale al 19.80% del total de lotes en el área evaluada.

Las construcciones de adobe, en su mayoría son peligrosas. Gran parte de estas se encuentran en mal estado como por ejemplo es común encontrar casas en las que el adobe ya no está en posición estable, no tiene recubrimiento que lo proteja de la intemperie, muros derrumbados, agrietados, con techos o refuerzos de madera ya podridos que necesitan reemplazo (evaluaciones # 19,165,399,822, etc.). Cabe mencionar que en Guatemala no es fácil encontrar arcilla que es lo adecuado para elaborar adobe, y esta se fabrica por lo general en el propio predio de construcción por su economía, y salir a buscarlo ya no sería económico (Monzón, 1996).

Se observa que en algunos casos, sobre los muros de adobe se levantaron muros de bloque, no tomando en cuenta que la adherencia entre el concreto y el adobe no es buena que este puede ser deleznable al momento de someterse al menor sobre-esfuerzo, en el caso de un movimiento sísmico (evaluaciones # 137,326, etc.).

También se encuentran en el sector edificaciones de madera y lámina, presentes en 8 lotes equivalentes al 0.88% del total de los lotes evaluados. Estas pueden ser poco vulnerables a los sismos, aunque por lo regular son edificaciones de autoconstrucción, pueden presentar otros riesgos como incendios, estar junto a edificaciones peligrosas que pudieran ponerlas en peligro, o simplemente estar en malas condiciones (evaluaciones # 511,484, etc.).

Las construcciones de gran envergadura principalmente para comercio evidencian rasgos de construcción profesional (evaluaciones # 432,588, etc.), y hay en el sector en su mayoría de mampostería media. Existen en el sector 2 lotes, equivalentes al 0.22% con estructuras de acero livianas y hay 1 lote, equivalente al 0.11% con marco de acero resistente a momento.

En la figura 9 se pueden observar fotografías tomadas en el sector estudiado, resaltando en ellas algunas características mencionadas en los párrafos anteriores.

Figura 9. Fotografías mostrando la tipología estructural del sector estudiado. a) Construcción residencial-comercial de mampostería media de bloque (evaluación # 776), b) Construcción de mampostería no reforzada de adobe (evaluación # 753), c) Construcción de madera (evaluación # 176), d) Construcción comercial de Acero (evaluación # 749).



a

b



c

d

A continuación se describen brevemente las características más importantes de algunos tipos de estructuras halladas en el sector en estudio para facilitar su identificación:

Adobe (mampostería no reforzada)

El adobe se forma moldeando suelo, de preferencia arcilla con agua y secando la masa al aire libre. Las estructuras se forman colocando hileras de adobes pegados con la misma arcilla humedecida. Este tipo de construcción es muy utilizado en áreas rurales. Generalmente se repella con mortero a base de cal; el piso puede ser el suelo mismo; el techo es de teja o de lámina galvanizada, sobre una estructura sencilla de madera. Su resistencia a sismos es muy deficiente (evaluaciones # 18, 81, 200,364, etc.).

Mampostería media reforzada

Son las construcciones hechas con unidades de mampostería pegadas con mortero de cemento y se colocan vigas, soleras, columnas, mochetas o pines de concreto reforzado; el techo generalmente es de losa de concreto. Se utiliza este sistema en construcciones de 1, 2 y 3 niveles. La respuesta a los sismos es bastante satisfactoria, pero al ser elaborado de forma empírica puede presentar dificultades en su resistencia (evaluaciones # 20, 315,607, etc.).

Madera

Se utilizan generalmente párales de 2" a 4"; para los muros reglas y tablas; para el techo se utiliza lámina galvanizada o teja. Debido a la ductilidad de la madera, las construcciones se comportan satisfactoriamente frente a los sismos, pero se tiene el inconveniente de que la madera presenta problemas con la humedad, así como con algunos insectos y microorganismos como lo pueden ser los hongos (evaluación # 176).

El formulario de evaluación se presenta en la sección 4.1 y clasifica las estructuras por el Sistema Estructural para Resistir Fuerzas Laterales **SERFL**, el cual identifica cuatro tipos de materiales para elaborarlo, y estos materiales son acero, concreto, madera y mampostería; a su vez el acero tiene cinco clasificaciones, el concreto cinco y la mampostería tres.

En la tabla I se mencionan las principales características con las que el Sistema Estructural para Resistir Fuerzas Laterales clasifica las estructuras.

Tabla I. Clasificación estructural según el sistema para resistir fuerzas laterales.

Tipo	Nombre	Características
M	Estructuras de madera	Estructuras de poca altura, máximo de 3 niveles, construidas con parales de 2” a 4”, con breizas o sin ellas. Para los muros se usan reglas y tablas de madera, cartón o lámina de zinc.
A1	Marcos de acero resistentes a momento	Consisten en estructuras formadas por marcos de vigas y columnas cuya rigidez resiste las fuerzas laterales.
A2	Marcos de acero con breizas	Estructuras construidas también con vigas y columnas de acero. En éstas, las fuerzas laterales se transportan al sistema de breizas en esfuerzos de compresión o tensión.
A3	Estructuras de acero livianas	Por lo general, son utilizadas para bodegas, cubren luces grandes. Consisten en marcos rígidos altos que resisten las fuerzas laterales en el sentido corto del edificio, y en el sentido largo, se colocan tensores entre marco y marco o se unen por vigas tipo <i>joist</i> .

(Continuación tabla I)

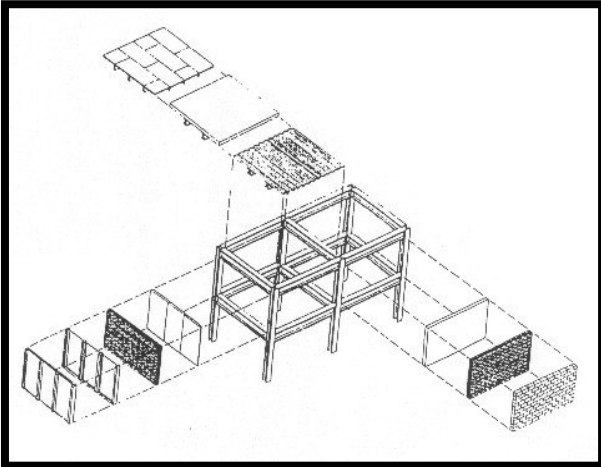
Tipo	Nombre	Características
A4	Marcos de acero con muros de corte de concreto	Son estructuras similares a los marcos rígidos, pero las uniones entre vigas y columnas no se diseñan para resistir las fuerzas laterales, sino que son resistidas por muros de corte de concreto integrados a la estructura.
A5	Marcos de acero con muros de relleno de mampostería no reforzada	Estas estructuras poseen muros perimetrales o interiores de mampostería no reforzada, altamente rígidos muy propensos a sufrir fracturas.
C1	Marcos de concreto resistentes a momento	Estos marcos estructurales pueden ser dúctiles o rígidos, según el diseño del refuerzo y el concreto, las fuerzas laterales son resistidas por las vigas y las columnas.
C2	Muros de corte de concreto	Es un sistema estructural de concreto tipo caja o marcos con muros de concreto que se localizan por lo general a lo largo de toda la altura del edificio.
C3	Marcos de concreto con muros de relleno de mampostería no reforzada	Son estructuras de marcos de concreto rellenos por muros rígidos de mampostería no reforzada que pueden fracturarse por la acción de los sismos.
CC	Construcción compuesta	Son edificios en los que la estructura esta construida por una combinación de acero, concreto, y otros materiales, unidos entre si por soldaduras o uniones mecánicas de las cuales depende la resistencia.

(continuación tabla I)

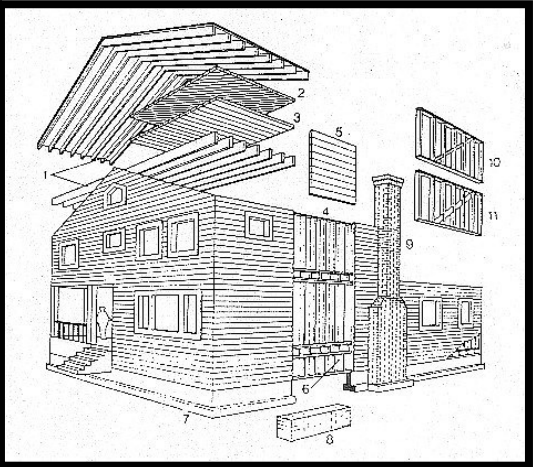
Tipo	Nombre	Características
CP	Estructuras de concreto prefabricado	Son estructuras ensambladas en el sitio, construidas a través de un sistema de vigas, columnas, muros y losas que han sido previamente fabricados, y se unen por soldadura, epóxicos u otros sistemas, por lo que el sistema de uniones es vital para un comportamiento satisfactorio.
MS	Mampostería reforzada superior	Conocida también como mampostería integral, consiste en muros de carga de mampostería grauteada, con diafragmas de concreto reforzado.
MM	Mampostería reforzada media	Consiste en una combinación de unidades de mampostería unidas con mortero, con soleras horizontales, columnas, mochetas o pines de concreto reforzado, comúnmente conocida como mampostería confinada o de tipo mixto.
MNR	Mampostería no reforzada	Estructuras construidas por unidades de mampostería de adobe o ladrillo sin refuerzos de concreto armado.

La figura 10 muestra ilustraciones típicas de cada uno de los tipos estructurales clasificados anteriormente con el sistema SERFL.

