



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL EN UN SECTOR DE LA ZONA 12, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

**Juan Carlos Farfán Mendoza
Eduardo Antonio Díaz Beteta**

Asesorado por el Ingeniero Omar Flores Beltetón

Guatemala, abril de 2009



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

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL EN UN SECTOR DE LA ZONA 12, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

**Juan Carlos Farfán Mendoza
Eduardo Antonio Díaz Beteta.**

Asesorado por el Ingeniero Omar Flores Beltetón

Guatemala, abril de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL EN
UN SECTOR DE LA ZONA 12, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JUAN CARLOS FARFÁN MENDOZA

EDUARDO ANTONIO DÍAZ BETETA

ASESORADO POR EL INGENIERO OMAR FLORES BELTETÓN

AL CONFERÍRSELES EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II | Inga. Alba Maritza Guerrero de López |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. José Milton De León Bran |
| VOCAL V | Br. Isaac Sultán Mejía |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Juan Carlos Farfán Mendoza

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Sydney Alexander Samuels |
| EXAMINADOR | Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa |
| EXAMINADOR | Ing. Jeovany Rudaman Miranda |
| EXAMINADOR | Ing. William Ricardo Yon Chavarria. |
| SECRETARIO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II | Inga. Alba Maritza Guerrero de López |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. José Milton De León Bran |
| VOCAL V | Br. Isaac Sultán Mejía |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Eduardo Antonio Díaz Beteta

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Sydney Alexander Samuels |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Alberto Lam Lan |
| EXAMINADOR | Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa |
| EXAMINADOR | Ing. Selvin Enrique Estrada Barrera |
| 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:

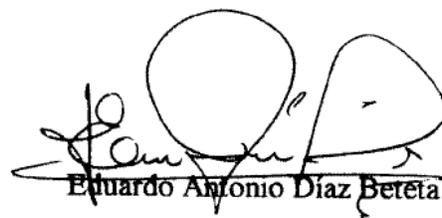
**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL EN
UN SECTOR DE LA ZONA 12, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 19 de marzo de 2007.

Juan Carlos Barfán Mendoza



Eduardo Antonio Díaz Beteta



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Guatemala, 12 de Marzo del 2009.

FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Julio Roberto Luna Aroche.
Centro de Estudios Superiores en Energía y Minas.
Facultad de Ingeniería.
Universidad San Carlos de Guatemala.
Presente.

Respetable Ing. Luna:

Por este medio me permito informarle que los estudiantes Juan Carlos Farfán Mendoza, con número carné 199811194, y Eduardo Antonio Díaz Beteta con número de Carné 199911545 de la Licenciatura en Ingeniería Civil, fueron asesorados por mi persona en su trabajo de graduación **“Estudio de Vulnerabilidad Sísmica estructural en un Sector de la Zona 12 de la Ciudad de Guatemala”**.

Después de haber revisado y corregido dicho trabajo, considero que cumple con los requisitos exigidos para su aprobación final.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Omar Gilberto Flores Beltetón.
Profesor-Investigador

Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Guatemala, 12 de Marzo del 2009.

FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson.
Director Escuela de Ingeniería Civil.
Facultad de Ingeniería.
Universidad San Carlos de Guatemala.

Respetable Ing. Samuels:

Por medio de la presente informo a usted, que he revisado el trabajo de graduación **“Estudio de Vulnerabilidad Sísmica estructural en un Sector de la zona 12 del la Ciudad de Guatemala”** realizado por los estudiantes Juan Carlos Farfán Mendoza, con número carné 199811194, y Eduardo Antonio Díaz Beteta con numero de Carné 199911545 y asesorado por el Ingeniero Civil Omar Gilberto Flores Beltetón.

Habiendo determinado que dicho trabajo cumple con lo establecido, el suscrito le da su respectiva aprobación.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

Ing. Julio Roberto Luna Aroche.
Director



Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-
Facultad de Ingeniería.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Omar Flores Belteton y del Director del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, CESEM, Ing. Julio Roberto Luna Aroche, al trabajo de graduación de los estudiantes Juan Carlos Farfán Mendoza y Eduardo Antonio Díaz Beteta, titulado ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL EN UN SECTOR DE LA ZONA 12, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, abril 2009

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

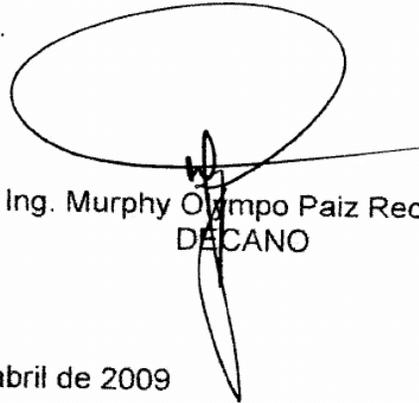


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.104.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL EN UN SECTOR DE LA ZONA 12, DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Juan Carlos Farfán Mendoza**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, abril de 2009

/gdech

AGRADECIMIENTOS

Gracias Padre Eterno por tu infinita misericordia, a ti sea toda la gloria; me has dado la vida, salud, sabiduría, fortaleza y muchas cosas más; sin ti no hubiese logrado alcanzar esta meta.

Gracias a mis padres: Luis Rodolfo Farfán e Irma Verónica Mendoza, porque son ejemplares; quienes me han amado, apoyado y empujado a lo largo de toda mi vida, con todo mi corazón muchas gracias a ellos, por todo lo que me han enseñado y por la manera en que me han formado. A mi hermano Luis Rodolfo Farfán, por su incondicional apoyo durante el transcurso de mi vida y carrera, a mi hermana Evelin Mariela Farfán, por su cariño y apoyo. A mis sobrinos, cuñadas, suegros, por su cariño y apoyo.

Doy gracias de una manera muy especial a mi esposa Edna Carolina, por su amor, cariño, apoyo y comprensión en todo momento. A mis hijos Carlos Andrés y Andrea Melissa, por ser mi inspiración para llegar al logro de mis metas, a los tres muchas gracias por estar allí siempre.

A mis Abuelos que sin duda tuvieron un papel muy importante en la educación de mis padres, les agradezco eternamente (q.e.p.d.). Con especial cariño a mi abuela Soledad Guerrero de Mendoza, (q.e.p.d.) por su orientación ayuda y paciencia durante mi vida. Y también a mi Abuelo José Tomas Farfán (q.e.p.d.). Por su incondicional apoyo.

a mis amigos compañeros de estudio, compañeros de trabajo gracias por su apoyo y amistad.

a mi compañero de elaboración de este trabajo de graduación Eduardo Díaz, ya que sin su ayuda no hubiera sido posible la culminación de esta investigación.

Al ingeniero Omar Flores, mi asesor, por su apoyo, paciencia y generosidad para transmitir sus conocimientos y orientación en el desarrollo de este trabajo y otras áreas del conocimiento de la Ingeniería Civil.

Juan Carlos Farfan Mendoza

AGRADECIMIENTOS A :

Dios:

Por darme la vida, salud, sabiduría y por haberme dado fortaleza y todas las bendiciones que rodean mi existencia, y por permitirme alcanzar esta meta.

mi abuelita, Evita:

Por su cariño, y su legado de determinación que me impulsa desde el cielo a convertirme en un hombre de bien.

mis padres:

Antonio Miguel, por su apoyo, consejos y el cariño incondicional a mi persona.

En especial a mi madre Rosa María, porque ha sido el pilar de mi vida; por amarme, apoyarme, y darme la fortaleza para enfrentar todos los obstáculos de la vida. Les agradezco por todo lo que me han enseñado, por la manera en que me han formado y guiado en mis decisiones.

A los dos los amo con todo mi corazón.

mis hermanas, Wendy y Rosmy:

Por contar con su apoyo absoluto en cualquier momento.

mi sobrino, Kevin:

Por su cariño y apoyo.

la mujer que amo, Gladys:

Por su apoyo, compañía y ternura.

Y a la luz de mi vida, Dieguito.

todos muchas gracias, por estar allí siempre.

mis amigos de infancia, compañeros de estudios, compañeros de trabajo:

Por su apoyo y amistad.

Al Ingeniero Omar Flores, mi asesor:

Por su apoyo, paciencia, y generosidad al transmitir sus conocimientos, así como su orientación en el desarrollo de este trabajo.

las autoridades de la Escuela de Ingeniería Civil, y al cuerpo docente de la misma:

Por su apoyo, y por brindar sus conocimientos y experiencias.

Eduardo Antonio Díaz Beteta.

DEDICATORIA

A Dios porque ha sido mi fiel amigo a lo largo de toda mi vida; lo dedico a mis amados padres que a base de esfuerzos y sacrificios lograron uno de sus sueños, el cual era verme culminar mis estudios universitarios y así alcanzar un título profesional, gracias por todo lo que han hecho por mí, espero poder corresponderles con ésta y otras satisfacciones.

A mi esposa Edna Carolina, por ser una parte muy importante de mi vida y a mis hijos Carlos Andrés y Andrea Melissa por ser la fuente de motivación para culminar este trabajo.

Dedico también este trabajo de graduación a las autoridades, sobre quienes está la responsabilidad de velar por la seguridad de la población guatemalteca, motivándolos para que actúen de forma correcta poniendo en práctica las propuestas descritas en este trabajo, asimismo para seguir llevando a cabo este tipo de estudios, y con ello se evite vivir el dolor de experiencias pasadas.

Juan Carlos Farfán Mendoza.

DEDICATORIA

A mi familia por estar conmigo en todo momento y contar con ellos a lo largo de toda mi vida; a todos aquellos que aunque no los mencione saben que forman parte importante de mi vida, y al igual que yo, se enorgullecen y disfrutan de verme obtener un título profesional, gracias por todo lo que han hecho por mí, espero poder corresponderles con ésta y otras satisfacciones.

Dedico también este trabajo de graduación al personal de CODICO, la empresa en la que laboro desde los inicios de mi carrera, en especial al Ing. Oscar Guerra, por brindarme la oportunidad de completar mis estudios y desarrollarme profesional y académicamente.

Eduardo Antonio Díaz Beteta.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN | XVII |
| OBJETIVOS | XIX |
| INTRODUCCIÓN | XXI |
| 1. GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. Sismicidad en Guatemala | 2 |
| 1.2. Riesgo, amenaza y vulnerabilidad | 4 |
| 1.3. Clasificación de edificaciones (según NR6) | 9 |
| 1.3.1. Críticas | 9 |
| 1.3.2. Esenciales | 10 |
| 1.3.3. Importantes | 10 |
| 1.3.4. Estructuras Ordinarias | 11 |
| 1.3.5. Utilitarias | 11 |
| 1.4. Factores que propician la vulnerabilidad sísmica de las estructuras | 11 |
| 1.5. Métodos de análisis de vulnerabilidad | 14 |
| 1.5.1. Métodos analíticos | 14 |
| 1.5.2. Método utilizando curvas de vulnerabilidad | 15 |
| 1.5.2.1. Edificios de mampostería no reforzada | 16 |
| 1.5.3. Métodos cualitativos | 20 |
| 1.6. Método de evaluación visual rápido | 21 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1.6.1. | Descripción de método | 22 |
| 1.6.2. | Formularios de evaluación | 22 |
| 1.6.3. | Criterios de evaluación | 28 |
| 1.6.4. | Diagrama de flujo de procesos de evaluación | 37 |
| 2. | DESCRIPCIÓN DE ZONA A EVALUAR | 39 |
| 2.1 | Localización y delimitación | 40 |
| 2.2 | Aspectos físicos de la zona | 41 |
| 2.2.1 | Geología | 41 |
| 2.2.2 | Precipitación | 45 |
| 2.2.3 | Vientos | 46 |
| 2.2.4 | Clima | 46 |
| 2.2.5 | Tipo y uso de suelo | 47 |
| 2.3 | Ambiente económico y social | 50 |
| 2.4 | Infraestructura | 52 |
| 2.4.1 | Tipología estructural | 52 |
| 2.4.1.1 | Estructuras de adobe | 53 |
| 2.4.1.2 | Estructuras de madera | 54 |
| 2.4.1.3 | Estructuras de mampostería | 56 |
| 2.4.1.4 | Estructuras de concreto | 57 |
| 2.4.1.5 | Estructuras de acero | 59 |
| 2.5 | Líneas de servicios básicos | 60 |
| 2.5.1 | Redes de distribución de electricidad | 61 |
| 2.5.1.1 | Fuente de abastecimiento | 61 |
| 2.5.1.2 | Componentes del sistema | 61 |
| 2.5.1.2.1 | Subestaciones | 62 |
| 2.5.1.2.2 | Circuitos | 62 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.5.2 | Redes de distribución de agua potable | 63 |
| 2.5.2.1 | Fuentes de abastecimiento | 63 |
| 2.5.3 | Redes de alcantarillado sanitario y pluvial | 64 |
| 2.6.3.1 | Componentes del sistema | 64 |
| 2.5.4 | Telecomunicaciones | 65 |
| 2.5.5 | Vías de acceso | 65 |
| 2.6 | Posibles centros de albergue | 66 |
| 2.6.1 | Hospitales | 66 |
| 2.6.1.1 | Características | 68 |
| 2.6.1.2 | Seguridad Mínima Requerida | 69 |
| 2.6.1.3 | Servicios Básicos | 69 |
| 2.6.2 | Edificios públicos | 69 |
| 2.6.2.1. | Características | 71 |
| 2.6.2.2. | Seguridad mínima requerida | 75 |
| 2.6.2.3. | Servicios Básicos | 75 |
| 2.6.3 | Iglesias | 75 |
| 2.6.3.1. | Características | 76 |
| 2.6.4 | Mapeo centros de albergue sugeridos en el sector | 80 |
| 3. | ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA | 83 |
| 3.1 | Datos obtenidos | 83 |
| 3.1.1 | Cálculo del índice de vulnerabilidad estructural en viviendas | 89 |
| 3.2 | Cuantificación de daños potenciales | 93 |
| 3.3 | Mapeo | 95 |
| 3.3.1 | Índice de vulnerabilidad en viviendas del sector | 95 |
| 4. | PROPUESTA DE MÉTODOS DE MITIGACIÓN DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL | 99 |