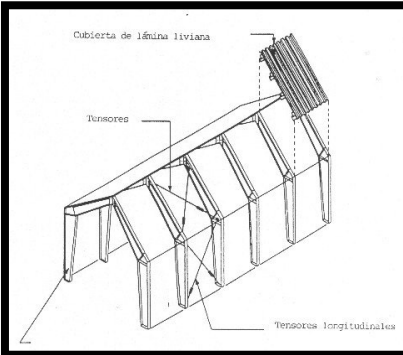
Figura 10. Clasificación Estructural según el sistema para resistir fuerzas laterales.



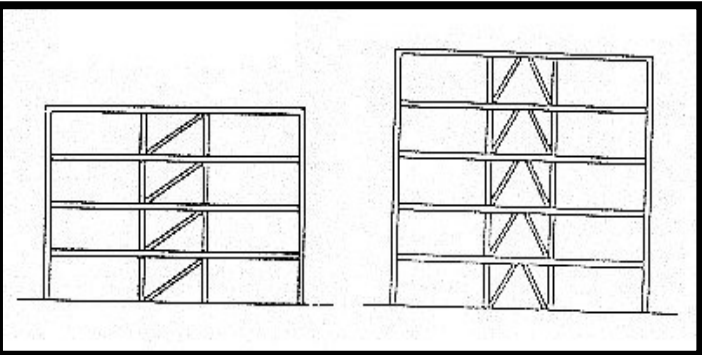
A1 = Marcos de acero resistentes a momento



M = Estructura de madera

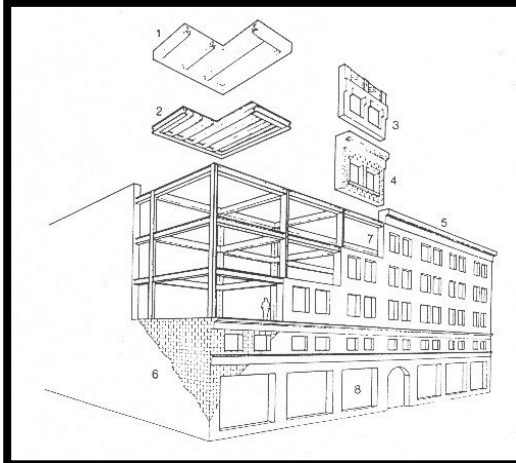


A3 = Estructuras de acero livianas

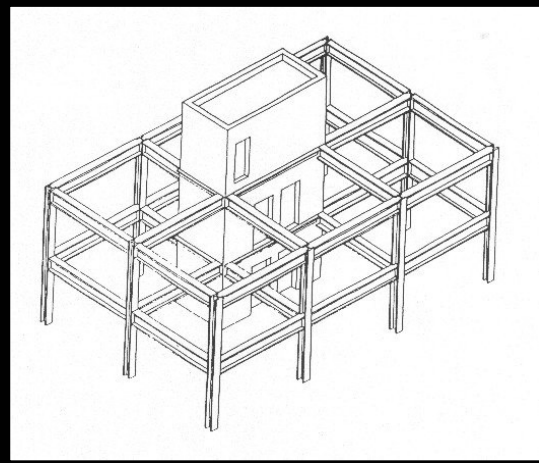


A2 = Marcos de acero con breizas

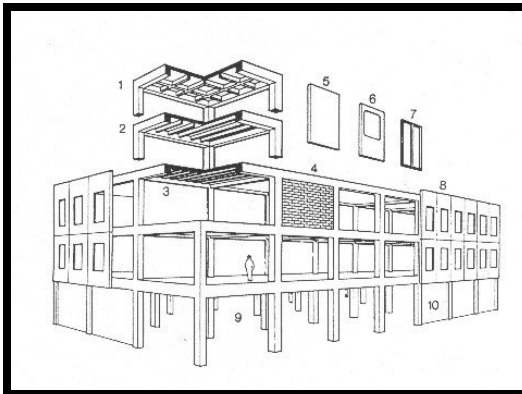
(Continuación figura 10)



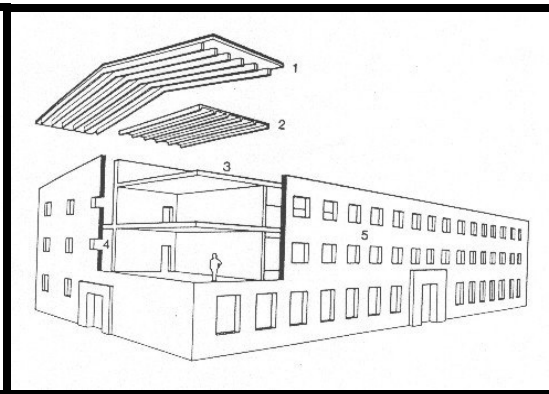
**A5 = Marcos de acero con muros de
Relleno de mampostería no reforzada**



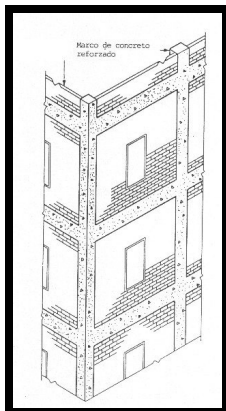
**A4 = Marcos de acero con muros
de corte de concreto**



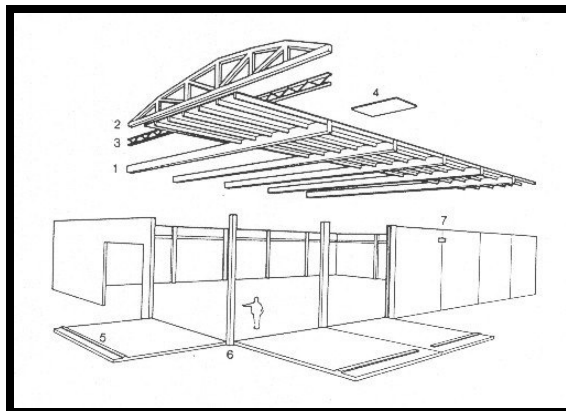
C1 = Marcos de concreto resistentes a momento



C2 = Muros de corte de concreto

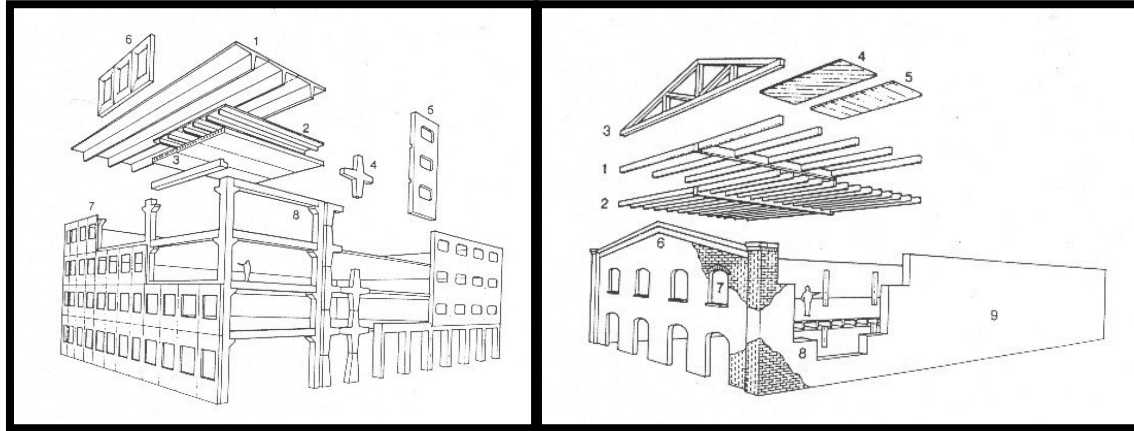


**C3 = Marcos de concreto con muros
de relleno de mampostería no reforzada**



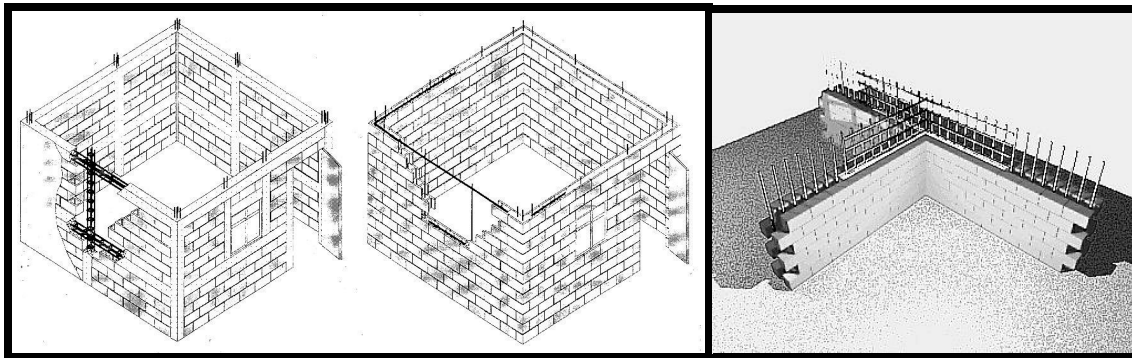
CC = Construcción compuesta

(Continuación figura 10)



CP = Concreto prefabricado

MNR = Mampostería no reforzada



MM = Mampostería media

MS = Mampostería superior

Fuente: Francisco, Arrecis, **Vulnerabilidad sísmica estructural en un sector de la zona 3 de la ciudad de Guatemala.** P. 49.

2.2. Estructuras de gran importancia

2.2.1. Escuelas y colegios

Las escuelas prácticas, fueron creadas en el gobierno del lic. Manuel Estrada Cabrera en el año 1906 en diez departamentos entre ellos Chimaltenango.

Esta escuela en la cabecera fue de gran ayuda para la niñez y juventud de esa época, pues muchos egresados, de lo aprendido iniciaron una profesión u oficio próspero. Funcionó hasta el año de 1942, ya que para el terremoto del 4 de agosto del mismo año colapso su estructura. Posteriormente fue reparada, se instaló entonces la escuela de varones Justo Rufino Barrios, más tarde en el mismo predio se construyó el edificio para el Instituto Nacional de Educación Básica con Orientación Ocupacional, llamado Leonidas Mencos Ávila.

Dentro del sector en estudio se encuentran dos escuelas de educación pre-primaria, ocho colegios privados y una universidad. A continuación mencionaremos dichos centros educativos y su ubicación:

- **Escuela nacional para párvulos Ramona Gil.** Ubicada en la 1a avenida de la zona 4 (evaluación # 873, vulnerabilidad mínima).
- **Escuela oficial de párvulos No. 2.** Anexa al centro de bienestar social, ubicada en la 1a avenida y 2a calle de la zona 3 (evaluación # 108, vulnerabilidad mínima).
- **Colegio Integral Chimalteco.** Ubicado en la 5a avenida de la zona 3 (evaluación # 242, vulnerabilidad mínima).
- **Colegio mixto CEMA.** Ubicado en la 6a avenida 2-17 de la zona 4 (evaluación #685, vulnerabilidad mínima).
- **Colegio mixto Santa Ana.** Ubicada en la 2a calle 5-40 zona 4 (evaluación # 638, vulnerabilidad alta).
- **Colegio Liceo Chimalteco.** Ubicado en la 4a avenida 2-33 zona 4 (evaluación # 663, vulnerabilidad mínima).
- **Colegio José Simeón Cañas.** Ubicado en la 4a avenida 2-95 zona 3 (evaluación 214, vulnerabilidad mínima).
- **Colegio mixto cristiano Visión de Fe.** Ubicado en la 2a avenida de la zona 3 (evaluación # 420, vulnerabilidad significativa).

- **Colegio Maranatha.** Ubicado en la 3a calle 3-48 zona 4 (evaluación # 544, vulnerabilidad mínima).
- **Centro educativo Washington Academy.** Ubicado en la 1a calle y 6a avenida de la zona 4 (evaluación # 701, vulnerabilidad muy alta).
- **Universidad Rural de Guatemala.** Ubicada dentro de las instalaciones del colegio José Simeón cañas, 4a avenida 2-95 zona 3 (evaluación # 214, vulnerabilidad mínima).

De los anteriores establecimientos educativos los más apropiados para ser utilizados como lugar de albergue por su vulnerabilidad mínima y por sus amplias instalaciones son el colegio José Simeón Cañas, el colegio mixto CEMA, y la escuela nacional para párvulos Ramona Gil, la escuela oficial de párvulos No 2. El resto de centros educativos presentan pequeñas instalaciones, y otros vulnerabilidades distintas a la mínima.

2.2.2. Hospitales y centros de salud

Chimaltenango como cabecera departamental cuenta con servicios de salud, tanto nacional como privados, en el orden jerárquico se tiene la jefatura de área, que es la unidad técnica coordinadora de todos los servicios en su orden siguen el Hospital Nacional, que con el centro de salud forman una unidad integrada y cuenta con excelentes médicos generales y especialistas en todas las ramas. Los centros y puestos de salud, son unidades que contribuyen en la atención pública de los servicios de salud en aldeas y caseríos. También se cuenta con el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social IGSS, el que tiene un hospital con todos sus servicios e instalaciones, desarrolla un programa de accidentes, sin embargo cuando el problema es mayor y para atenderlo no se cuenta con los recursos necesarios, cuenta con ambulancia para trasladar a los pacientes al hospital nacional. Tanto el Hospital Nacional como el IGSS se encuentran fuera del sector estudiado, encontrándose a una distancia aproximada de 1 kilómetro.

Dentro del sector en estudio se cuenta con numerosas clínicas privadas, también se cuenta con hospitales y sanatorios privados entre los cuales los más importantes:

- **Fundación Carrol Behrhorst.** Ubicada sobre la 2a calle de la zona 2 (evaluación # 63, vulnerabilidad mínima).
- **Hospital Los Aposentos.** Ubicado sobre la 2a calle de la zona 4 (evaluación # 482, vulnerabilidad mínima).
- **Sanatorio Familiar.** Ubicado sobre la 1a calle de la zona 3 (evaluación # 296, vulnerabilidad mínima).
- **FUNDABIEM Chimaltenango.** Ubicado sobre la 3a calle de la zona 4 (evaluación # 763, vulnerabilidad mínima).
- **Clínica Dr. De León.** Ubicada sobre la 3a calle de la zona 4 (evaluación # 757, vulnerabilidad significativa).

De los centros mencionados la fundación Carrol Behrhorst es la que mayor capacidad de atender heridos y de encamamiento tiene por sus grandes instalaciones, siguiéndole el hospital Los Aposentos y el Sanatorio Familiar los que son pequeños en comparación de la fundación Carrol Behrhorst.

2.2.3. Iglesias

En la ciudad de Chimaltenango puede decirse que la iglesia católica ha ejercido mucha influencia en el desarrollo cultural del lugar. Actualmente existen dos iglesias católicas, La Catedral de Santa Ana, situada al oriente del parque central y la de San Francisco a un costado del cementerio general. La iglesia catedral es un templo cuyo estilo original fue barroco y ha sido tres veces reconstruido debido a los acontecimientos sísmicos anteriores.

La última vez se reconstruyó la iglesia catedral fue a raíz del terremoto del 4 de febrero de 1976 y gracias al entusiasmo del entonces sacerdote de Chimaltenango Monseñor Eduardo Fuentes, quien logró reconstruirla de nuevo, dándole esta vez un estilo neoclásico. Posee la iglesia unas campanas que datan del siglo XVI.

También existen en la ciudad iglesias de diferentes religiones como la Iglesia de Jesucristo de los Santos de los últimos días, los Bautistas, evangélicas, etc.

A continuación mencionaremos las iglesias más importantes que existen dentro del sector en estudio:

- **Catedral Santa Ana.** Ubicada sobre la 1a avenida de la zona 2 al oriente del parque central (evaluación # 76, vulnerabilidad mínima).
- **Iglesia Cristiana Visión de Fe.** Ubicada sobre la 2a avenida de la zona 3 (evaluación # 419, vulnerabilidad mínima).
- **Templo Evangélico.** Ubicado en la 3a calle 2-88 zona 4 (evaluación # 488, vulnerabilidad mínima).
- **Iglesia de Dios Maranatha.** Ubicada en la 3a calle 3-48 zona 4 (evaluación # 544, vulnerabilidad mínima).
- **Iglesia de Cristo MI-EL.** Ubicada sobre la 1a calle de la zona 3 (evaluación # 297, vulnerabilidad mínima).
- **Templo Evangélico Canaan.** Ubicado en la 2a calle 5-10 zona 3 (evaluación # 262, vulnerabilidad mínima).
- **Seminario Bíblico Guatemalteco.** Ubicado en la 1a calle 7-206 de la zona 4 (evaluación # 382, vulnerabilidad significativa).
- **Ministerio Cristiano.** Ubicado sobre la 2a calle de la zona 4 (evaluación # 779, vulnerabilidad mínima).

Las iglesias pueden cumplir perfectamente con el papel de lugares de albergue en caso de un desastre, con el único inconveniente de que algunas son pequeñas, pero presentando la mayoría vulnerabilidades mínimas. Las iglesias que presentan instalaciones grandes son la iglesia de Cristo MI-EL, y el Seminario Bíblico Guatemalteco el cual posee una gran extensión de edificios, pero cabe mencionar que se observaron algunas grietas en sus muros perimetrales causados posiblemente por asentamientos diferenciales por lo que su vulnerabilidad es cuestionable porque es distinta a mínima.

En la figura 11 se muestran algunas estructuras de gran importancia para la ciudad de Chimaltenango, y en la figura 12 se puede visualizar la ubicación de los centros de estudios, hospitales, así como de las iglesias que posiblemente pueden ser utilizados como lugares de albergue en caso de un desastre.