| | |
|---|-----|
| 4.1 Información para la mitigación | 99 |
| 4.2 Problemas estructurales típicos observados en el sector | 105 |
| 4.3 Códigos, reglamentaciones y normas de edificaciones | 118 |
| 4.3.1 Requisitos estructurales actuales | 122 |
| CONCLUSIONES | 125 |
| RECOMENDACIONES | 127 |
| BIBLIOGRAFÍA | 129 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Mapa tectónico mundial. | 1 |
| 2. | Modelo tridimensional del edificio | 17 |
| 3. | Modelo de macro elemento muro 1 | 17 |
| 4. | Muestra de simulación de capacidades | 18 |
| 5. | Punto de desempeño sísmico, caso determinista | 19 |
| 6. | Curvas de fragilidad para un edificio típico de 6 niveles de mampostería no reforzada. | 20 |
| 7. | Diagrama de flujo de la aplicación del programa | 25 |
| 8. | Formulario de evaluación en programa de almacenamiento de datos | 27 |
| 9. | Crecimiento territorial guatemalteco | 40 |
| 10. | Delimitación del sector estudiado | 41 |
| 11. | Mapa geológico del sector en estudio | 42 |
| 12. | Explicación geológica del sector de estudio ampliado | 43 |
| 13. | Mapa geológico con posibles fracturas superficiales | 44 |
| 14. | Tipo de suelo del sector estudiado. | 48 |
| 15. | Tipo de uso del suelo en sector de estudio | 49 |
| 16. | Fotografías de vivienda de adobe | 54 |
| 17. | Fotografías viviendas de madera | 55 |
| 18. | Fotografías de estructuras de mampostería. | 57 |
| 19. | Fotografías de estructuras de concreto. | 59 |
| 20. | Fotografías de estructuras de acero | 60 |
| 21. | Fotografía Escuela Tipo Federación | 71 |
| 22. | Fotografía Escuela la Casita de mi Abuela | 73 |
| 23. | Universidad de San Carlos de Guatemala | 74 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 24. | Fotografía iglesia cristiana el calvario | 77 |
| 25. | Fotografía Inmaculado Corazón de María | 79 |
| 26. | Figura mapeo centros de albergue | 81 |
| 27. | Mapa en donde se localiza el área evaluada. | 84 |
| 28. | Gráfica porcentajes de viviendas en el sector de estudio | 86 |
| 29. | Gráfica porcentajes de uso de estructuras en el sector de estudio. | 89 |
| 30. | Mapa de los índices de pérdidas potenciales en elementos humanos | 96 |
| 31. | Mapa del sector estudiado que ilustra el grado de vulnerabilidad estructural de cada lote. | 98 |
| 32. | Esquema de riesgo. | 102 |
| 33. | Ejemplo de problemas típicos observados mampostería no reforzada | 106 |
| 34. | Ejemplo de problemas típicos observados mampostería media | 107 |
| 35. | Ejemplos de los problemas típicos observados mal mantenimiento | 108 |
| 36. | Ejemplos de los problemas típicos observados de marcos de concreto. | 109 |
| 37. | Ejemplos de las construcciones típicas del sector. | 112 |
| 38. | Ejemplo vivienda altura excesiva | 113 |
| 39. | Ejemplo ampliaciones horizontales en sector de estudio | 114 |
| 40. | Ejemplo problemas típicos en viviendas de madera | 117 |

TABLAS

| | | |
|-------|--|----|
| I | Aceleración máxima del suelo esperada en la ciudad de Guatemala | 7 |
| II | Rangos de variación de desplazamientos para estados discretos | 18 |
| III | Datos generales que requiere el formulario de evaluación | 29 |
| IV | Ocupación y tipo de estructura. | 30 |
| V | Clasificación estructural | 32 |
| VI | Factores modificadores del comportamiento sísmico. | 34 |
| VII | Calificación final y rangos de vulnerabilidad. | 35 |
| VIII | Confiabilidad de los datos en las evaluaciones. | 36 |
| IX | Tabla datos La Casita de mi Abuela | 72 |
| X | Tabla datos Iglesia Cristiana El Calvario | 77 |
| XI | Tabla datos Iglesia Inmaculado Corazón de María | 78 |
| XII | Resultados obtenidos en evaluaciones realizadas. | 85 |
| XIII | Cuantificación de los distintos tipos de estructuras existentes en el área evaluada. | 86 |
| XIV | Cuantificación de los distintos usos de estructuras. | 88 |
| XV | Índices de vulnerabilidad estructural para el área evaluada dentro del sector estudiado. | 90 |
| XVI | Índices de vulnerabilidad estructural para el área evaluada dentro del sector estudiado. | 91 |
| XVII | Resumen capacidad centros de albergue | 92 |
| XVIII | Daños potenciales esperados en elementos humanos y materiales | 95 |
| XIX | Colores sugeridos asociados a la vulnerabilidad estructural. | 97 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|----------------|--------------------------------|
| g | Aceleración de la gravedad |
| Mc | Magnitud coda |
| Ms | Magnitud de superficie |
| Mw | Magnitud de momento |
| MM | Intensidad Mercalli modificada |

GLOSARIO

| | |
|---------------------------------|---|
| Amenaza | Probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período, en un sitio dado. |
| Amplitud de onda | Es la máxima altura de una cresta o del valle de una onda. |
| 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 |
| Asentamiento diferencial | Cambio relativo en el nivel vertical de dos o más puntos en una estructura, debido a diferentes magnitudes de asentamiento del suelo en dichos puntos. |
| 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. |

| | |
|--------------------------------------|---|
| Curvas de isoaceleración | Curvas que delimitan los sitios para los cuales se espera el mismo valor de aceleración máxima del suelo en determinado tiempo, debido a fenómenos sísmicos. |
| Desastre | Evento o 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 una colectividad y daños severos al medio ambiente. |
| 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). |
| Escala de Richter | Llamada también Magnitud Local ML, es una escala que permite establecer una medida cuantitativa del tamaño de un sismo en su fuente, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura de la falla. |
| Fallas mayores | Fallas geológicas al borde de las placas tectónicas, pueden ser de tipo transcurrente, cuando los bloques adyacentes se mueven lateralmente en sentidos opuestos paralelos a la falla. |
| Falla secundaria | Zona de fracturas en el material de la corteza a lo largo de la cual dos bloques adyacentes han sufrido una dislocación o un desplazamiento relativo paralelo a la falla, cuya dislocación total puede ser en centímetros o metros. |

| | |
|--------------------------------------|---|
| Graben | Bloque de corteza, generalmente largo y estrecho, que se ha hundido con respecto a los bloques adyacentes y se encuentra bordeado por fallas normales. |
| Horst | Bloque de corteza bordeado por fallas inversas que ha subido con respecto a los bloques adyacentes. |
| Licuación | Porción de terreno que se comporta como arena movediza que ha sido rellenada. |
| 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. |
| Período de vibración | Intervalo entre las amplitudes máximas en una onda, se mide en segundos y es el inverso de la frecuencia. |
| Placas tectónicas | Segmento relativamente grande y rígido de la litósfera, que incluye la corteza y la parte superior del manto, que se desplaza sobre la astenósfera, moviéndose en relación a las placas adyacentes. La superficie de la Tierra está dividida en unas 17 placas mayores. |
| Propensión sísmica | Inclinación natural de una región a ser afectada por determinado tipo de sismos. |

| | |
|------------------------------|--|
| Riesgo | Grado de pérdidas esperadas y efectos provocados debido a la ocurrencia de un evento particular en función de la amenaza y la vulnerabilidad. |
| Resonancia | Cuando un sistema mecánico sufre una excitación periódica externa, cuya frecuencia de aplicación coincide con la frecuencia natural de oscilación libre del sistema, éste entra en vibración, y aumenta la amplitud de oscilación en cada ciclo mientras se aplique la fuerza externa. |
| 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. |
| Suelo piro clástico | Suelo originado por erupciones volcánicas |
| 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. |
| Vulnerabilidad no estructural | Grado de pérdidas de un elemento o grupo de elementos que corren riesgo por la probable ocurrencia de un evento desastroso, como resultado del daño en los componentes que están dentro de un edificio y que no pertenecen al sistema estructural del mismo, tales como elementos arquitectónicos, instalaciones, equipos médicos, etcétera. |
| Zona de subducción | Zona en la que un segmento de placa oceánica se sumerge bajo una placa continental u oceánica a lo largo de la fosa marina. |
| Zonificación sísmica | Consiste en descifrar de manera multidisciplinaria el comportamiento del suelo ante fenómenos sísmicos, con el propósito de determinar la amenaza y peligrosidad sísmica de una región muy extensa (macro zonificación), o un área específica (micro zonificación). |

RESUMEN

El presente trabajo de Vulnerabilidad Sísmica Estructural fue realizado en un sector de la zona 12 de la ciudad de Guatemala, delimitado al norte por El Trébol, al sur de la 29 calle, hasta la 24 calle al sureste; al oeste por la Calzada Raúl Aguilar Batres, y al este por la Avenida Petapa. Inicia con la descripción de características históricas, sociales y económicas del sector, con el propósito de dar a conocer al lector algunas de las causas que han favorecido el nivel actual de vulnerabilidad estructural y que pueden ser útiles para desarrollar medidas de mitigación de la vulnerabilidad.

Se introducirá al concepto de riesgo, amenaza, vulnerabilidad y se establecerá el valor representativo de amenaza sísmica para el estudio; al mismo tiempo, se dará una descripción de los tipos de clasificación de edificaciones según la norma NR6, de la AGIES. se describirán brevemente los distintos métodos utilizados para analizar la vulnerabilidad estructural, los factores que favorecen la vulnerabilidad de las estructuras y los criterios y procedimientos del método utilizado en este trabajo.

Además se determinará el grado de vulnerabilidad estructural del sector, la cuantificación de daños potenciales en elementos humanos y materiales.

Se tabularán y presentarán los resultados obtenidos a través de las evaluaciones practicadas a las estructuras, el criterio y la forma en que se calcularon los indicadores de la vulnerabilidad en elementos humanos y elementos materiales. Así mismo, se destacan los problemas estructurales típicos observados en el sector y se propondrán las medidas de mitigación pertinentes, se comentarán algunos aspectos de las filosofías modernas del diseño sismorresistente y se presentará una breve discusión sobre los códigos de construcción existentes en Guatemala.

Finalmente, este documento quedará para que pueda ser utilizado como referencia bibliográfica de métodos existentes de cómo determinar la vulnerabilidad estructural y al mismo tiempo, de apoyo hacia las autoridades correspondientes.

OBJETIVOS

- **GENERAL**

Establecer nivel de vulnerabilidad sísmica por medio de un estudio visual rápido de las diferentes edificaciones ubicadas en un sector de la zona 12, colonia La Reformita. Realizar el cálculo de daños potenciales de las posibles pérdidas materiales y humanas ante el riesgo de sufrir un evento sísmico de considerable magnitud. Establecer un plan de mitigación para que permita la reducción de la vulnerabilidad del sector en estudio.

- **ESPECÍFICOS:**

1. Clasificar las edificaciones de la zona en estudio de acuerdo a su tipología estructural, detalles constructivos, materiales de los que están construidas, estado de conservación, año de construcción, irregularidades en planta o altura, y número de pisos.
2. Ubicar en un mapa del sector en estudio las posibles áreas más vulnerables ante movimientos sísmicos esperados.
3. Calcular las pérdidas económicas directas de la colonia La Reformita para sismos de considerable magnitud.
4. Contar con un instrumento que sea de utilidad a las autoridades correspondientes, para priorizar sus inversiones en el sector con la finalidad de reducir riesgos por amenazas sísmicas.
5. Determinar el índice de vulnerabilidad sísmica estructural en el sector de estudio, ubicado en la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

6. Proponer un plan de mitigación de vulnerabilidad sísmica para contrarrestar los daños ante un evento sísmico.

INTRODUCCIÓN

A los treinta y tres años desde que Guatemala sufriera una de las épocas más catastróficas, aún no existen programas eficaces de prevención de desastres y una política integral de vivienda. El territorio guatemalteco se encuentra geográficamente repartido sobre tres placas tectónicas, razón por la cual posee un suelo sometido a grandes esfuerzos sobre las placas en que subyace, con una gran densidad de fallas geológicas, a tal punto que es uno de los países con mayor amenaza sísmica en el mundo, cosa que nos convierte, como seres humanos, vulnerables ante los sismos. Guatemala por ser un país que se encuentra en vías de desarrollo y por sus características culturales cuenta con un margen mínimo en medidas de prevención de terremotos.

Con el propósito de contribuir de alguna manera a localizar e identificar desastres provocados por fenómenos sísmicos y prever la forma de enfrentarlos, el presente estudio permitirá localizar los sectores con baja, mediana y alta vulnerabilidad, en un sector de la zona 12 de la ciudad de Guatemala y cuantificar los daños potenciales que ocasionaría un evento sísmico de magnitud considerable, con el objetivo de alertar a las autoridades y proponer una plan de mitigación.

Se pretende hacer un análisis visual rápido de las construcciones para determinar la vulnerabilidad estructural a la que están propensos y determinar las edificaciones que cumplan con las características necesarias para servir como albergues post-sismos de gran magnitud en dicho sector. Se tomará como base la metodología para evaluación visual rápida de edificios ante amenaza sísmica publicada por Applied technology Council, y correlacionada con el trabajo de tesis realizado de Vulnerabilidad Sísmica

Estructural en un sector de la zona 3 por Francisco Eduardo Arrecis Sosa, Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala.