Figura 11. Fotografías de estructuras de gran importancia dentro del sector estudiado. a) FUNDABIEM Chimaltenango (evaluación #763), b) Fundación Carrol Behrhorst (evaluación # 63), c) Iglesia Catedral Santa Ana (evaluación # 76), d) Escuela nacional para párvulos Ramona Gil (evaluación # 873).



a

b

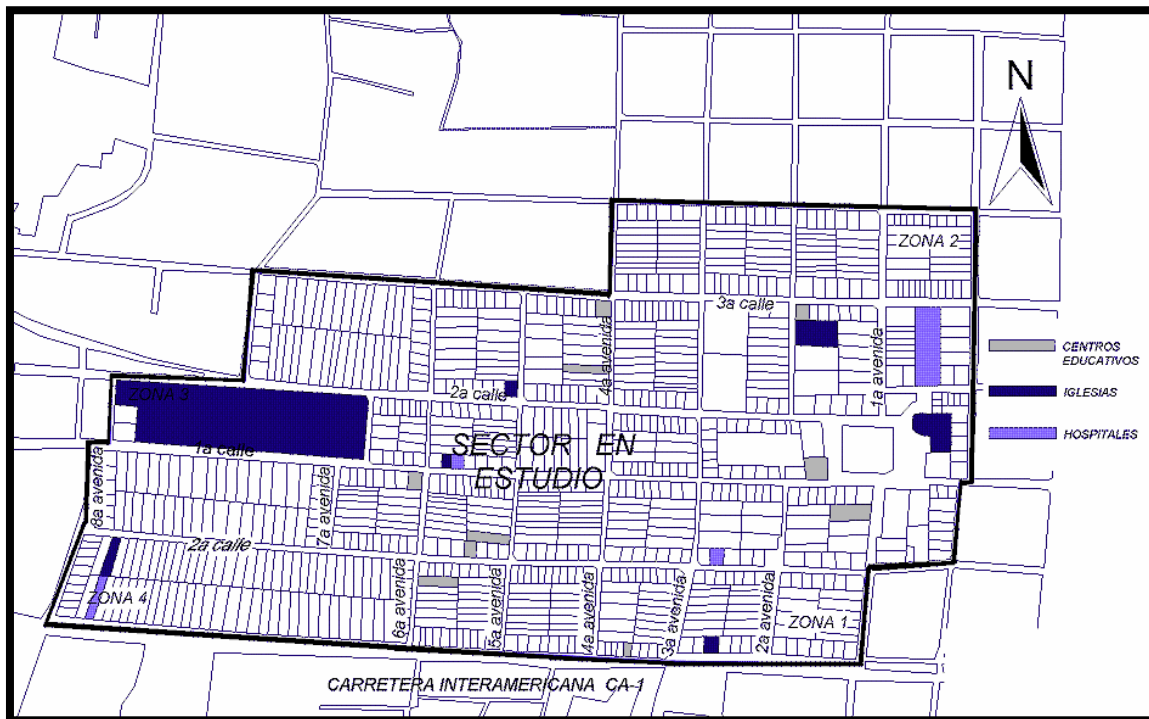


c



d

Figura 12. Sector estudiado, ubicando hospitales y posibles lugares de albergue en caso de un desastre.



3. SERVICIOS BÁSICOS

En este capítulo daremos a conocer los principales servicios con los que cuenta la ciudad de Chimaltenango y sus principales características funcionales.

3.1. Servicio de agua potable

La introducción de agua potable a la ciudad de Chimaltenango fue hecha mediante el acuerdo gubernativo del 14 de febrero de 1883; el 12 de agosto de 1895 se aprobó el contrato respectivo y el 26 de mayo de 1903 se suministraron los fondos para la introducción de agua del río la Virgen. Posteriormente por no ser suficiente el caudal de este río, se introdujo agua del río Los Pescaditos.

La Ciudad de Chimaltenango se quedó sin el servicio de agua potable por un mes debido al terremoto del 1976 (Marroquín y Gándara, 1976). En el año 1977, se perforaron dos pozos mecánicos para aumentar el caudal de agua, cada uno producía 4,000 litros por minuto, estos estuvieron en servicio hasta el año 1979 y se desistió de ellos por el elevado costo de la energía, lo que no compensaba con lo que tributaban los usuarios de este servicio. También en el año 1977, con el financiamiento del Instituto de Fomento Municipal INFOM, se organizó el sistema por bombeo, y se llevó el agua de los Sauces los Aposentos, hacia la ciudad produciendo un caudal de 900,000 litros al día y surtía a la parte oriental de la ciudad. También la distribución de agua se realizó por gravedad a través del nacimiento del río Hierbabuena, que producía un caudal de 100,000 litros por día, este río surtía a la parte occidental de la población de Chimaltenango.

Actualmente la ciudad de Chimaltenango se abastece de agua con algunos nacimientos y con 10 pozos mecánicos y 1 pozo artesanal los que en conjunto producen aproximadamente 1898 galones por minuto, pocos caudales para la demanda actual de agua. El sector estudiado, depende por completo de los pozos que por la poca producción el servicio de esta es regulada por sectores y por horas. La gran mayoría de tubería en la ciudad es de hierro y fue diseñada aproximadamente en el año 1910 por lo que este puede ser un punto débil en el servicio de agua potable con lo que colapsaría fácilmente a la hora de un desastre como un terremoto lo que significa que esta debe de ser rediseñada lo más pronto posible. Algunas colonias tienen su servicio de agua exclusivo y aun así el agua no es suficiente, debido al elevado crecimiento de la población. Para los vecinos de la ciudad que no cuentan con este servicio en sus hogares hay instalados 20 chorros públicos y 15 municipales, además de 4 tanques públicos.

Figura 13. Fotografía mostrando un tanque público dentro del sector estudiado.



En la figura 13 se muestra una fotografía de un tanque público, y en la parte trasera se encuentra un pozo de agua dentro del sector estudiado, la cual reparten por medio camión a la población que no cuenta con este servicio, o que tienen un deficiente servicio en sus hogares.

3.2. Servicio de drenajes

En la ciudad de Chimaltenango se cuenta con más de 8,000 servicios domiciliarios de drenajes. La tubería de la red es de tipo combinado por lo que tanto las aguas pluviales como domiciliarios son conducidas por dicha tubería. Para época de invierno la tubería que ya sobrepasó su periodo de vida útil no se da abasto y colapsa, pudiéndose observar esto en algunas calles y avenidas de la ciudad; por lo consiguiente también es necesario que esta red de drenajes sea rediseñada, pues a la hora de ocurrir un terremoto esta podría dañarse fácilmente con lo que las aguas negras quedarían a la intemperie provocando enfermedades, e inclusive brotes de epidemias.

Todas estas redes de drenajes no cuentan con planta de tratamiento para estas aguas, por lo que son descargadas sin ningún tratamiento hacia los ríos más cercanos.

Se tiene contemplado conseguir financiamiento para un proyecto de red de drenajes y planta de tratamiento con el Sistema Nacional de Financiamiento e inversión Pública SINAFIP.

3.3. Servicio de electricidad

El alumbrado eléctrico se inició en Chimaltenango en el año 1901, cuando el estado concedió a la municipalidad la instalación del alumbrado del jardín público, posteriormente en el año 1906 el alumbrado público.

El suministro de luz y fuerza motriz fue inaugurado el 10 de noviembre de 1932, producido por las aguas del río Pixcaya a nueve kilómetros de la ciudad. Durante esta época el servicio fue deficiente, de muy bajo voltaje y a eso se agrega que cuando llovía fuerte la energía se cortaba por desperfectos en la planta.

El instituto nacional de electrificación INDE fue creado por el gobierno en el año 1959 esta era una institución encargada de suministrar energía eléctrica al país. En el departamento de Chimaltenango comenzó a operar en el año 1976 y desarrolló diversos programas para dotar de energía eléctrica a la población. En el año 1998 el manejo de la energía eléctrica paso a manos de la Distribuidora de Electricidad de Occidente DEOCSA empresa encargada de comercializar dicho servicio.

Existe un gran número de servicios eléctricos en la ciudad de Chimaltenango con lo que también puede observarse un gran desorden aéreo en el tendido de los cables, que puede ser peligroso y crear dificultades a la hora de presentarse un desastre natural; por lo que sería adecuado reordenar estos tendidos eléctricos lo más pronto posible.

Actualmente existe una subestación en el camino viejo que conduce hacia el Tejar (Chimaltenango), la cual se abastece de otras subestaciones de Antigua Guatemala.

Esta subestación es la que distribuye el servicio en la ciudad y sus alrededores la cual no es suficiente para los 17,510 servicios con que cuenta Chimaltenango, por lo que el servicio es deficiente y por lo regular hay muchos cortes de energía porque se sobrecarga el sistema; para darle solución a este problema se están creando nuevas subestaciones en Patzún (Chimaltenango) y san Martín Jilotepeque (Chimaltenango), con esto se descongestionaría la subestación actual. En la figura 14 se muestra en las fotografías de la única subestación para Chimaltenango, y alumbrado público dentro del sector estudiado.

Figura 14. Fotografías de subestación y alumbrado público, a) subestación localizada en el camino viejo que conduce a el Tejar, Chimaltenango, b) alumbrado público dentro del sector estudiado.



a



b

3.4. Servicio de Telecomunicaciones

En la ciudad de Chimaltenango TELGUA comenzó a operar en el año 1978 en la que surgió una ampliación el 17 de agosto de 1990, fecha en que se inauguró la central de tecnología digital. TELGUA se encuentra localizada en la 1a calle y 1a avenida de la zona 1, y tiene dos repetidoras. En la figura 15 se muestra el edificio comercial de TELGUA, el que tiene dos repetidoras.

Figura 15. Estructura de uso comercial de TELGUA (evaluación # 4).



Para el tendido de líneas de teléfonos se hace por zanjeo en el cual los cables quedan subterráneos, en otros lugares se instalan en forma aérea a través de postes. Como en el caso del servicio eléctrico, el servicio telefónico por lo general en la actualidad se realizan las instalaciones de forma aérea y esto va de la mano con un gran desorden que al ocurrir un terremoto estas pueden ser afectadas entre si, y quedaría suspendido dicho servicio.

Chimaltenango cuenta con teléfonos residenciales y públicos (tarjeteros o monederos). Los residenciales son los que están instalados en casas particulares, residenciales, apartamentos, etc. Los monederos que actualmente la mayoría son tarjeteros están colocados en los edificios de la municipalidad, alrededor del edificio de TELGUA, y los hay también en diferentes calles y avenidas de la ciudad; algunos de estos fuera de servicio o en mal estado.

En la actualidad existen 7,000 teléfonos residenciales con cables aéreos o subterráneos; 1,500 teléfonos inalámbricos y 150 teléfonos públicos.

4. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

En este capítulo, se presentará el formulario utilizado para las evaluaciones, datos importantes, los diferentes grados de vulnerabilidad estructural hallados en el área evaluada, así como un mapa indicador de la vulnerabilidad sísmica de dicha área.

4.1. Formulario de evaluación

El formulario utilizado para realizar las evaluaciones es el del método ATC-21, el que ha sido adaptado para una zona altamente sísmica con una aceleración máxima esperada del suelo de 0.3g o mayor, al menos una vez en cincuenta años, la cual es propuesta como valor representativo en la norma recomendada AGIES NR 1-96 (AGIES, 1996), y determina el criterio de amenaza en este trabajo.

El método ATC-21 para realizar las evaluaciones toma en cuenta importantes características estructurales como tipo de estructura, uso de la estructura, altura, irregularidad vertical, mal mantenimiento, etc.

En la siguiente página, se muestra el formulario de evaluación utilizado en el estudio.

METODO DE EVALUACION VISUAL RAPIDO															
Dirección:															
Identificación:										Código postal:					
Número de pisos:										Area en m ² :					
Uso original:										Año de construcción:					
Inspector:										Fecha de inspección:					
Número de ocupantes															
0-10															
11-100															
>100															
TIPO															
Residencial															
Comercial															
Oficinas															
Industrial															
Reunion pública															
Esc./Inst.															
Edif. de Gob.															
Serv. emergencia															
Edificio histórico	ESQUEMA														
Peligro en colindancias															
SI NO	CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACIÓN														
Otros peligros	Tipo de estructura	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR
	Calificación básica	4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	1.5	2.0	3.0	1.5	2.0	1.5	3.0	2.5	1.0
	Gran altura	N/A	-2.0	-1.0	N/A	-1.0	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5	N/A	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5
	Mal mantenimiento	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	Irregularidad vertical >40%	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	Irregularidad vertical 20%-40%	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
	Irregularidad vertical 10%-20%	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
	Nivel suave	-1.0	-2.5	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0
	Torsión	-0.8	-1.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
	Irregularidad en planta >40%	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	Irregularidad en planta 20%-40%	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
	Irregularidad en planta 10%-20%	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
	Colisión entre edificios	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	Paneles pesados en fachada	N/A	-1.5	-1.5	-1.5	N/A	N/A	-1.0	N/A	N/A	N/A	-1.0	N/A	N/A	N/A
	Columnas cortas alta rigidez	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
Peligro no estructural	Columnas cortas mediana rigidez	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	N/A	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
SI NO	Columnas aisladas < 0.30*0.30 cm	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	N/A	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
	Código de diseño sísmico														
	Otro modificador aplicable														
Confiable	Suelo rígido (edificios altos)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
de los datos	Suelo rígido (edificios bajos)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
	Suelo firme y estable	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Alta	Suelos blandos	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Media	Suelos blandos (edificios altos)	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
Baja	Calificación final														
Observaciones:										Se sugiere evaluación detallada					
										SI NO					

4.2. Presentación de datos

En el área estudiada se evaluó cada estructura mediante el método de evaluación visual rápida, que es el método ATC-21 el cual fue desarrollado, también para evaluar estructuras fuera del área de California en diferentes tipos de amenaza sísmica. Los fundamentos de este método pueden ser consultados con mayor detalle en la literatura Applied Technology Council ATC-21, 1988; Arrecis, 2002; Jerez, 2000. Si se pretende profundizar más en el tema y tener una mejor comprensión sobre lo que es este método. El sector estudiado tiene un área de $516,870\text{m}^2$, residen en esta área alrededor de 14,874 personas estimadas de acuerdo con el método planteado en (Arrecis, 2002), en cuanto a número de estructuras en el sector existen 905 unidades que fueron evaluadas.

En la tabla II se encuentran las principales características del área evaluada.

Tabla II. Características generales del área evaluada

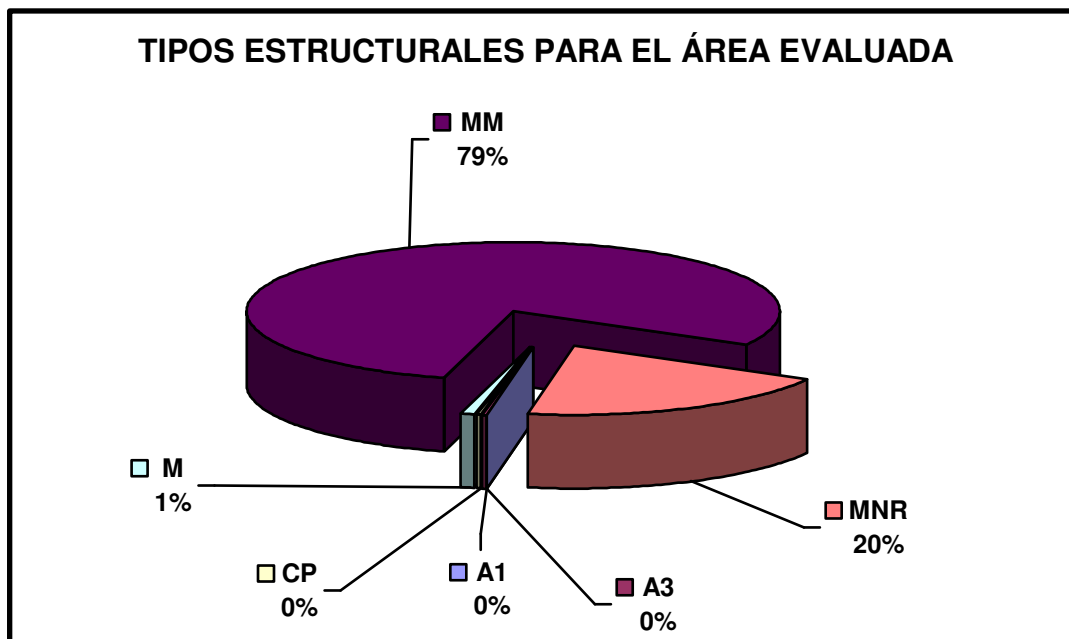
Características generales del área evaluada		
Características	Unidades	Cantidades
Área	m^2	516,870
Número de habitantes	Personas	14,874
Numero de estructuras	Unidades	905
Área de construcción	m^2	205,739
Área libre	m^2	311,131
Área construida	m^2	268,388
Índice de ocupación	%	34.51
Índice de construcción	%	52.44
Área por habitante	$\text{m}^2/\text{persona}$	34.51
Área de construcción por habitante	$\text{m}^2/\text{persona}$	13.74
Área construida por habitante	$\text{m}^2/\text{persona}$	17.92
Área promedio por estructura	$\text{m}^2/\text{estructura}$	227.34

La tabla III y la figura 16, muestra los diferentes tipos estructurales hallados dentro del sector estudiado.

Tabla III. Cuantificación de los distintos tipos de estructuras existentes en el área evaluada.

Tipos estructurales existentes dentro del sector estudiado		
Tipo de estructura	Símbolo	Unidades
Estructuras de acero livianas	A3	2
Estructuras de concreto prefabricado	CP	2
madera	M	8
Mampostería media	MM	713
Mampostería no reforzada	MNR	179
Marcos de acero resistentes a momento	A1	1

Figura 16. Cuantificación de los tipos de estructuras en el área evaluada.



Un 79% lo constituyen estructuras de mampostería media, seguido por las estructuras de adobe que representan un 20%.

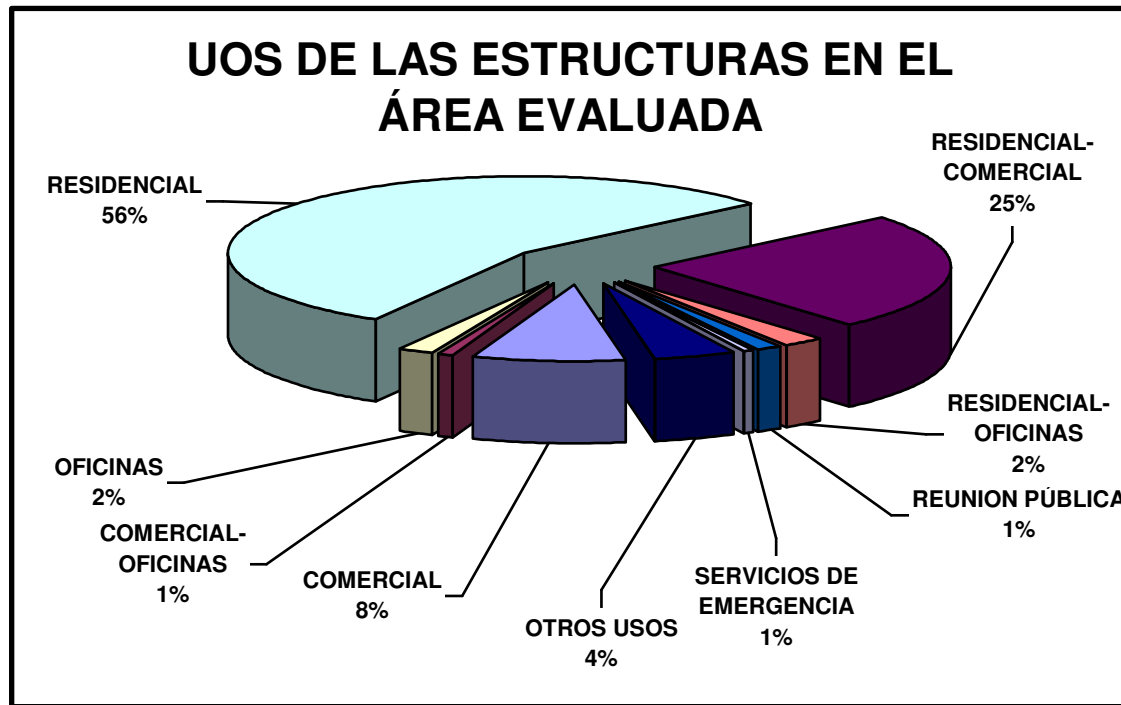
Estas últimas estructuras presentan gran peligro para el sector estudiado pues en la mayoría destaca la autoconstrucción y empirismo.