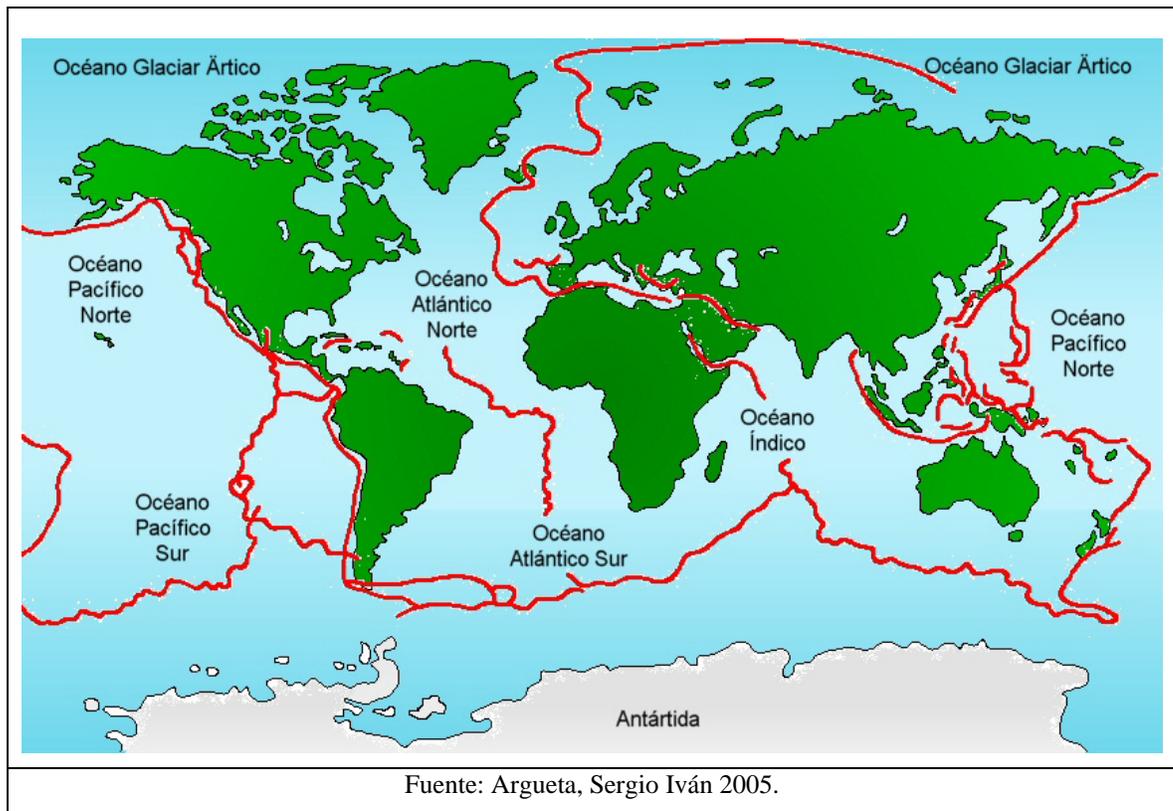
Es importante tomar en cuenta que como primer paso se debe desarrollar un estudio piloto que permita expresar la vulnerabilidad estructural en medidas que puedan ser comparadas en los distintos sectores habitados, para que sea posible la evaluación de la vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica en toda la ciudad y se pueda alertar a la población y autoridades para que tomen decisiones en los aspectos referentes al tema.

1. GENERALIDADES

Guatemala se encuentra ubicada en una zona de alta sismicidad, probablemente una de las más grandes del mundo, si se considera que afecta la mayor parte de su territorio, cosa que no sucede en otros países de Europa, América del Sur y Estados Unidos, que también están expuestos a este fenómeno natural.

Todos los sismos que ha sufrido el país, tienen su origen en la triple unión de placas tectónicas sobre la que se encuentra ubicado su territorio. Dichas placas son: la de Cocos, la del Caribe y la Norteamericana.

Figura 1. Mapa tectónico Mundial



El sistema de Falla Motagua-Polochic en nuestro país es un sistema transcúrrente, lateral izquierdo, que incluye tres fallas principales, la del Polochic, la del Motagua y la de Jocotán. Marca el límite en tierra entre las placas de Norteamérica y la del Caribe (Véase Fig. 1). La falla del Motagua se rompió en 1976, con el terremoto destructivo de magnitud $MW=7.5$ y varios grandes terremotos históricos han sido reportados tanto en la falla del Motagua como en la falla del Polochic, y posiblemente en la falla de Jocotan.

Actualmente en nuestro país se llevan a cabo estudios para poder determinar las velocidades de las placas de Norteamérica y del Caribe a través de medidas de GPS a lo largo del Sistema de la Falla Motagua-Polochic. Se ha podido llegar a determinar que la velocidad relativa entre la placa del Caribe y la Norteamericana es de 17 mm/año.

1.1. Sismicidad en Guatemala

Algunos de los cambios más importantes en la historia del país, se debieron a terremotos como en el caso de Santa Marta en 1773, que propició el traslado de la capital, los terremotos de 1902, ó los de 1942; otros no son tan recordados, como el gran terremoto de 1816, de una magnitud aproximada 7.5, que afecto a muchas poblaciones indígenas remotas en Huehuetenango, Quiché y otras regiones del noroccidente del país.

En el siglo XX, Guatemala fue afectada por varios eventos sísmicos. El 18 de abril de 1902, ocurrió un sismo, que ocasionó daños principalmente en Quetzaltenango y Sololá. El 8 de marzo de 1913 un sismo destruyó la cabecera departamental de Santa Rosa. El 26 de diciembre de 1917, una gran liberación de energía destruyó gran parte del centro capitalino y sus proximidades y un post-evento inició la actividad de los volcanes cercanos. El 24 de enero de 1918, un sismo causó bastante daño a las estructuras capitalinas, catalogándose con una magnitud de 6 grados en la escala de Richter. El 6 de agosto de 1942, se registró un sismo que causó daños en los departamentos de

Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango, San Marcos, Totonicapán, El Quiché, Sololá y Huehuetenango. El 20 de febrero de 1959, se registró un terremoto que presentó los estragos más grandes en la población de Ixcán, departamento de El Quiché.

El evento que más estragos ha causado, es sin duda el terremoto del 4 de febrero de 1976. Localizado 15.32° latitud Norte y 89.10° longitud Oeste, de características superficiales, con unos 5 Km. De profundidad y una magnitud de 7.5 en la escala de Richter. Los efectos de la ruptura fueron desastrosos, se registraron mediciones de desplazamiento horizontal de más de 5 metros en algunas partes a lo largo de la falla, se crearon aceleraciones muy altas que ocasionaron la destrucción de miles de viviendas en las zonas adyacentes, incluyendo el valle de la ciudad capital, se registraron mas de 25,000 muertos y 75,000 heridos.

En 1985, el terremoto del 11 de octubre (terremoto de Uspantán) destruyó una ciudad por completo. El terremoto del 18 de septiembre de 1991, causó destrozos en por lo menos el 80% de la población de San Miguel Pochuta (Chimaltenango). La mayor parte de los destrozos fueron ocasionados debido a la mala construcción de las viviendas del lugar, efectos posteriores fueron agregados por el bloqueo de los ríos El Jiote y Nicán por la gran cantidad de derrumbes ocurridos en los alrededores. También, durante 1985, el 19 de diciembre se registró un sismo con una magnitud de 5.3 en la escala de Richter. Se reportaron algunas casas dañadas en San Miguel Tucurú y Tamahú, con varios deslizamientos de tierra en la región epicentral. La máxima intensidad reportada fue de IV en Cobán, Alta Verapaz. El 10 de enero de 1998, se produjo un sismo de magnitud 5.8 en la escala de Richter. Este evento inició una serie de réplicas que se extendió hasta el 20 de enero. Todos los sismos tuvieron sus epicentros en la zona de subducción, frente a las costas de Retalhuleu y Suchitepéquez. Este enjambre sísmico produjo daños en Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, San Marcos, Sololá, Totonicapán, Escuintla y Santa Rosa.

El 11 de julio de 1999, se produjo en el golfo de Honduras, donde se encuentra el extremo oriental de la falla del Motagua (la cual en su parte oceánica se denomina Fractura de Swan), un sismo con una magnitud de 6.1 que fue sensible en todo el territorio nacional.

Un sismo fuerte podría ser producido debido a la complejidad de la estructura tectónica que presenta el territorio guatemalteco ya que el límite de la Placa Norteamericana y la Placa del Caribe se sitúa a lo largo de la zona de grandes fallas del Polochic y del Motagua (Véase Fig. 1). Una zona muy compleja es la expuesta principalmente en el valle del Rio Motagua y zonas aledañas. De este levantamiento resulta la formación de fallas, la mayor de éstas, la de Jalpatagua y la del Motagua que fue la que originó el sismo del 4 de febrero de 1976.

1.2. Riesgo, amenaza y vulnerabilidad

La ausencia de información empírica y analítica sobre los desastres y sus impactos inmediatos y mediatos, así como los procesos de conformación de riesgos y sus factores determinantes, han hecho que la vulnerabilidad sísmica se haya convertido en un tema de suma importancia en nuestro país. Por tal motivo, en función de evitar que los terremotos sigan impactando drásticamente a la sociedad guatemalteca, ha surgido la iniciativa de evaluar la vulnerabilidad estructural de la ciudad, por zonas y en el presente trabajo evaluaremos la zona 12.

El “riesgo” puede reducirse si se entiende como el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Una vez conocida la amenaza, durante un período de exposición, y conocida la vulnerabilidad, entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto de ser afectado o de ser susceptible a sufrir una pérdida, el riesgo puede entenderse como la probabilidad de que se presente

una pérdida sobre el elemento, como consecuencia de la ocurrencia de un evento con una intensidad mayor o igual a 1.

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad

La existencia de riesgo, y sus características particulares, se explica por la presencia de determinados factores de riesgo. Éstos se clasifican, en general, en factores de amenaza y factores de vulnerabilidad.

Una “amenaza” refiere la posibilidad de la ocurrencia de un evento que puede causar algún tipo de daño a la sociedad, relacionada con el peligro que significa la posibilidad de un fenómeno desastroso. Técnicamente, se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con un nivel de severidad, en un sitio específico y durante un período de tiempo. Desafortunadamente, debido a la complejidad de los sistemas físicos en los cuales un gran número de variables puede condicionar el proceso, la ciencia aún no cuenta con técnicas que le permitan modelar con alta precisión dichos sistemas y por lo tanto los mecanismos generadores de cada una de las amenazas.

Por tal razón, La UNDRO y la UNESCO promovieron una definición que se sintetiza a continuación a partir de los siguientes conceptos para estudios con un grado de certeza más alto:

Amenaza, peligro o peligrosidad, H. Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.

Vulnerabilidad, V. Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala desde cero o sin daño a 1 o pérdida total.

Riesgo específico, R_s . Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.

Elementos en riesgo, E. Son la población, los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta a una amenaza en un área determinada.

Riesgo total R_t . Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre, es decir el producto del riesgo específico, R_s , y los elementos en riesgo, E.

Con estas definiciones, la evaluación del riesgo total puede llevarse a cabo mediante la siguiente fórmula general:

$$R_t = E \times R_s = E \times H \times V$$

Conservando este marco conceptual, Cardona (1986) propuso eliminar la variable exposición, E, por considerarla implícita en la vulnerabilidad, V, sin que esto modificara sensiblemente la definición original. En otras palabras: no se “es vulnerable” si no se “está expuesto”. Es decir, una vez conocida la amenaza o peligrosidad A_i , entendida como la probabilidad de que ocurra un suceso con una intensidad mayor o igual a i durante un período de exposición t , y conocida la vulnerabilidad V_e , entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto e a ser afectado o de ser susceptible a sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un suceso con una intensidad i , el riesgo R_{ie} se entiende como la probabilidad de que se produzca una pérdida sobre el elemento e , como consecuencia de la ocurrencia de un suceso con una intensidad mayor o igual a i

$$R_{ie}|t = (A_i, V_e)|t$$

El concepto de **amenaza** se refiere a un peligro latente o factor de riesgo externo de un sistema expuesto que se puede expresar matemáticamente como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con una cierta intensidad, en un sitio

específico y en un período de tiempo determinado. La **vulnerabilidad** puede entenderse como un factor de riesgo interno, correspondiente a su predisposición intrínseca de ser susceptible a sufrir un daño, expresado como la factibilidad de que el sistema expuesto sea afectado por el fenómeno que caracteriza la amenaza.

Así como en tiempos anteriores se utilizó el término riesgo para referirse a lo que hoy se denomina amenaza, actualmente se utiliza a veces la palabra vulnerabilidad con el significado de riesgo. Pero los conceptos son diferentes y su definición es esencial para disponer de un enfoque que permita identificar las posibilidades de reducción del riesgo: en general no es posible actuar sobre la amenaza pero es posible reducir el riesgo disminuyendo la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Fuente: (Alex Barbat, Luis Pujades, 2002)

La evaluación de la amenaza, en la mayoría de los casos, se realiza combinando el análisis probabilístico con el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora, utilizando información de eventos que han ocurrido en el pasado y modelando con algún grado de aproximación los sistemas físicos involucrados. Véase tabla I.

Tabla I. Aceleración máxima del suelo esperada en la ciudad de Guatemala.

| PROBABILIDAD ANUAL DE OCURRENCIA | ACELERACION MAXIMA DEL SUELO, SOBRE EL SUELO (m/seg ²) | ACELERACION MAXIMA DEL SUELO, SOBRE ROCA (m/seg ²) |
|----------------------------------|--|--|
| 0.5 -- 2 años | 0.93 | 0.67 |
| 0.1 -- 10 años | 1.83 | 1.32 |
| 0.02 -- 50 años | 2.99 | 2.15 |
| 0.01 -- 100 años | 3.64 | 2.62 |
| 0.004 -- 250 años | 4.61 | 3.32 |
| 0.002 -- 500 años | 5.46 | 3.93 |
| 0.001 -- 1000 años | 6.46 | 4.65 |

Fuente: Villagrán, 1994.

Para este estudio, se ha establecido este parámetro por el valor representativo de la máxima aceleración del suelo esperada, al menos, una vez en 50 años, equivalente a una probabilidad de ocurrencia de 0.02 y una aceleración máxima de 2.99 m/seg², la cual se propone como valor representativo en la norma recomendada AGIES NR 1-96, de 1996, y determina el criterio de amenaza en este trabajo, pues se considera la más aceptable hasta que se cuente con estudios de micro zonificación o se cuente con registros de instrumentos de movimiento fuerte que afinen más los resultados anteriores.

Análisis de vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso. Vulnerabilidad, diremos que es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total. (La Red, 2005). Para este estudio en particular, la vulnerabilidad podrá ser estimada en valores entre 0 y 1, calculada en porcentajes del daño potencial en elementos materiales y humanos respecto al total de elementos en el sector expuestos a la amenaza, según los criterios y cálculos presentados en el capítulo tres.

La diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo está en que la amenaza está relacionada con la probabilidad de que se manifieste un evento natural o un evento provocado, mientras que el riesgo está relacionado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionadas no sólo con el grado de exposición de los elementos sometidos sino con la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento (La Red, 2005).

1.3. Clasificación de edificaciones (según NR-6)

La metodología utilizada, considera los estudios de amenaza sísmica y peligros geológicos que existen en el país. La evaluación de las estructuras está basada en el manual ATC-21, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Sismic Hazards, que es la base del capítulo 7 de la Norma Recomendada NR-6 para Guatemala sobre la disminución de riesgos y rehabilitación de estructuras, desarrollada por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES). La norma NR-6 está siendo utilizada por la Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia para evaluar Edificios del Estado, especialmente hospitales públicos, y en el estudio se utilizó el mismo criterio. Esta norma elaborada por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica AGIES, clasificó las estructuras en cinco categorías atendiendo el impacto socioeconómico que implique la falla en funciones de obra. Para efectos de clasificación se consideran las obras y edificaciones como sistemas o complejos funcionales independientemente del número de unidades estructurales que constituyan la obra. Se clasificará las diferentes estructuras según lo que especifica la norma AGIES NR-6

1.3.1. Estructuras críticas

La clasificación de este tipo de estructura es de categoría 1, que son aquellas edificaciones que de fallar pondrían en peligro directo o indirectamente a gran número de personas. Las consideraremos como edificaciones críticas aquellas edificaciones que albergan instalaciones y/o dependencias cuya función en condiciones de emergencia debidas a una crisis sísmica, es crítica y vital para afrontar las consecuencias inherentes del desastre natural, aquellas que son necesarias para atender la emergencia y preservar la salud, seguridad y atención de la población después del sismo.