Tabla IV. Uso de las estructuras en el área evaluada.

Usos de las estructuras en el área evaluada		
Uso	Unidades	Porcentaje
RESIDENCIAL	502	55.47
COMERCIAL	76	8.40
COMERCIAL-REUNION PÚBLICA	1	0.11
OFICINAS	19	2.10
INDUSTRIAL	7	0.77
REUNION PÚBLICA	13	1.44
ESCUELA O INSTITUTO	10	1.10
EDIFICIO DE GOBIERNO	4	0.44
SERVICIOS DE EMERGENCIA	5	0.55
RESIDENCIAL-COMERCIAL	224	24.75
RESIDENCIAL-OFICINAS	21	2.32
RESIDENCIAL-INDUSTRIAL	3	0.33
RESIDENCIAL-REUNION PÚBLICA	5	0.55
RESIDENCIAL-ESCUELA O INSTITUTO	2	0.22
RESIDENCIAL-SERVICIOS DE EMERGENCIA	1	0.11
COMERCIAL-OFICINAS	6	0.66
OFICINAS-REUNION PÚBLICA	1	0.11
OFICINAS-ESCUELA O INSTITUTO	1	0.11
OFICINAS-EDIFICIO DE GOBIERNO	2	0.22
REUNION PÚBLICA-ESCUELA O INSTITUTO	1	0.11
RESIENCIAL-COMERCIAL-INDUSTRIAL	1	0.11
Total	905	100.00

Los usos de las estructuras son los mostrados anteriormente en la tabla IV.

Figura 17. Usos de las estructuras en el área evaluada



La figura 17 muestra los porcentajes de los usos de las estructuras, siendo los principales el uso residencial, el residencial-comercial y el comercial.

4.3. Cálculo del grado de vulnerabilidad estructural

Los grados de vulnerabilidad de cada estructura, se obtienen de la menor calificación que se obtiene al restar y sumar a la calificación básica de cada tipo estructural, seleccionando todos los modificadores del comportamiento sísmico que presenta la estructura evaluada. En la tabla V se presentan las calificaciones finales y sus respectivos grados de vulnerabilidad.

Tabla V. Calificación final y grado de vulnerabilidad

Calificación Final C.F.	Vulnerabilidad
C.F. ≥ 1.50	Mínima: se esperan pérdidas materiales menores a un 5% del área construida del edificio, y un potencial número de muertes y heridos menor al 10% de los habitantes del edificio
$0.25 \leq \text{C.F.} < 1.50$	Significativa: se esperan pérdidas materiales hasta del 33% del área construida del edificio, un potencial número de muertes del 25% de los habitantes de la estructura y un 25% de heridos.
$-1.00 \leq \text{C.F.} < 0.25$	Alta: se esperan pérdidas materiales hasta del 66% del área construida del edificio, un potencial número de muertes del 30% de los habitantes de la estructura y un 30% de heridos.
C.F. < -1.00	Muy Alta: se esperan pérdidas materiales totales, un potencial número de muertes del 60% de los habitantes de la estructura y un 20% de heridos.

4.4. Cálculo de los índices de vulnerabilidad estructural

Para este estudio, la vulnerabilidad podrá ser estimada en valores entre 0 ó sin daño, hasta 1 ó pérdida total calculada en porcentajes del daño potencial en elementos materiales y humanos respecto al total de elementos en el sector bajo riesgo, valores que constituyen los índices indicadores de la vulnerabilidad estructural del área evaluada.

La tabla VI muestra las cantidades de unidades estructurales, áreas de construcción y áreas construidas dentro del sector estudiado clasificadas dentro de cada grado de vulnerabilidad conforme a los resultados obtenidos en las evaluaciones, y los porcentajes respectivos.

Tabla VI. Índices de vulnerabilidad estructural para el área evaluada dentro del sector estudiado.

ÍNDICES DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL PARA EL ÁREA EVALUADA DENTRO DEL SECTOR EN ESTUDIO					
CRITERIO \ VULNERABILIDAD	MUY ALTA	ALTA	SIGNIFICATIVA	MÍNIMA	TOTAL
UNIDADES ESTRUCTURALES	22	42	206	635	905
	2.43%	4.64 %	22.76%	70.17 %	100.00 %
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN (m²)	6,449.00	8,589.00	47,511.00	143,190.00	205,739.00
	3.13 %	4.17 %	23.09 %	69.60 %	100.00 %
ÁREA CONSTRUIDA (m²)	6,787.00	10,195.00	61,899.00	189,507.00	268,388.00
	2.53 %	3.80%	23.06 %	70.61 %	100.00 %

La tabla VII muestra los índices de vulnerabilidad para el área evaluada dentro del sector estudiado en función de las pérdidas en elementos materiales y humanos.

Tabla VII. Índices de vulnerabilidad estructural para el área evaluada dentro del sector estudiado.

ÍNDICES DE VULNERABILIDAD PARA EL ÁREA EVALUADA DENTRO DEL SECTOR EN ESTUDIO			
TIPO DE DAÑO	CANTIDAD DE DAÑO	ELEMENTOS BAJO RIESGO	INDICE DE VULNERABILIDAD
Muertos (personas)	660	14,974	4.41 %
Heridos (personas)	1,393	14,974	9.30 %
Daños Materiales	Q41,914,844.94	Q346,710,650.00	12.09 %

4.5. Mapa del grado de vulnerabilidad estructural del sector estudiado

Con el criterio de facilitar la visualización de la vulnerabilidad estructural o para desarrollar planes de mitigación, suelen ser muy útiles mapas que ilustren el sector estudiado con un color asignado de acuerdo con la vulnerabilidad estructural hallada, por lo que se sugieren los colores presentados en la tabla VIII.

Tabla VIII. Colores sugeridos para cada vulnerabilidad estructural.

VULNERABILIDADESTRUCTURAL	COLOR ASOCIADO
Muy alta	ROJO
Alta	ANARANJADO
Significativa	AMARILLO
Mínima	VERDE

La figura 18 ilustra un mapa en el que se identificó con un color cada lote del sector evaluado, según su grado de vulnerabilidad estructural de acuerdo a los resultados obtenidos de la calificación final del método ATC-21, y con el criterio utilizado en la tabla VIII. Su propósito es facilitar la identificación de las estructuras más vulnerables para poder desarrollar y priorizar planes de mitigación.

Figura 18. Mapa del sector estudiado que ilustra el grado de vulnerabilidad estructural de cada lote evaluado, ante fenómenos sísmicos que presenten aceleraciones del suelo iguales o mayores a 0.3g en la componente horizontal.



5. MEDIDAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS

Es muy difícil predecir con exactitud el día, la hora y las características de un terremoto que va a ocurrir en un determinado lugar. Más sin embargo es importante mencionar que un terremoto vuelve a ocurrir con magnitud semejante y con cierta frecuencia en el mismo lugar.

La experiencia nos demuestra que la forma más económica y eficiente para reducir los desastres naturales es contar con un programa de prevención. Conociendo la vulnerabilidad estructural ante una amenaza sísmica nos permite estimar la cantidad de daños potenciales, y nos brinda la posibilidad de tomar medidas que nos permitan mitigar los daños posibles provocados por dicha vulnerabilidad, teniendo como principal objetivo que las vidas humanas y el desarrollo del país no sean severamente dañados como en desastres anteriores. Por lo que la capacitación y la preparación de la población son prioritarias dentro de cualquier plan general de reducción de desastres, especialmente en el caso de un terremoto.

En este capítulo se muestran posibles soluciones a diversos problemas encontrados en las estructuras del sector estudiado.

5.1. Deficiencias estructurales observadas en el sector y medidas de mitigación propuestas

A continuación se enumerarán los problemas típicos de los principales tipos estructurales existentes dentro del sector estudiado:

Estructuras de mampostería no reforzada (adobe)

Problemas observados

a) mal mantenimiento: es muy común encontrar muros de adobe expuestos a la intemperie, sin recubrimiento alguno, los que son fácilmente erosionados por la lluvia y por el viento, y en varias viviendas es muy notorio este efecto, también se encuentran muros que están completamente desplomados, los que en cualquier momento podrían derrumbarse. En muchos casos las estructuras de madera utilizadas en los techos y en los dinteles de puertas y ventanas ya están podridos y carcomidos por los insectos, por lo que ya no cumplen con su función estructural designada.

b) Ampliaciones peligrosas: se observa que en algunos casos sobre los muros de mampostería no reforzada se construyó con bloque, no tomando en cuenta que la adherencia entre el concreto y el adobe no es buena, y al someterse a algún movimiento sísmico puede colapsar.