1.3.2. Estructuras esenciales

La clasificación de este tipo de estructura es de categoría 2, que son aquellas que deben permanecer operantes durante y después de un sismo. Ejemplo de ellas son: Hospitales con instalaciones de emergencia, de cuidado intensivo y/o quirófanos, instalaciones de defensa civil, de bomberos, de policía y de comunicaciones asociadas con la atención de desastres.

1.3.3. Estructuras importantes

La clasificación de este tipo de estructura es de categoría 3, son aquellas que albergan a gran número de personas, donde los ocupantes estén restringidos a desplazarse, y donde se prestan servicios importantes a gran número de personas o entidades, obras que albergan valores culturales reconocidos o equipo de alto costo. Ejemplo de ellas son:

- Todos los edificios educativos y guarderías públicas y privadas, todos los hospitales, sanatorios, centros y puestos de salud públicos y privados que no clasifiquen como esenciales; garajes de vehículos, prisiones, museos y similares.
- Todos los edificios de 5 pisos o más; todos los edificios de más de 3000 metros cuadrados de área interior (excluyendo estacionamientos).
- Teatros, cines, templos, auditorios, mercados, restaurantes y similares que alojen más de 300 personas simultáneamente.
- Estructuras en las que hay fabricación y/o almacenamiento de materiales tóxicos, explosivos o inflamables.

1.3.4. Estructuras ordinarias

La clasificación de este tipo de estructura es de categoría 4, son aquellas edificaciones para vivienda, comercio, industria, uso agrícola que por su volumen, tamaño, importancia o características no tengan que asignarse a otra clasificación. También se incluye en esta clasificación la obra menor considerada en la norma NR-4.

1.3.5. Estructuras utilitarias

La clasificación de este tipo de estructura es de categoría 4, son aquellas estructuras que albergan personas de manera incidental, y que no tienen instalaciones de estar, de trabajo o habitables. Ejemplos de ellas son: Estructuras agrícolas o industriales- de ocupación incidental – y bodegas que no contengan materiales tóxicos, explosivos o inflamables.

1.4. Factores que propician la vulnerabilidad sísmica de las estructuras.

Los factores de vulnerabilidad que propician el comportamiento de edificios existentes ante eventos sísmicos es importante en la evaluación de vulnerabilidad sísmica, ya que estos factores ocasionan pérdidas tanto económicas como de vidas humanas, que se pueden producir en zonas urbanas y al mismo tiempo estas pérdidas por medio de una buena evaluación se pueden disminuir. Si el diseño sísmico de nuevas estructuras viene estipulado por normas que en muchos casos ya se han comprobado en situaciones reales, y que generalmente garantizan un nivel adecuado de seguridad, no ocurre lo mismo con la respuesta sísmica de edificios ya existentes que no fueron concebidos bajo recomendaciones de algún código, ni fueron analizadas para solicitaciones sísmicas aproximadas, por ejemplo el método de la Fuerza Horizontal Equivalente, FHE.

Sumado a esto, existen estructuras que fueron diseñadas para un cierto uso, y que al cabo del tiempo, se modificó su utilización, cambiando notoriamente el tipo de cargas verticales, variando la masa de la edificación, lo cual puede ser bastante peligroso en el momento de un sismo al producir fuerzas inerciales para las cuales la edificación no fue concebida. También están las edificaciones afectadas por sismos pasados, las edificaciones construidas con materiales sin un control de calidad estricto, y algo que en Guatemala tiene un largo historial como es la auto-construcción y la falta de un seguimiento riguroso de las especificaciones estructurales, todo esto hace que la evaluación de su comportamiento ante sismos futuros sea más difícil e incierta.

Debido a que la amenaza sísmica es una característica de la naturaleza que el hombre todavía no ha podido modificar y mucho menos predecir, la única alternativa disponible para la disminución del riesgo sísmico en zonas urbanas existentes, consiste en la búsqueda de estrategias adecuadas para medir la Vulnerabilidad de las estructuras y de los sistemas de respuesta de la zona, sistemas que no son objeto de estudio en este trabajo.

De lo estudiado y observado en los sismos ocurridos en el territorio nacional, se ha definido que la vulnerabilidad sísmica de las viviendas depende de una serie de factores y detalles que deben evaluarse con el mayor cuidado. Estos aspectos contemplan los siguientes parámetros:

- **Aspectos Geométricos:**

- Irregularidad en planta de la edificación.
- Cantidad de muros en las dos direcciones.
- Irregularidad en altura.

- **Aspectos constructivos:**
 - Calidad de las juntas de pega en mortero.
 - Tipo y disposición de los ladrillos.
 - Calidad de los materiales.

- **Aspectos estructuras:**
 - Muros confinados y reforzados.
 - Detalles de columnas y vigas de confinamiento.
 - Vigas de amarre o corona.
 - Características de las aberturas.
 - Tipo y disposición del entrepiso.
 - Amarre de cubiertas.

- **Suelos:**
 - Blandos.
 - Intermedios.
 - Duros.

- **Entorno:**
 - Topografía.
 - Otros efectos.

- **Cimentación:**
 - Vigas de amarre en concreto reforzado.

Los factores antes mencionados se estarán ampliando en el capítulo 2, con base al sector de estudio.

1.5. Métodos de análisis de vulnerabilidad.

Los métodos para el estudio de la vulnerabilidad estructural en viviendas existentes se dividen en tres grupos, los Métodos "exactos" o Analíticos, los Métodos "aproximados", Cualitativos y los experimentales. Debido a que este tema de Vulnerabilidad Sísmica con el tiempo ha tomado mas auge se han desarrollado métodos mas complejos, por lo que en este capítulo también se hablará de la nueva tendencia de cuantificación de Vulnerabilidad Sísmica Utilizando Curvas de de Fragilidad.

1.5.1. Métodos Analíticos

La evaluación de la vulnerabilidad de edificios existentes, por medio de métodos analíticos está fundamentada en los mismos principios utilizados para el diseño de construcciones sismo resistentes. Es decir, se considera como una evaluación por medio de un método analítico a la arrojada por un modelo previamente calibrado, el cual tiene en cuenta un Análisis Dinámico Inelástico que permite conocer el proceso de plastificación paso a paso y el posterior colapso de la estructura, conocidos los ciclos de histéresis de sus componentes.

Cabe anotar, que estos métodos no son del todo analíticos, ya que la fase de calibración del modelo requiere de muchos ensayos de laboratorio, los cuales permiten conocer el estado de los materiales y predecir, con un poco más de exactitud, su respuesta ante sollicitaciones sísmicas.

Es por esto que la aplicabilidad de estos métodos es discutible por varias razones:

- La alta complejidad del modelo que sólo justifica su utilización en casos muy especiales como el de edificaciones esenciales, o para estructuras que después de ser

evaluadas con un método cualitativo hayan mostrado tener serias falacias ante una sollicitación sísmica.

- La necesidad de realizar el análisis utilizando varios tipos de registros de sismos, para cubrir las diferentes posibilidades de acción sobre la estructura.

1.5.2. Método de Cuantificación de Vulnerabilidad Sísmica utilizando Curvas de Fragilidad.

Este capítulo se tomó de un estudio realizado en la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, para aportar al siguiente estudio los diferentes métodos que se están desarrollando en otros países para la cuantificación de Vulnerabilidad Sísmica.

El análisis y diseño basado en las prestaciones o en el desempeño sísmico de las estructuras, conocido en la literatura inglesa como performance based engineering, se ha convertido en un área científica y técnica relevante de la ingeniería estructural. Su ámbito de aplicación ha trascendido al diseño de edificios nuevos para emplearse en la predicción del comportamiento de edificios existentes, es decir, en la evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico. De particular interés es la aplicación de esta técnica en zonas urbanas de sismicidad moderada, donde el crecimiento económico ha tenido como consecuencia el aumento del riesgo sísmico. En este apartado se muestra brevemente la forma por medio de la cual las curvas de fragilidad en determinado momento pueden ser utilizadas tanto para edificios de mampostería no reforzada como para edificios de concreto armado. **Fuente:** (Alex Barbat, Luis Pujades, 2002)

El siguiente inciso nos describe brevemente los pasos a seguir para la determinación de curvas de vulnerabilidad en edificios de mampostería no reforzada, es importante mencionar que es de bastante interés conocer estas nuevas metodologías, ya que como bien se menciona en el capítulo anterior, este método está enfocado para

realizarse en zonas urbanas de sismicidad moderada. Esto significa que para el territorio de la ciudad de Guatemala este método se podría emplear ya que en las zonas urbanas se ha manifestado un crecimiento económico y urbano acelerado y de la mano, el crecimiento del riesgo sísmico. En el sector de estudio se encontraron 983 casas de mampostería no reforzada que equivale al 26% del total de lotes inspeccionados, así como 2527 estructuras de concreto armado que equivalen al 65 % del total de lotes evaluados. En función de esto se hace mención en el presente capítulo de este método para que en futuros estudios se pueda profundizar un poco más en el para que pueda ser utilizado en nuestro país.

1.5.2.1. Edificios de mampostería no reforzada

Los edificios de mampostería no reforzada de ladrillo, típicos, que se toman en cuenta en este capítulo tienen acabados de vigueta de madera, concreto armado o acero, según la época de construcción y bovedilla prefabricadas de cerámica o de concreto. Estos edificios tienen, en general, una planta regular a excepción de los edificios de esquinas. La gran mayoría de los edificios tienen el piso bajo blando, debido a que el primer nivel de los mismos, dedicado a actividades comerciales, tiene una mayor altura y está configurado mediante pilares y vigas que solo están presentes en este nivel. Este hecho implica una reducción de la rigidez de esta planta que, unida a la carencia de detalles de diseño sismorresistente, conduce a una vulnerabilidad sísmica alta.

El cálculo de los edificios tipo de mampostería no reforzada se ha realizado mediante un programa que usa un modelo de macro elementos para representar los paneles de mampostería y considera el daño estructural mediante modelo constitutivo de daño y fricción. Dicho modelo está calibrado a partir de los mecanismos de disipación observados en casos reales de estructuras sometidas a la acción sísmica. El modelo considera la posibilidad de vuelco de los macro elementos así como su agrietamiento por cortante. El comportamiento global de los muros de mampostería considera la presencia de ventanas y puertas y se obtiene mediante un adecuado ensamblaje de los macro

elementos utilizando tanto “pilares” de mampostería como dinteles. La figura 2 muestra una vista tridimensional y en planta del modelo utilizado para el edificio de mampostería no reforzada representativo. El modelo está definido por 8 muros en la dirección Horizontal (muros M1 a M8) y 6 muros en la dirección vertical (muros M9 a M14). La figura 3 representa el modelo de macro elemento del muro 1.

Figura 2. Modelo tridimensional del edificio.

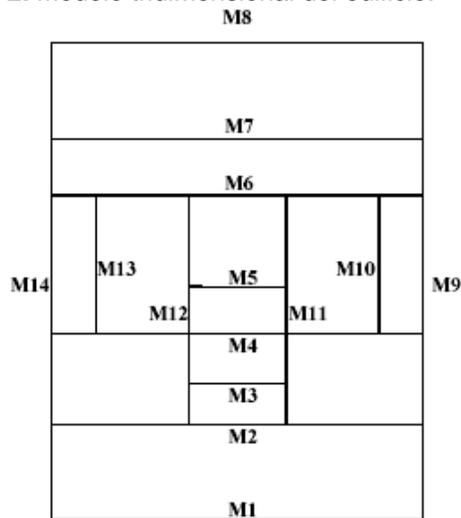
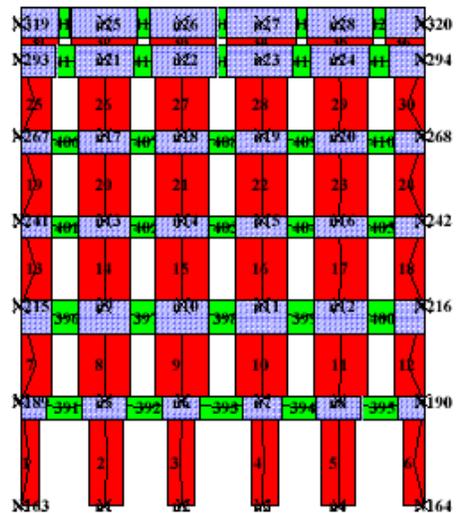


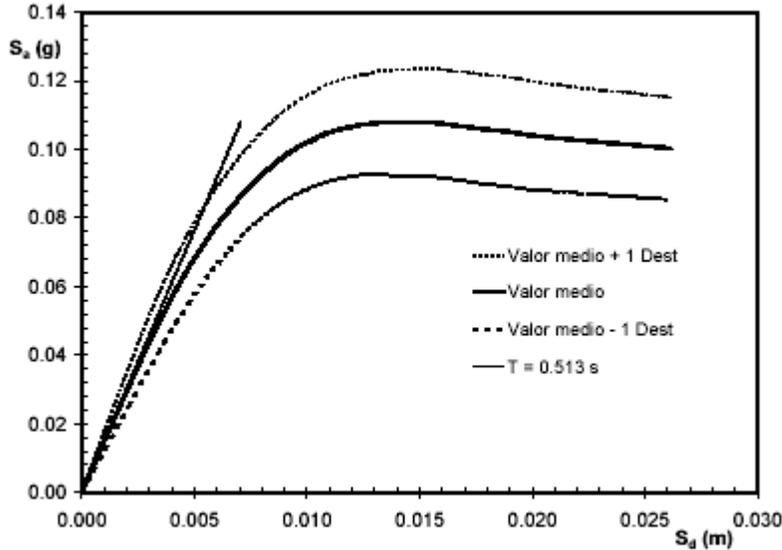
Figura 3. Modelo de macro elemento, muro 1.



Fuente: (Alex Barbat, Luis Pujades, 2002).

Se realizó un análisis de tipo pushover con el patrón de fuerzas correspondiente a la vibración en la dirección de los muros M9 y M14, que de hecho es el tercer modo de la estructura. El cálculo proporcionó la curva de capacidad que describe la relación entre el cortante en la base y el desplazamiento de un sistema equivalente con un solo grado de libertad caracterizado por el período y la masa modal correspondiente al tercer modo de vibración de la estructura. Se realizó una simulación por medio de un modelo que generando 100 muestras para cada variable aleatoria, obteniendo 100 curvas de capacidad. Fuente (Alex Barbat, Luis Pujades, 2002)

La figura 4 Muestra las simulaciones de capacidad correspondientes al valor medio y sus correspondientes desviaciones típicas.



Fuente: (Alex Barbat, Luis Pujades, 2002).

Para la simulación del medio de capacidad se obtiene una representación bilineal definiendo los valores del desplazamiento simulado (en cm.) y aceleración simulada (en g) para los puntos de fluencia y capacidad última. Los umbrales de desplazamiento simulados para los estados discretos de daño se definen en función de los parámetros de la representación bilineal de la simulación de capacidad y sus expresiones se recogen en la tabla II para los cinco estados de daño considerados: sin daño, leve, moderado, severo y colapso.

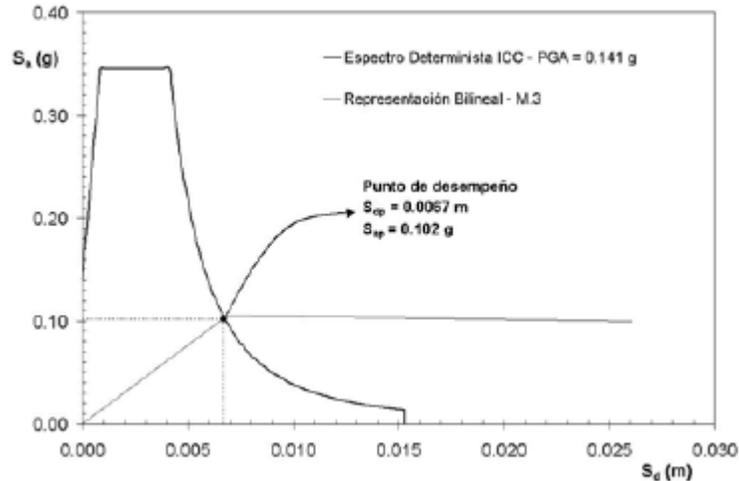
Tabla II. Rangos de variación del desplazamiento para los estados discretos de daño.

| Estado de daño | Intervalo de S_d |
|----------------|--|
| Sin daño | $S_d < 0.7D_y^*$ |
| Leve | $0.7D_y^* < S_d \leq D_y^*$ |
| Moderado | $D_y^* < S_d \leq D_y^* + 0.25(D_u^* - D_y^*)$ |
| Severo | $D_y^* + 0.25(D_u^* - D_y^*) < S_d \leq D_u^*$ |
| Colapso | $S_d > D_u^*$ |

Fuente: (Alex Barbat, Luis Pujades, 2002).

Para evaluar el nivel de desempeño sísmico del edificio tipo de mampostería no reforzada analizado, se ha elegido un método avanzado en el cual se utiliza el formato aceleración-desplazamiento (A-D). La representación visual del método de la simulación de capacidad con las bases físicas de la simulación de demanda inelástica. La simulación de respuesta en formato A-D que describe la demanda sísmica se intercepta con la simulación de capacidad para el nivel de prestación sísmica, o de desempeño sísmico. Véase la figura 5.

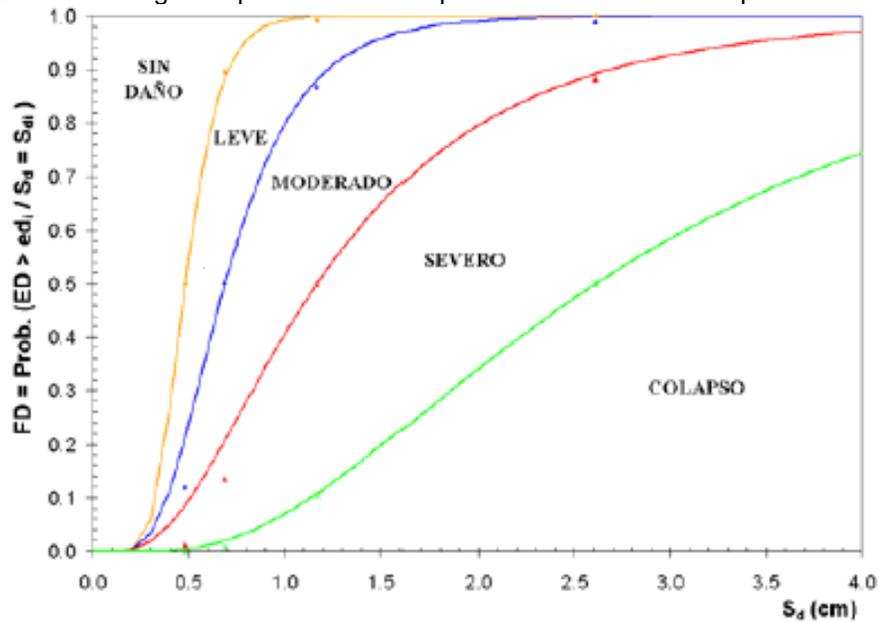
Figura 5. Punto de desempeño sísmico, caso determinista.



Fuente: (Alex Barbat, Luis Pujades, 2002).

Para generar las curvas de fragilidad se ha hecho la superposición de que la probabilidad de alcanzar o exceder un determinado estado de daño, sigue una distribución Log normal.

Figura 6. Curvas de fragilidad para un edificio típico de 6 niveles de mampostería no reforzada.



Fuente: (Alex Barbat, Luis Pujades, 2002).

En definitiva estas nuevas metodologías son más completas pero por ende más complejas. Si se desea realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica más exacto se pueden considerar este tipo de métodos pero en definitiva para estudios masivos que requieren una respuesta inmediata se debe tomar un estudio como el que se realizó en este trabajo ya que únicamente por una inspección visual rápida se puede determinar el grado de vulnerabilidad. No obstante en algún caso en especial, se deberá tomar métodos como éste que son más específicos para edificios más importantes.

1.5.3. Métodos Cualitativos.

A continuación se incluye la descripción de los métodos aproximados propuestos por diversos autores para la evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones existentes, las cuales muy comúnmente no cuentan con información detallada acerca de su diseño estructural, lo que impide realizar su análisis mediante los sofisticados métodos modernos que actualmente se utilizan para la evaluación del comportamiento o

desempeño y la confiabilidad estructural. Si se tiene en cuenta que en ocasiones es necesario evaluar edificaciones relativamente antiguas, de las cuales no se conservan memorias de su diseño, y que en otras ocasiones es necesario evaluar en forma ágil un amplio número de edificaciones, como es el caso del presente estudio, estas técnicas son realmente útiles, dado que no es posible en la práctica llevar a cabo este tipo de evaluaciones de otra forma. De los diferentes métodos que podemos mencionar están los siguientes:

1.6. Método de evaluación visual rápido. (ATC-21)

El método de evaluación rápida es un procedimiento visual de inspección. Está basado en el reconocimiento y clasificación de varias características estructurales que aumentan la vulnerabilidad de la edificación ante un sismo. Puesto que se basa en parámetros conservadores, con este procedimiento aproximado no se espera que se identifiquen todas las posibles fallas potenciales en estructuras.

El resultado de la evaluación rápida se expresa en términos de una calificación asignada al edificio, con el fin de indicar daños potenciales en él. Este procedimiento no requiere análisis detallado ni cálculos laboriosos, más bien se lleva a cabo para establecer en forma preliminar las características estructurales que lo podrían volver vulnerable. El método ATC-21 fue desarrollado según un extenso análisis de diversos tipos de estructuras por métodos analíticos y experimentales. Para realizar este estudio, utilizaremos este método que está entre las categorías de los métodos cualitativos, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards, ATC-21, propuesto por Applied Technology Council.

1.6.1. Descripción del método

El método consiste en determinar una calificación que denote el grado de vulnerabilidad de la estructura en análisis, de manera rápida y sencilla, sin ser necesario el ingreso a los edificios o la realización de ensayos, básicamente, se completan los datos en un formulario a través del siguiente proceso. (Jerez, 2001):

1. Seleccionar el formulario con las calificaciones iniciales adecuadas de los diversos tipos estructurales según la amenaza sísmica.
2. Determinar los datos cualitativos, identificación y uso del edificio.
3. Determinar a qué categoría de tipo estructural pertenece el edificio en análisis y su calificación inicial.
4. Determinar los factores modificadores del comportamiento sísmico (FMCS) que aplican al edificio en cuestión.
5. Restar a la calificación inicial del edificio los valores de los FMCS que se detectaron y calcular la calificación final.
6. Clasificar el edificio en su respectivo rango de vulnerabilidad y determinar si es necesaria una evaluación más detallada.

1.6.2. Formularios de evaluación.

Se ha adaptado el formulario de evaluación para una zona altamente sísmica con una aceleración máxima esperada del suelo de 0.3g o mayor, al menos una vez en cincuenta años, según lo descrito sobre la amenaza sísmica del sector, y con un criterio similar al que utiliza en la actualidad la Secretaría de Coordinación Ejecutiva de Presidencia a través de la Unidad de Riesgo Sísmica, en la evaluación de la vulnerabilidad estructural de los edificios del estado. (Jerez, 2001). El Formulario de evaluación se presenta en la siguiente página.

FORMULARIO DE EVALUACIÓN

| MÉTODO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDO | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|
| Dirección: | | | | | | | | | | | | | | | |
| Identificación: | | | | | | | | | | Código postal: | | | | | |
| Número de pisos: | | | | | | | | | | Área en m²: | | | | | |
| Uso original: | | | | | | | | | | Año de construcción: | | | | | |
| Inspector: | | | | | | | | | | Fecha de inspección: | | | | | |
| Número de ocupantes | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0-10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11-100 | | | | | | | | | | | | | | | |
| >100 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO | | | | | | | | | | | | | | | |
| Residencial | | | | | | | | | | | | | | | |
| Comercial | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oficinas | | | | | | | | | | | | | | | |
| Industrial | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reunión pública | | | | | | | | | | | | | | | |
| Esc./Inst. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Edif. de Gob. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Serv. emergencia | | | | | | | | | | | | | | | |
| Edificio histórico | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peligro en colindancias | ESQUEMA | | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | 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 |
| | 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 |
| | Codigo de diseño sísmico | | | | | | | | | | | | | | |
| | Otro modificador aplicable | | | | | | | | | | | | | | |
| Confiabilidad de los datos | 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 |
| | 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 | -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 | 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 | | | | | |

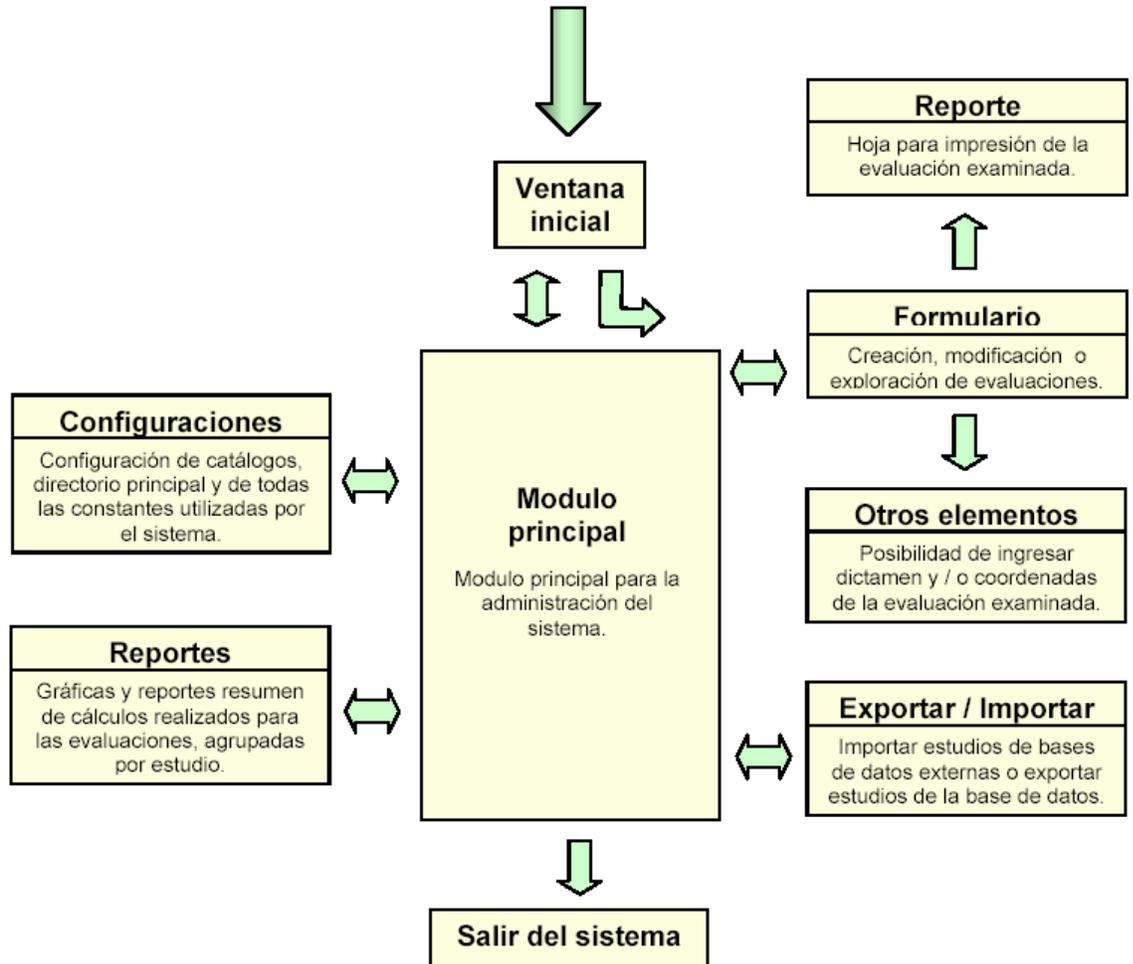
Este Formulario fué utilizado para evaluar las estructuras, sin embargo, se desarrolló una base de datos de las evaluaciones se digitalizaron los esquemas y resultados anotados en cada formulario, con el propósito de transmitir de forma más clara y eficiente la información, de manera que las consultas se puedan realizar en una computadora y se evite la incomodidad que implicaría tener más de tres mil quinientas hojas de papel entre las cuales buscar una evaluación específica. Además, esto permitirá la agilización del desarrollo de informes, ordenar los datos por diferentes criterios, priorizar planes, localizar específicamente las estructuras por sus distintos grados de vulnerabilidad o hacer que en el futuro este tipo de estudios se realice de una manera más rápida, eficiente y sencilla.