La figura 19 muestra algunos ejemplos de los problemas típicos observados en estructuras de mampostería no reforzada. a) Fotografía donde se observa una estructura de mampostería no reforzada de uso residencial, la que evidencia mal mantenimiento; el adobe se encuentra expuesto a la intemperie, en el techo y sobre las puertas los elementos estructurales de madera ya se encuentran podridos necesitando un reemplazo inmediato (evaluación # 391). b) Fotografía de una estructura de adobe en la que se puede observar que en la parte lateral derecha los muros en mal estado y expuestos a la intemperie se construyó sobre estos con bloque, resaltándose con esto el empirismo (evaluación # 459).

Figura 19. Ejemplos de problemas típicos observados en estructuras de mampostería no reforzada.



Medidas de mitigación

a) protección de los muros: por medio de sobrecimientos altos, estucos impermeables, aleros, etc. que impidan que la lluvia los moje en forma directa.

También se pueden proteger por medio de encamisado de alambre, siempre que el muro cuente con columnas; el que consiste en colocar alambre de amarre o mallas aseguradas a las columnas del muro.

b) estabilización del material por métodos fisicoquímicos: de estos el más empleado es el calor. El suelo cocido a temperatura adecuada cambia sus propiedades y se convierte en masa dura, inerte y estable; siendo esta la base para la fabricación de ladrillos y tejas de arcilla cocida.

Estructuras de mampostería reforzada

En el sector estudiado, las estructuras de mampostería media es la que esta presente en la mayoría de viviendas. Evidenciándose desde construcción profesional hasta autoconstrucción y construcción empírica.

Problemas observados

a) empirismo y autoconstrucción: es común encontrar estructuras que evidencian rasgos de empirismo, se observa que en muchas de estas estructuras se utiliza mucho mortero a base de cal con escaso cemento para pegado de unidades de mampostería como el bloque o ladrillo cocido; lo que repercute directamente en menor resistencia al pegado de estas unidades de mampostería (evaluaciones # 20,107,315,etc). Los detalles de construcción son en muchos casos deficientes, producto de una escasa formación de la mano de obra y una casi inexistente supervisión (Quiñónez, 1996), resaltándose la inexistente supervisión en la ciudad de Chimaltenango.

b) Irregularidades en planta: se observan varias edificaciones de uno o más niveles con irregularidades en planta, lo que influye en su configuración geométrica, provocada por los diseños asimétricos o por la autoconstrucción y empirismo. Estas irregularidades crean puntos de concentración de esfuerzos o puntos demasiado débiles.

La figura 20 muestra algunos ejemplos de problemas típicos observados en las estructuras de mampostería reforzada entre los que se destacan. a) Fotografía de una estructura de mampostería media la cual muestra cierta irregularidad en planta y empirismo (evaluación # 388). b) En la fotografía se puede observar que sobre la cenefa del primer nivel hay leños de madera, los que son un peligro evidente; también puede señalarse que en la parte lateral izquierda el muro expuesto, el bloque fue pegado con mortero a base de cal, y que las columnas tienen pobre cantidad de cemento (evaluación # 351).

Figura 20. Ejemplos de problemas típicos observados en estructuras de mampostería media



a



b

Medidas de mitigación

Debido a que en el sector en estudio existen un gran número de estructuras de mampostería media con una gran variedad de situaciones, se dificulta proponer alguna medida de mitigación. Por lo que se recomienda practicar evaluaciones más detalladas a las estructuras que presenten vulnerabilidad que no sea la mínima. También se puede hacer énfasis en aplicar formación técnica a la mano de obra, para que el nivel de formación de estos sea superior al actual.

Estructuras de madera

Se pueden observar estructuras de madera que van desde covachas hasta estructuras livianas grandes.

Problemas observados

Por lo general el problema más evidente es el deterioro de la mayoría de las estructuras por la falta de mantenimiento y tratamiento contra insectos y microorganismos, al grado de deshacerse al tacto, pues algunas sobrepasan los 15 años de cumplir sus funciones estructurales.

La figura 21 muestra ejemplos de algunos de los problemas en estructuras de madera. a) Fotografía mostrando una estructura de madera de uso residencial-comercial la que presenta el problema de que la madera se encuentra podrida y ya carcomida por los insectos, además de presentar riesgo en el techo por objetos colocados en el, los que en cualquier momento podrían deslizarse (evaluación # 511). b) Fotografía de otra estructura de madera de uso residencial la que presenta los mismos problemas presentados en el inciso a, y además se puede observar que la acometida del servicio eléctrico esta por caerse lo que podría provocar un peligro inminente de incendio (evaluación # 484).

Figura 21. Ejemplos de problemas típicos observados en estructuras de madera.



Medidas de mitigación

Por el deteriorado estado en que se encuentran, lo más recomendable es el reemplazo total de los elementos estructurales, y superficiales. Someter estos elementos previamente a tratamientos para que su calidad, duración, comportamiento y desempeño sean lo más óptimos posibles. Dar mantenimiento posteriormente a la estructura en general, para prolongar sus funciones designadas.

La base de datos de las evaluaciones realizadas, el archivo de texto, así como el mapa de la ciudad de Chimaltenango se entregarán, para visualizar las diferentes evaluaciones y deficiencias observadas en el sector estudiado en un disco compacto a las siguientes instituciones:

- Centro de Información para la Construcción (CICON).
- Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Gobernación Departamental de Chimaltenango.
- Municipalidad de Chimaltenango.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Centro de Estudios Superiores en Energía y Minas de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

5.2. Discusión sobre la fabricación de bloques y ladrillos de suelo cocido

Desde 1976 a causa del terremoto del 4 de febrero del mismo año fue incrementado el uso del bloque para construcción de viviendas, a su vez esto provoco que surgieran numerosas fábricas productoras de este material de construcción que trajo consigo un escaso control de calidad para su elaboración por parte de los fabricantes provocando con esto baja calidad en los bloques fabricados.

La calidad de los bloques, sin embargo permanece en la actualidad en un promedio de 15Kg/cm^2 , en resistencia a la compresión (Quiñónez, 1996).

También se debe mencionar que numerosas fabricas de ladrillo de suelo cocido surgieron en el Tejar (Chimaltenango), a partir de 1976. La fabricación de este material de construcción es artesanal, por lo que es elaborado empíricamente y por tradición, no existe control de calidad para su fabricación por lo que constituye un riesgo para su utilización en la construcción. En la actualidad existen numerosas fábricas de bloque las que con recetas empíricas elaboran este mismo, sin saber exactamente cual es la resistencia de este material de construcción. También existe una empresa la cual elabora este material y ofrece diferentes resistencias en sus bloques, garantizando estas resistencias respaldadas por muestras que mandan al centro de investigación de la facultad de ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala.

Se debe mencionar que la calidad de estos dos materiales de construcción no se ha tomado en cuenta por la mayoría de sus productores ni por los compradores de estos. En Chimaltenango se necesita de programas de investigación, para tener un control de calidad de la producción de estos materiales.

También se necesita de la capacitación masiva de mano de obra por parte del INTECAP, la cual da cursos de albañilería y maestro de obra, y tiene sede en la manzana K de la lotificación Santa teresita zona 2 para que esta sea calificada. Estos factores son de suma importancia para reducir en un largo plazo los daños asociados a un posible terremoto.

Otro aspecto muy importantes es que en la municipalidad de Chimaltenango tiene un reglamento de construcción que fue elaborado en el año 1992, pero este no es aplicado como debiera ser pues las licencias de construcción se otorgan fácilmente, sin la exigencia de planos de construcción.

Tampoco hay un departamento encargado para supervisar estas construcciones, por lo que el propietario se entiende únicamente con su constructor, que en muchos casos son constructores empíricos y no profesionales, lo que directamente influye en que la ciudad de Chimaltenango sea más vulnerable ante sismos, por estas causas que deben de ser tratadas en un corto plazo.

5.3. Trabajos realizados por CONRED dedicados al riesgo sísmico

La CONRED (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres), tiene un esquema para la gestión del riesgo, el que incluye la prevención y respuesta. En lo que se refiere a la prevención se plantea el problema, en este caso un sismo mediante los siguientes pasos:

a) Análisis del riesgo:

- Conociendo las causas del problema como los suelos altamente sísmicos en mayor o menor escala, deslizamientos, asentamientos diferenciales, gran número de estructuras de adobe, para lo que se debe de conocer las causas de la amenaza sísmica a nivel nacional por medio de la identificación de fuentes sísmicas, periodos de recurrencia y el establecimiento de bases de datos históricas de la sismicidad que permita estudios específicos de amenaza sísmica, en las zonas bajo estudio, por ejemplo no se tiene un estudio de amenaza sísmica en particular para la ciudad de Chimaltenango, lo que debe de ser tomado en cuenta.
- Midiendo el tamaño del problema con metodologías apropiadas, por medio de la estimación de las pérdidas humanas, pérdidas materiales, número de heridos.

b) Se proponen opciones de solución: por ejemplo suponiendo que un gran porcentaje de estructuras es de adobe en un sector, se propone reemplazar estas por su deficiente capacidad de respuesta ante un sismo, por unas de mayor capacidad de respuesta ante dicho sismo.

c) Ejecutar las opciones de solución: para lo que se necesitan suficientes recursos humanos y económicos para poder realizarlos adecuadamente.