Para poder realizar la organización y optimización de las casi 3800 evaluaciones generadas fue utilizado un programa elaborado en Microsoft Access con el objetivo que cuando se quiera revisar la información generada sea mas fácil su ubicación y consulta. Este programa fue mejorado por Isaías Pixtón España, como parte de una adecuación para su trabajo de graduación.

En este programa será guardada toda la información que se genere de las evaluaciones, mas no toda la información gráfica correspondientes a los esquemas y fotografías de cada una de las evaluaciones. Todas las ilustraciones estarán guardadas en un directorio por separado, en donde la base de datos se podrá consultar para cada evaluación que se desee visualizar. Toda esta aplicación esta compuesta de un conjunto de consultas, formularios e informes que alimentan la base de datos que son directamente todos los criterios que se utilizaron de evaluación que en los siguientes párrafos se estará ampliada uno por uno mas de ellos.

A continuación en la figura 7 se muestra un diagrama de flujo del procedimiento general a seguir para la aplicación de método:

Figura 7. Diagrama de Flujo de la aplicación del programa.



Fuente: (Pixtún España, Isaías, 2007)

Para su fácil ubicación en este programa cada evaluación es identificada con un código único de identificación de cada una de las evaluaciones, y se genera automáticamente. Este código es el resultado de concatenar el identificador del estudio, el número de zona, número de cuadra y el número de lote separados por un guión mayor, por ejemplo en la evaluación con estudio número 5, zona 12, manzana 90 y lote 7 tiene como código “5_12_90_7”. El programa no permite ingresar una evaluación con una combinación duplicada de estos cuatro datos, ya que es el código único de

identificación. Se hace mención a esto ya que más adelante encontraremos fotografías del sector que están referidas cada una por su respectivo código. Adicionalmente, es importante mencionar que al momento de completar una evaluación directamente en el programa se solicitan algunos otros datos que no están en el formulario de evaluación antes visto, datos que son de suma importancia para poder llegar a determinar la vulnerabilidad sísmica de cada lote, algunos de estos se mencionan a continuación.

Esquema y/o fotografía: Cuando ya se cuente con el código único identificador de la edificación, el evaluador ya puede ingresar el esquema y/o fotografía. Esto es debido a que el nombre que debe tener el esquema y/o fotografía de la evaluación es el mismo código identificador de la evaluación, por ejemplo, si la evaluación de código “6_0_0_1” tiene fotografía y esquema, ambas tendrán como nombre “6_0_0_1.jpg”. Estas imágenes deberán tener formato de imagen “JPEG” y serán manipuladas manualmente por el usuario y guardarse en los directorios de fotos y esquemas respectivamente.

Macrozona: En este campo se define en qué macrozona se encuentra ubicada la evaluación, pudiendo ser en las macrozonas “2”, “3” ó “4.1 y 4.2” según norma NR-2. La macrozona “4.1 y 4.2” esta configurada como la predeterminada, ya que es la más crítica, quedando a criterio del evaluador su modificación.

Mediante este formulario se puede alimentar a la base de datos con toda información de los estudios de vulnerabilidad que el evaluador necesite ingresar, de una forma sencilla.

Para una mejor visualización del formulario de Evaluación en el programa la figura 8 ilustra más claramente su forma.

Figura 8. Formulario de Evaluación en programa de almacenamiento de datos.

Formulario para la administración de evaluaciones

Identificador: 1_3_12_1 **MÉTODO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDO**

Estudio: 1 Zona: 3 Cuadra: 12 Lote: 1 Dirección: Bta. avenida "A" 38-54, 33 calle 6-56 zona 3
 Macrozona: 1 Inspector: 1 Fecha: 02/10/01 Identificación: Sin Identificación
 No. pisos: 2 Area m2: 100 Uso orig.:
 No. sotanos: 0 Año const.: Cod. postal:

Ocupantes:
 0 - 10
 11 - 100
 > 100

Uso de la edificación

| | | |
|--------------------|----|----|
| Residencial | No | Si |
| Comercial | No | Si |
| Oficinas | No | Si |
| Industrial | No | Si |
| Reunión pública | No | Si |
| Esc. / Inst. | No | Si |
| Edf. de Gobierno | No | Si |
| Serv. emergencias | No | Si |
| Edificio histórico | No | Si |

No hay fotografía

| Tipo de Estructura | M | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | C1 | C2 | C3 | C4 | CP | M5 | MM | MNR |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Calificación básica | 4.5 | 4.5 | 3 | 5.5 | 3.5 | 1.5 | 2 | 3 | 1.5 | 2 | 1.5 | 3 | 2.5 | 1 |
| Gran altura | N/A | -2 | -1 | N/A | -1 | -0.5 | -1 | -1 | -0.5 | N/A | -0.5 | -1 | -1 | -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 | -2.5 | -2 | -1 | -2 | -1 | -2 | -2 | -1 | -1 | -2 | -2 | -2 | -1 |
| Torsión | -0.8 | -1.5 | -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 | -0.5 | N/A | N/A | -1 | N/A | N/A | N/A | -1 | N/A | N/A | N/A |
| Columnas cortas alta rigidez | N/A | 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 |
| Columnas medianas mediana rigidez | N/A | 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 |
| Columnas aisladas < 0.3*0.3 m | N/A | 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 |
| Suelo rígido (edificios altos) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Suelo rígido (edificios bajos) | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Suelos blandos | -0.8 | -3.6 | -0.6 | -3.6 | -0.6 | -3.6 | -0.6 | -3.6 | -0.6 | -3.6 | -0.6 | -3.6 | -0.6 | -3.6 |
| Suelos blandos (edificios altos) | N/A | -0.8 | -0.8 | N/A | -0.6 | -0.6 | -0.6 | -0.6 | -0.6 | N/A | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 |
| Código de diseño sísmico | | | | | | | | | | | | | | |
| Otro modificador aplicable | | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 |

Observaciones:

Construcción peligrosa 2.0, evidencia asentamiento diferencial

Peligro colindancias: Evaluación detallada?:
 Peligro no estructural: Muni: Guatemala
 Cofiability de datos: 2 Depto: Guatemala

Otros peligros:

Registro: 1 de 1469

Fuente: (Pixtún España, Isaías, 2007)

Como podemos apreciar en la figura anterior, cada evaluación que se ingresa en el programa va acompañada de su respectiva fotografía o esquema. Para el presente trabajo de las evaluaciones cuentan únicamente con su respectiva fotografía.

La base de datos, un archivo denominado “manual de uso”, que contiene la información necesaria para su funcionamiento, el archivo de texto y las imágenes del presente estudio, serán entregadas en un medio informático (disco compacto) a las siguientes instituciones:

- Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Centro de Información para la Construcción (CICON), adscrito al Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Centro de Estudios Superiores en Energía y Minas de la Universidad de San Carlos de Guatemala CESEM
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres CONRED
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica AGIES
- Departamento de Catastro de la Municipalidad de Guatemala

1.6.3. Criterios de evaluación.

El formulario de evaluación requiere el ingreso de diversos tipos de datos en referencia a la estructura en cuestión para identificarla. Con el propósito de que el criterio que se utilizó sea comprendido e interpretado adecuadamente, se desarrolla esta sección que describe la información requerida por cada campo del formulario y las características que debe presentar la estructura evaluada para ser afectada por algún factor o ser ubicada dentro de algún rango, en concordancia con el criterio del manual

ATC-21 y ATC-21-1 (Applied Technology Council, 1988), y el estudio ya mencionado de la Secretaria de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia.

a). Datos generales

Tabla III. Datos generales que requiere Formulario de Evaluación.

| METODO DE EVALUACION VISUAL RÁPIDO | | | |
|---|--|-------------------------|--|
| Dirección | Se coloca la dirección o direcciones de la estructura evaluada | | |
| Identificación | Se coloca el nombre o identificación comercial de dominio público de la estructura evaluada, si tiene. | Código Postal | Se coloca el Código postal de la estructura si se conoce |
| Número de pisos | Se coloca numero de niveles. | Área en M2 | Se coloca el área en m2 de un solo nivel. |
| Uso original | Se coloca el uso de la estructura para la que fue diseñada, si se conoce | Año de Cons. | Se coloca el año en que se construyo, si se conoce |
| Inspector | Se coloca, Código o iniciales del inspector | Fecha de Inspec. | Se coloca fecha en que se realizo la inspección |

b). Ocupación y tipo de estructura

Las características de los distintos tipos de estructuras que considera el método se describen en la tabla IV, aparecen, también, los índices de ocupación que propone el manual ATC 21 y el costo promedio por unidad de área construida para cada tipo de estructura, el cual se estimó según las tablas de marzo del 2008 del Departamento de Catastro de la Municipalidad de Guatemala y de la Cámara Guatemalteca de la Construcción, lo que permitirá establecer una correlación entre la vulnerabilidad de las

estructuras evaluadas y las pérdidas humanas y materiales. Véase la descripción en el capítulo 3.

Tabla IV. Ocupación y tipo de estructura.

| TIPO | DESCRIPCIÓN | VALORES DE CÁLCULO |
|------------------------|--|---|
| Residencial | Viviendas, Hoteles, dormitorios, apartamentos, multifamiliares, etc. | Costo por M2: Q 1,700.00 Hab. X M2: 1/28 |
| Comercial | Comercios en general, restaurantes, parqueos, tiendas, depósitos, etc. | Costo por M2: Q 2,000.00 Hab. X M2: 1/14 |
| Oficinas | Edificios dedicados únicamente a tener diferentes tipos de oficinas profesionales. | Costo por M2: Q 1,800.00 Hab. X M2: 1/15 |
| Industrial | Fábricas, industrias, maquilas, plantas de producción, bodegas, etc. | Costo por M2: Q 2,500.00 Hab. X M2: 1/30 |
| Reunión Pública | Destinados a asambleas, convivios, teatros, auditorium, conciertos, etc. | Costo por M2: Q 1,600.00 Hab. X M2: 1/3 |
| Escuela o Instituto | Establecimientos educativos públicos y privados. | Costo por M2: Q 1,900.00 Hab. X M2: 1/7 |
| Edificio de Gobierno | Edificaciones del estado que no sean servicios de emergencias | Costo por M2: Q 1,800.00 Hab. X M2: 1/15 |
| Servicio de Emergencia | Toda edificación destinada a resguardar la seguridad nacional, hospitales, policía, etc. | Costo por M2: Q 2,500.00 Hab. X M2: 1/15 |
| Edificio Histórico | Catalogadas como patrimonio histórico nacional. | Costo por M2: Q 3,500.00 Hab. X M2: 1/15 |

c). Otros peligros

Es importante anotar los peligros observados en la casilla “otros peligros” o en la de observaciones, e identificar si es un peligro en colindancia o no estructural, pues la existencia de cualquiera de estos peligros aumenta las probabilidades de sufrir daños, por lo que también se pueden correlacionar estos datos con los indicadores de la vulnerabilidad en elementos humanos y materiales como se verá en el capítulo 3, aunque esto no implique el colapso total o parcial de la estructura.

d). Esquema

Los esquemas o fotografías de la edificación permiten identificar rasgos importantes, y también pueden ser una herramienta de identificación de la estructura si el propietario está interesado en conocer los resultados de la evaluación de su estructura o, si por alguna razón, se hace necesario llegar a la estructura para readecuarla o tomar medidas de prevención. Se recomienda, como mínimo, un dibujo en planta y una o dos elevaciones de la edificación. Para el presente estudio se cuenta con las fotografías de todas las edificaciones.

e). Clasificación estructural

El formulario clasifica las estructuras por el Sistema Estructural para Resistir Fuerzas Laterales SERFL, por lo que su identificación es la parte más importante de la evaluación. Se identifican cuatro tipos de materiales utilizados para construir el SERFL, madera, acero, concreto y mampostería, de los cuales el acero tiene cinco clasificaciones distintas; el concreto cinco y la mampostería tres, haciendo un total de 14 tipos estructurales. A continuación en la tabla V, se describen las características más importantes de cada uno de estos tipos y los rasgos que facilitan su identificación.

Tabla V. Clasificación Estructural.

| MADERA | | | |
|-------------------------------|--|--|---|
| TIPO | M | | |
| NOMBRE | Estructura de Madera | | |
| DESCRIPCION | Estructuras de poca altura, máximo de 3 niveles, construidas con párales de 2" a 4", con breizas o sin ellas. Para los muros se usan reglas y tablas de madera o lamina de zinc. | | |
| ACERO | | | |
| TIPO | A1 | A2 | A3 |
| NOMBRE | Marcos de Acero resistentes a momento | Marcos de Acero con breizas | Estructuras de acero livianas |
| DESCRIPCION | Consiste en estructuras formadas por marcos de vigas y columnas cuya rigidez resiste las fuerzas laterales. | Construidas también con vigas y columnas de acero. En estas las fuerzas laterales se transportan al sistema de breizas en esfuerzos de compresión o tensión. | Utilizadas para bodegas, cubren luces grandes. Son marcos rígidos altos 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 joist. |
| TIPO | A4 | A5 | |
| NOMBRE | Marcos de acero con muros de corte de concreto | Marcos de acero con muros de relleno de mampostería no reforzada | |
| DESCRIPCION | Similares a los marcos rígidos, pero las uniones entre vigas y columnas no se diseñan para resistir las fuerzas laterales, son resistidas por muros de corte de concreto integrados a la estructura. | Estructuras poseen muros perimetrales o interiores de mampostería no reforzada, altamente rígidos propensos a fracturas. | |
| CONCRETO | | | |
| TIPO | C1 | C2 | C3 |
| NOMBRE | Marcos de concreto resistentes a momento | Muros de Corte de concreto | Marcos de concreto con muros de relleno de mampostería no refor. |
| DESCRIPCION | Marcos que pueden ser dúctiles o rígidos, según diseño del refuerzo y el concreto, las fuerzas laterales resistidas por vigas y columnas. | Estructuras de concreto tipo caja o marcos con muros de concreto que se localizan, generalmente, en toda la altura del edificio. | Marcos de concreto rellenos por muros rígidos de mampostería no reforzada que pueden fracturarse por la acción de los sismos. |
| CONSTRUCCION COMPUESTA | | | |
| TIPO | CC | CP | |
| NOMBRE | Construcción Compuesta | Estructuras de concreto Prefabricado | |
| DESCRIPCION | Edificios construidos por una combinación de acero, concreto y otros materiales, unidos entre sí por soldaduras o uniones mecánicas de las cuales depende la resistencia. | Estructuras ensambladas sitio, construidas por 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. | |
| MAMPOSTERIA | | | |
| TIPO | MS | MM | MNR |
| NOMBRE | Mampostería reforzada superior | Mampostería reforzada media | Mampostería no reforzada |
| DESCRIPCION | Conocida como mampostería integral, consiste en muros de carga de mampostería grauteada, con diafragmas de concreto reforzado. | Consiste en una combinación de unidades de mampostería unidas con mortero, con soleras horizontales, columnas, mochetas o pines de concreto reforzado. Comúnmente se le conoce como mampostería confinada o de tipo mixto. | Estructuras construidas por unidades de mampostería de adobe o ladrillo sin refuerzos de concreto armado. |

f). Calificación básica.

Es la calificación inicial que se le otorga a cada estructura en función de su seguridad, comportamiento sísmico y amenaza sísmica (Applied Technology Council, 1988), estructuras menos vulnerables presentan calificaciones más altas y viceversa. A esta calificación se restan o suman los factores asignados a cada modificador del comportamiento sísmico que presente la estructura en evaluación para obtener su calificación final.

g). Factores modificadores del comportamiento sísmico.

Son factores que favorecen o perjudican el comportamiento sísmico satisfactorio de una estructura, los perjudiciales son negativos y disminuyen la calificación básica de la estructura, y los positivos, son aspectos favorables que aumentan la calificación básica de la estructura.

Tabla VI. Factores modificadores del comportamiento sísmico.

| MODIFICADORES Y CRITERIOS DE APLICACION | |
|--|-------------------------------------|
| GRAN ALTURA | |
| Para edificios de madera (M), estructura de acero livianas (A3) y construcciones compuestas (CC) no aplica este factor, pues este tipo de edificaciones debe tener a lo sumo, dos niveles. Edificios de mampostería, tres niveles o más, los otros tipos estructurales, ocho niveles o más. | |
| MAL MANTENIMIENTO | |
| Daños visibles, corrosión, pudrición, elementos con daños por intemperie, etcétera | |
| IRREGULARIDAD VERTICAL | |
| Edificios con elevaciones de formas irregulares de gradas, muros inclinados o discontinuidades en el mecanismo de transferencia de carga. | |
| IRREGULARIDAD EN PLANTA | |
| Plantas con formas irregulares, tipo "T", "L", "U", "E", u otras. | |
| NIVEL SUAVE | |
| Edificios con mayor altura en el primer nivel u otro respecto al resto de niveles, con aberturas excesivas en un nivel en relación al resto de niveles, o con discontinuidad en los muros de corte. | |
| TORSION | |
| Rigidez estructural excéntrica o asimétrica evidenciada por asimetría en la configuración de los elementos estructurales, ya sea horizontal o verticalmente. | |
| COLISION ENTRE EDIFICIOS | |
| Separación entre edificios adyacentes menor a 10 centímetros por nivel del edificio más bajo, y edificios con poca separación en los que no coinciden las alturas de las losas. | |
| PANELES PESADOS EN FACHADA | |
| Paneles pesados de concreto, vidrio u otros materiales pesados utilizados como cerramiento. | |
| COLUMNAS CORTAS | |
| Columnas restringidas por soleras o vigas de acople, o por muros bajos, o aquellas cuya longitud sea menor a la mayoría y afecten la rigidez vertical de la estructura. | |
| COLUMNAS AISLADAS | |
| Columnas aisladas, especialmente en sistemas de caja, colocadas al centro de un claro que reciben vigas y reemplazan la función de muros de carga. | |
| CODIGO DE DISEÑO SISMICO | |
| Estructuras que han sido diseñadas con requerimientos y códigos sísmicos. | |
| SUELO RIGIDO, BLANDO, FIRME Y ESTABLE | |
| Suelo rígido: Suelo tipo B Suelo Blando | Suelo Firme y estable: Suelo tipo C |
| OTRO MODIFICADOR APLICABLE | |
| Permite al inspector aplicar un modificador no presente en la lista del formulario, siempre y cuando sea aplicado con buen criterio, de manera que modifique la calificación final del edificio en función de su vulnerabilidad. En este estudio se aplicaron básicamente dos: Construcción empírica -1.0, edificios que evidencian construcción no profesional con procedimientos constructivos deficientes y riesgosos, como discontinuidad de elementos estructurales verticales y horizontales, ampliaciones excesivas, combinaciones inadecuadas de materiales de construcción, malos procesos de reparación y refuerzo, etcétera. Construcción peligrosa -2.0, edificios de mampostería no reforzada, de adobe u otro material, los que han sido reforzados con técnicas no adecuadas, en general, los que atentan contra la vida de sus habitantes. Otros ejemplos podrían ser el cambio de uso a una estructura que sea notoriamente perjudicial, según lo descrito en la sección 3.1., para lo cual se puede aplicar un factor negativo, pues el edificio es más vulnerable. El uso de block de alta resistencia en edificaciones de mampostería media, podría implicar un factor positivo, pues el edificio es más resistente. | |

h). Calificación final.

Es la menor calificación que se obtiene al restar y sumar a la calificación básica de cada tipo estructural seleccionado, todos los modificadores del comportamiento sísmico que presenta la estructura evaluada, y determina el grado de vulnerabilidad de la estructura de acuerdo con el criterio presentado en la tabla VII, el cual concuerda con el utilizado por la Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia a través de la Unidad de Riesgo Sísmico en la evaluación de los edificios del Estado.

Tabla VII. Calificación final y rangos de vulnerabilidad.

| CALIFICACIÓN FINAL C.F. | CALIFICACIÓN VULNERABILIDAD | CÓDIGO DE COLOR PARA MAPEO | DESCRIPCIÓN |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---|
| $C.F. \geq 1.50$ | MÍNIMA | VERDE | 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 |
| $0.25 \leq C.F. < 1.50$ | SIGNIFICATIVA | AMARILLO | 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. |
| $-1.00 \leq C.F. < 0.25$ | ALTA | ANARANJADO | 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 | ROJO | Se esperan pérdidas materiales totales, un potencial número de muertes del 60% de los habitantes de la estructura y un 20% de heridos. |

Debido a que, actualmente, no se cuenta con estudios completos de evaluación de daños por terremotos ocurridos en el país, la estimación de las pérdidas potenciales en función de la vulnerabilidad de las estructuras se realizará, en este estudio, por los valores propuestos en la tabla anterior, los cuales deberán ser afinados por evaluaciones de daño en eventos sísmicos futuros.

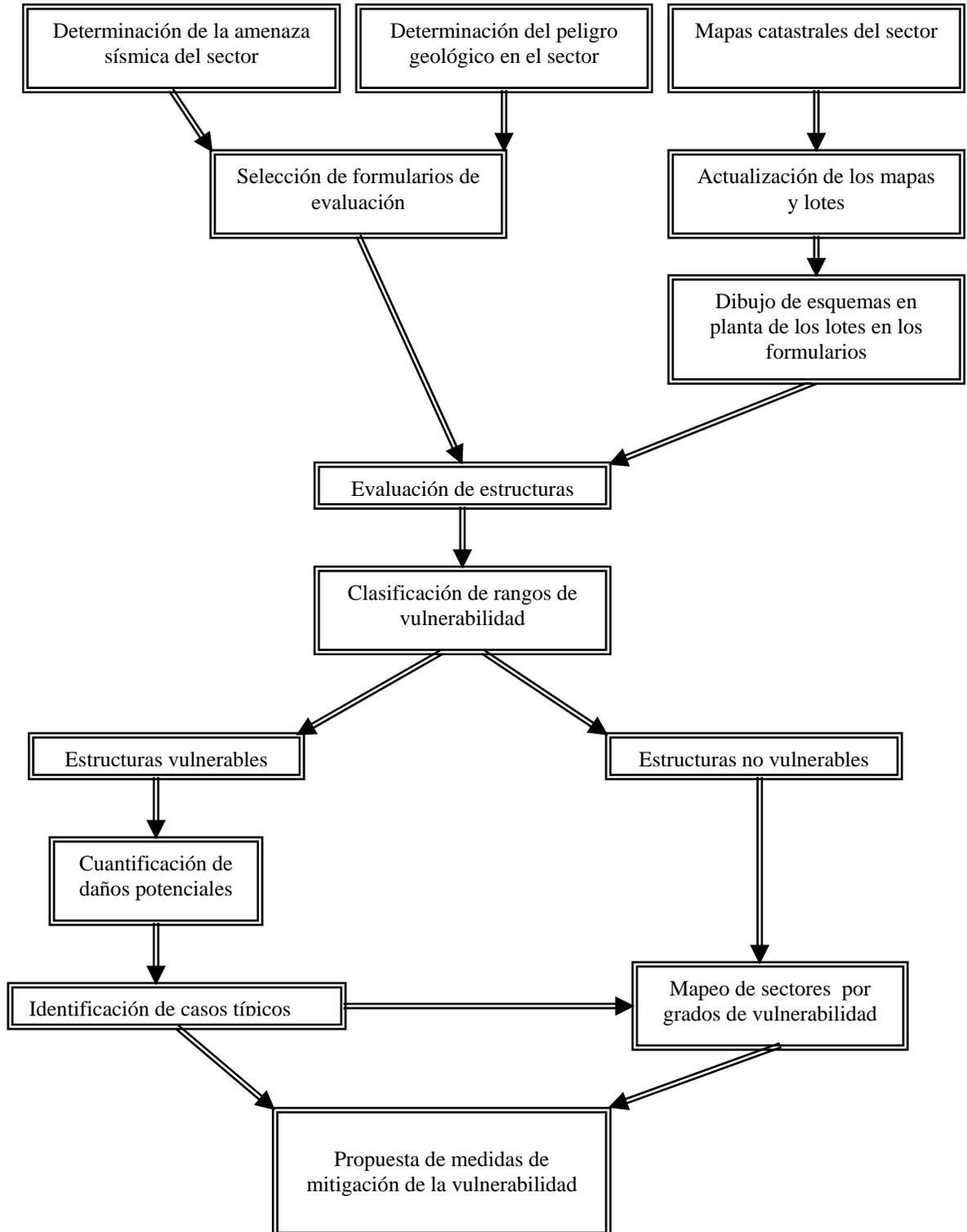
i). Confiabilidad de los datos.

Estima el grado de certeza que tiene el inspector de los datos recabados durante la evaluación, según el siguiente criterio:

Tabla VIII. Confiabilidad de los datos en las evaluaciones.

| CONFIABILIDAD | RANGO | CRITERIO |
|----------------------|-----------------------|--|
| Alta | $C.A. \geq 95 \%$ | Certeza de que los datos son reales porque se ha tenido acceso a fuentes confiables como estadísticas, planos, entrevistas y son fácilmente comprobables. |
| Media | $75 \% > C.M. < 95\%$ | Los datos son estimados ciertos puesto que son evidentes y estimables según el criterio del inspector, aunque no se haya tenido acceso a fuentes de información. |
| Baja | $C.A. \leq 60 \%$ | De los datos obtenidos pueden llegar a dudarse, pero se ha considerado en la evaluación distintas situaciones y se ha elegido la más crítica. |

1.6.4. Diagrama de flujo de procesos de evaluación.

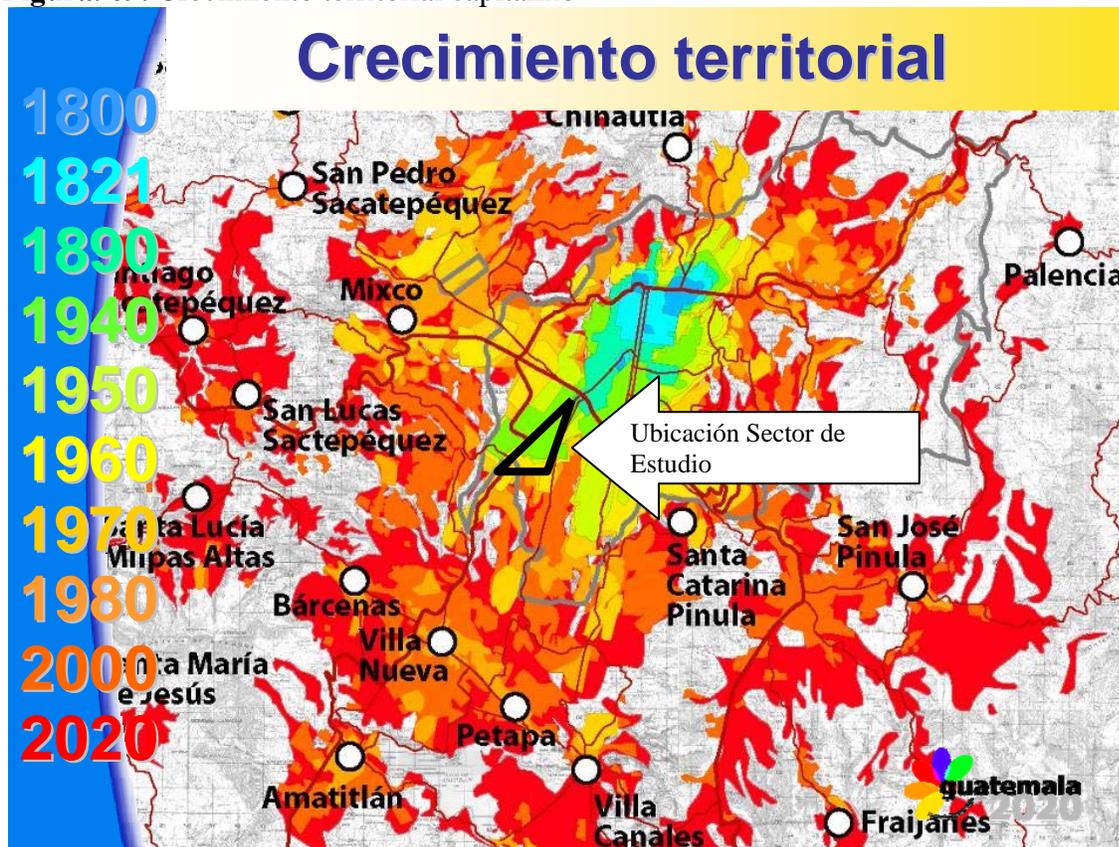


2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA A EVALUAR

En este capítulo se presenta el sector de la ciudad de Guatemala que ha sido objeto de estudio, se dan a conocer algunas de sus características y un poco de su historia a fin de complementar el aspecto técnico que compete a los factores económicos, sociales y culturales. Se eligió dicho sector debido a que en él aún existen varias estructuras de adobe que fueron construidas hace mucho tiempo y únicamente han sido reforzadas empíricamente. Lo anterior puede constituirse en lineamientos importantes para desarrollar medidas que permitan mitigar y reducir la vulnerabilidad del sector ante los fenómenos sísmicos. En la figura 9 se puede apreciar en función del año en qué momento la ciudad empezó a manifestar su crecimiento territorial. Identificado cada año con su respectivo color, podemos apreciar que la mayoría de edificaciones del sector en estudio data desde 1940. En función de esto, es más fácil poder identificar qué sectores de la ciudad son más importantes de estudiar, ya que durante esta época la gran parte de las construcciones eran realizadas empíricamente y en definitiva el sector en estudio es uno de los primeros donde la ciudad de Guatemala empezó su expansión territorial hacia el sur.