La CONRED no tiene sede en el departamento de Chimaltenango, pero esta ligada a la Región 5 que es la del departamento de Escuintla. Chimaltenango cuenta con una estructura social organizada que es la CODRED (Coordinadora Departamental para la Reducción de Desastres), la que es presidida por el señor gobernador; y está coordinada con la alcaldía municipal de cada municipio de Chimaltenango por medio de COMRED (Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres); que a su vez está coordinada con COLRED (Coordinadora Local para la Reducción de Desastres), la que funciona por medio de alcaldes auxiliares de cada localidad. Esta estructura social involucra a la sociedad civil, instituciones, iglesias. CODRED elabora planes para todo el año que incluyen terremotos, pero estos son solamente planes generales de respuesta ante desastres naturales, y no se enfocan tanto en la prevención de sismos, lo que debería de ser tomado muy en cuenta para reducir la vulnerabilidad del departamento ante un sismo.

Dentro de los eventos de suma importancia realizados por CONRED se pueden mencionar los siguientes:

Lo realizado anterior al año 1996 fue llevado a cabo por el entonces existente CONE (Comité Nacional de Emergencias).

- El 4 de febrero de 1976, debido al terremoto se implemento el plan de los 100 días de descombramiento y albergue en todo el país.
- En 1991 debido al terremoto en San Miguel Pochuta, Chimaltenango. Se realizó la organización de comités departamentales y locales de emergencia a nivel nacional, así como la capacitación a personal docente para respuesta inmediata en caso de movimientos sísmicos.
- El 9 de diciembre de 2004 se realizó un simulacro de sismo para entrenar a los COES (Centro de Operaciones de Emergencias), y a los grupos BREC (Grupos de Búsqueda y Rescate en Estructuras Colapsadas), lo que sería de suma importancia ser replicado también en Chimaltenango y en cada departamento del país para hacerlos menos vulnerables antes los desastres provocados por un sismo.

La CONRED tiene proyectado realizar en el país un proyecto sobre riesgo urbano asociado a sismos y reducción de pérdidas humanas, el cual es un proyecto internacional denominado GESI (Global Earthquake Safety Initiative).

Este proyecto tiene como principal objetivo implantar actividades que reduzcan el riesgo urbano asociado a la pérdida de vidas humanas en terremotos. Con lo que el presente trabajo será un aporte para fortalecer este proyecto.

Para el año 2006 cumpliéndose el XXX aniversario del terremoto del año 1976 se tiene contemplado realizar un simulacro en las principales escuelas del país, para concienciar a la población sobre la importancia que tiene el estar preparados para un futuro evento sísmico inevitable. Por lo que se espera sea tomando en cuenta el departamento de Chimaltenango por sus antecedentes sísmicos, y se realicen también estos simulacros en dicho departamento y sus municipios.

CONCLUSIONES

1. De 905 estructuras existentes dentro del sector estudiado, 179 son de mampostería no reforzada de adobe, equivalente al 31% del total de estructuras evaluadas, de las cuales, la mayoría se encuentran en malas condiciones.
2. De cada 100 estructuras existentes en el área evaluada dentro del sector estudiado, siete son susceptibles de sufrir daños en más del 66% de su área construida, lo que equivale a 64 estructuras con posibilidad de daños severos de un total de 905 evaluadas en el sector.
3. Los índices de vulnerabilidad estructural en el área evaluada son los siguientes: Mínima 70.17%, significativa 22.76%, alta 4.64%, muy alta 2.43%.
4. Se calculan cuatro muertes y nueve heridos potenciales por cada 100 personas dentro del sector en estudio, por colapsos parciales o totales de estructuras, peligros no estructurales y peligros en colindancias, lo cual hace un total de 660 muertos y 1,393 heridos potenciales.
5. Se estima que un total de 16,982 m² de área construida en el sector evaluado, equivalente al 6.37% del total del área construida en el sector evaluado, sufrirá daños severos.

6. Las estructuras de mampostería no reforzada son las que presentan mayor vulnerabilidad a los sismos, por lo que es importante que éstas sean readecuadas por sus propietarios.
7. Es de suma importancia que las estructuras que presentan vulnerabilidades altas y muy altas sean readecuadas o reemplazadas en un período no muy prolongado.

RECOMENDACIONES

1. Es muy importante que estos estudios de vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica sean realizados en toda la república, con el propósito de someterlos a comparaciones y así poder estimar los daños potenciales a nivel general, con el propósito de reducir las vulnerabilidades encontradas.
2. Se puede reducir el riesgo a sismos a largo plazo, tecnificando y ofreciendo mayores oportunidades de capacitación, y un procedimiento de licencia obligado a nivel municipal a constructores de edificaciones menores, por la gran cantidad que en el país se construyen de este tipo.
3. Que las respectivas municipalidades ejerzan más control y se cree un departamento de supervisión de obras civiles, para la autorización y ejecución de obras nuevas.
4. Sería de mucha ayuda que el Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), promoviera con mayor énfasis en los pueblos o lugares alejados, cursos de capacitación para constructores empíricos.
5. Que las instituciones como CONRED sigan promoviendo programas de prevención a mayor escala y simulacros para lograr la concienciación de la población ante los fenómenos sísmicos.

6. Es de total importancia que el Estado, al conocer las características altamente sísmicas propias del país y teniendo idea de la amenaza y al mismo tiempo información para ser incluida dentro de un reglamento de diseño de estructuras, promueva estudios actualizados y normas de construcción sismorresistente.
7. Es conveniente realizar evaluaciones a todas las edificaciones restantes de la ciudad de Chimaltenango, así como al departamento en general, pues éste fue fuertemente dañado para el terremoto del 4 de febrero de 1976, razón de suficiente peso para tomar en cuenta.
8. Que las universidades se unifiquen para estudiar más a fondo la sismicidad en suelo guatemalteco y las maneras de reducir la vulnerabilidad sísmica.
9. Realizar un estudio a nivel específico de la ciudad de Chimaltenango, sobre la amenaza sísmica; así como estudios locales de respuesta de sitio con las condiciones de los suelos en las que se encuentra asentada la ciudad, con el fin de tratar de establecer posibles amplificaciones de las ondas sísmicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGIES, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. **Normas estructurales de construcción recomendadas para la república de Guatemala NR 1-96.** (Guatemala: AGIES, 1996).
2. AGIES, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. **Normas estructurales de construcción recomendadas para la república de Guatemala NR-2:2000.** (Guatemala: AGIES, 2000).
3. Applied Technology Council. **Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook. ATC 21.** (California: ATC, 1988).
4. Applied Technology Council. **Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation. ATC 21-1.** (California: ATC 1988).
5. Arrecis Sosa, Francisco Eduardo. Vulnerabilidad sísmica estructural en un sector de la zona 3 de la ciudad de Guatemala. Tesis ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002. 114pp.
6. CONRED, Entrevista personal con el Ing. Rüdiger Escobar. 2005.
7. Cerezo R. Ensayo de evaluación de las repercusiones económicas generales del terremoto en una de las áreas más afectadas. **Simposio internacional sobre el terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción.** Tomo I.
8. **Diccionario municipal de Guatemala.** 3a. Ed. 2001.
9. Herraíz, Miguel. **Conceptos básicos de sismología para ingenieros.** (Perú, 1997).
10. Instituto Geográfico Nacional. **Mapa de área construida Chimaltenango 1976.**
11. Instituto Geográfico Nacional. **Mapa de área construida Chimaltenango 2001.**
12. Instituto Geográfico Nacional. **Mapa de suelos área urbana de Chimaltenango.**

13. Instituto Geográfico Nacional. **Mapa geológico área urbana de Chimaltenango.**
14. Instituto Nacional de Estadística. **Características de la población y de los locales de habitación censados.** (Guatemala: INE, 2003).
15. Instituto Nacional de Estadística. **Estadísticas sobre el medio ambiente período 1998-2000.** (Guatemala: INE, 2002).
16. Jerez, Margarita. **Manual de evaluación visual rápida.** (Guatemala: Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia, 2000).
17. Ligorria, Juan Pablo. **Seismic Hazard for Guatemala Technical Report No. 2-21 NORSAR.** (Guatemala, 1995).
18. Marroquín Hermes y Gándara José Luis. Comité de Reconstrucción Nacional. **La vivienda popular en Guatemala antes y después del terremoto del 4 de febrero de 1976.** (Guatemala: CRN, 1976), Editorial Universitaria, 1976.
19. Molina, Enrique y otros. Amenaza sísmica en Guatemala. **XX Aniversario del terremoto de 1976.** Guatemala. 1996. p.19-47.
20. Monzón Despag, Héctor. La construcción y el uso del terreno en Guatemala, su vulnerabilidad sísmica. **XX Aniversario del terremoto de 1976.** (Guatemala, 1996) p. 107-136.
21. Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. **Construcción económica resistente a sismos y huracanes.** Nueva York, 1976.
22. **The Guatemala Earthquake of February 4, 1976, A Preliminary Report. Geological Survey Professional Paper 1002.** Editorial A. F. Espinosa, 1976.
23. Quiñónez, Javier. Vulnerabilidad de viviendas construidas con mampostería no reforzada en Guatemala. **XX Aniversario del terremoto de 1976.** (Guatemala,1996) p.137-141.
24. Revilla, Benedicto. **Guatemala: El terremoto de los pobres.** Editorial Sedmay, 1976.
25. Simmons, Charles y otros. **Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala.** Editorial del Ministerio de Educación Pública (Guatemala, 1958).

26. **Simposio internacional sobre el terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción.** Tomos I y II.
27. Unidad de Planificación, Oficina de Lingüística, USAC. **Especificaciones formales para el trabajo de graduación.** Guatemala: Editorial Universitaria, 2000.27pp.
28. Unidad de Planificación, Oficina de Lingüística, USAC. **Reglamento de trabajos de graduación.** Guatemala: Editorial Universitaria, 2000.16pp.