Algo que es importante mencionar, es que a medida que las técnicas constructivas han ido avanzando, la mayoría de viviendas del sector cuenta en sus fachadas con repellos o acabados especiales que dificultan en muchos casos la identificación real del tipo de levantado de los muros; pero se utilizó el criterio de ancho de muros para determinar si estaban construidas con adobe o ladrillo. En algunos casos, se pudo recabar información por parte de los ocupantes de las viviendas, ya que han vivido en ellas durante mucho tiempo, pero en algunos otros casos por miedo, las personas no daban información y otras únicamente estaban alquilando, por lo que desconocían los orígenes de cada una de las construcciones.

Figura. 09. Crecimiento territorial capitalino



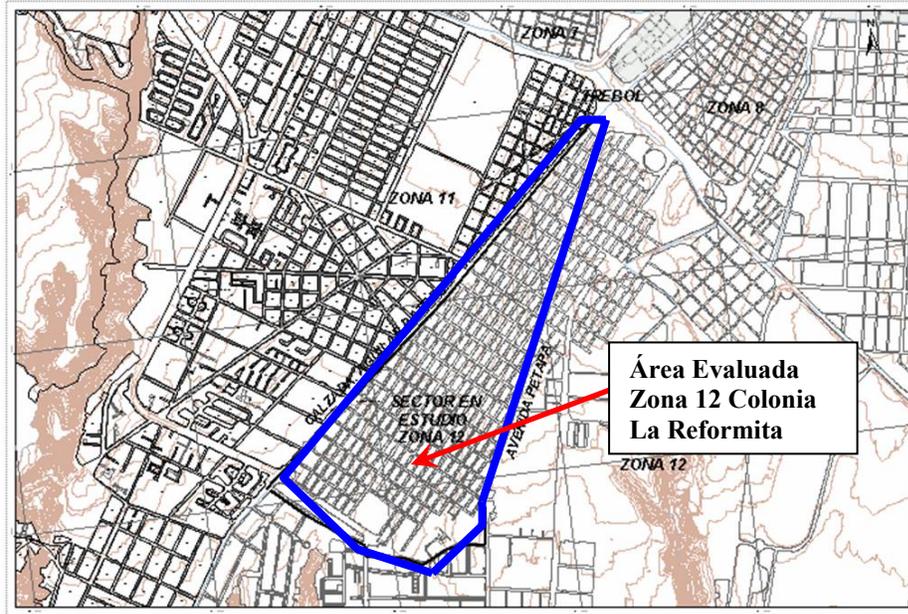
Fuente: Digitalización Municipalidad de Guatemala, Departamento de Catastro, 2008.

2.1 Localización y delimitación.

El sector que se estudia se encuentra localizado en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, en el centro del área metropolitana y tiene un área de 1, 507,777 m².

Está limitado al norte por El Trébol, al sur por la 24 calle hasta la 29 calle, al oeste por la Calzada Raúl Aguilar Batres, y al este por la Avenida Petapa, tal como se ilustra en la figura 10. Prácticamente, el sector está delimitado por vías principales de tráfico y conexiones importantes con la ciudad de Guatemala, como lo son los dos principales accesos, entrando por el lado sur.

Figura 10. Delimitación del sector estudiado.



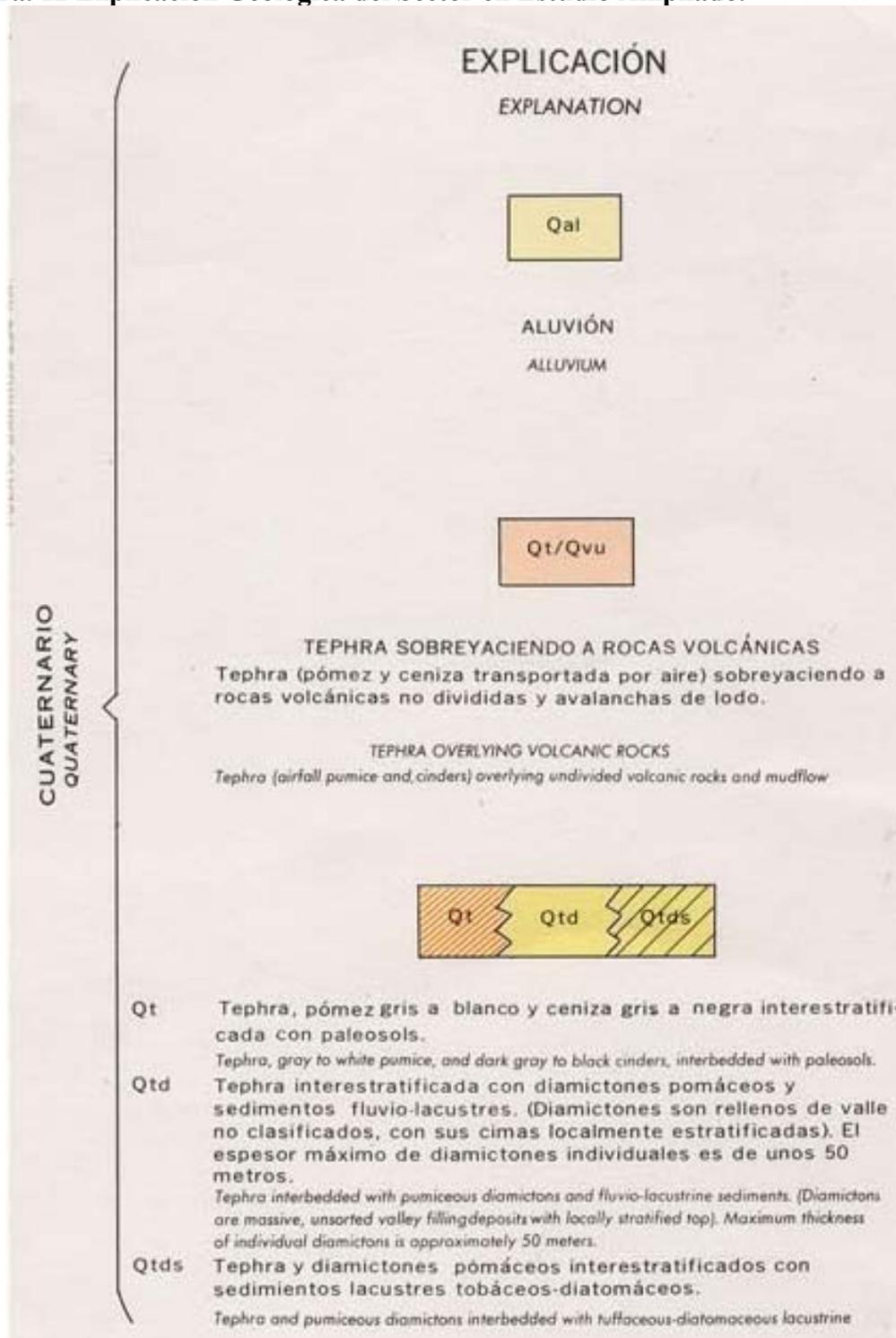
Fuente: Digitalización Municipalidad de Guatemala, Departamento de Catastro, 2007.

2.2 Aspectos físicos de la zona

2.2.1 Geología

Basta con observar la topografía de nuestro país, para poder decir que la geología es bastante compleja; por tal motivo, ésta presenta problemas de origen geológico que hacen frecuentes los sismos y otro tipo de fenómenos como las inundaciones, los derrumbes, los desbordamientos de ríos, etcétera. Para comprender cómo ha sido a lo largo del tiempo, la formación geológica básica del territorio donde está establecida la ciudad de Guatemala, en la figura 11 se presentan los diferentes tipos de suelos que la constituyen.

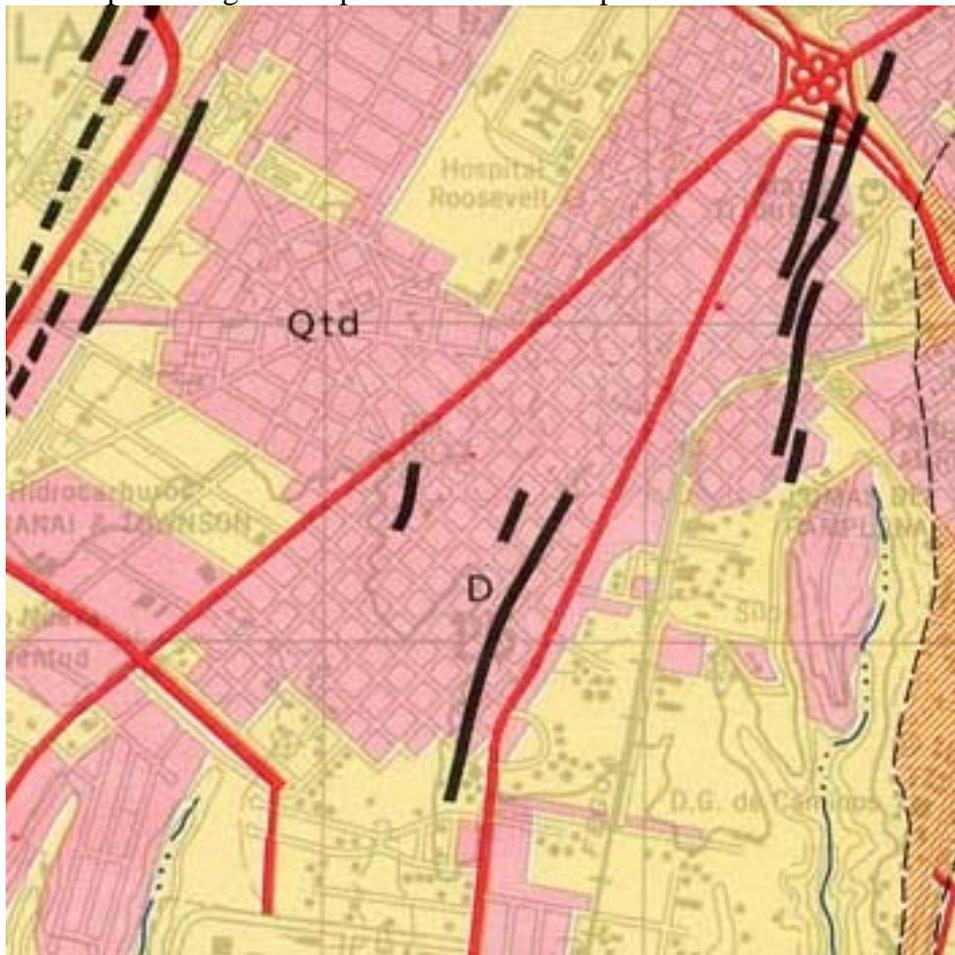
Figura. 12 Explicación Geológica del Sector en Estudio Ampliado.



Fuente: Digitalización Mapa Instituto Geográfico Nacional de Guatemala.

En la figura 13 se observa el sector de estudio ampliado y se pueden apreciar fracturas superficiales del suelo, las cuales son difíciles de identificar en el subsuelo; pero son altamente destructivas para las estructuras que se encuentran localizadas sobre ellas (Bohnenberger, 1996). Como lo muestra la figura, las fracturas derivadas de los sismos de febrero de 1976 en el sector de estudio, aunque no fueron tan severas como en el norte de la ciudad, en donde se presentaron desplazamientos verticales hasta de 12 centímetros; el daño estructural que puede provocar a futuro este tipo de peligro geológico, debe ser tomado en consideración.

Figura. 13 Mapa Geológico con posibles fracturas superficiales



Fuente: IGN, Mapa Geológico.

Al observar el mapa, se puede notar que las fracturas superficiales se manifestaron en tres diferentes lugares con la misma orientación de norte a sur. La más grande va desde la 26 hasta la 16 calle. Aunque las otras dos son pequeñas, es importante mencionar que cada una cubre alrededor de tres manzanas, lo que significa que unas 150 casas se encuentran en zona de alto riesgo. Una está ubicada desde la 18 hasta la 16 calle sobre la 12 avenida; y la otra va desde la 20 hasta la 18 calle sobre la 4ª Avenida. Si bien se manifestaron estas fracturas en el terremoto de 1976, no se observan actualmente grietas o asentamientos en las estructuras cercanas al alineamiento de la fractura; sin embargo, no se puede asegurar que las fracturas del suelo no se vuelvan a reactivar en eventos futuros, ya sea en esta área o en lugares donde no se han presentado, esto se debe a que la ciudad de Guatemala se encuentra asentada sobre una formación geológica que se conoce como Graben, producto de esfuerzos de tensión en el suelo provocados por los movimientos de las placas tectónicas (Bohnenberger, 1996).

A continuación se describen algunos de los peligros geológicos más significativos a los que el país en general está expuesto y principalmente en la zona en estudio, aunque el mayor, y que es el objeto del presente estudio, es el de los sismos, ya que por tratarse de un área totalmente urbanizada, es muy difícil pensar en desastres geológicos como derrumbes; sin embargo, como veremos más adelante, hay algunos otros factores climáticos externos, como precipitaciones excesivas, que podrían ocasionar inundaciones, vientos fuertes y cambios de clima drásticos.

2.2.2 Precipitación

En nuestro país se marcan únicamente dos estaciones, el verano y el invierno; éste último se presenta de abril a octubre; pero el agua de escorrentía de las cuencas que actúan sobre el territorio nacional, no llegan directamente a la zona en estudio; solo la precipitación directa del sector es la que en su momento afecta la zona, y la única causante de posibles inundaciones que podrían deberse a tragantes con basura en áreas bajas del sector. El promedio de precipitación que se ha presentado en el valle

de Guatemala durante los últimos 15 años es de 1,200 Mm. (INSIVUMEH, 2007), este parámetro es aceptable para la zona de estudio, debido a que la topografía de dicho sector en su mayoría es plana; las estructuras no se verían afectadas por inundaciones o deslaves, con excepción de las áreas donde se manifiestan los cambios topográficos del terreno en función del mapa antes visto de fracturas superficiales, ya que existen algunos lotes que aún no están construidos y por ende, el agua de lluvia cae directamente sobre el terreno natural, situación que puede ocasionar un empuje de suelos y poner en riesgo a los habitantes de terrenos vecinos.

2.2.3 Vientos

Los vientos en el sector de la zona 12, como en cualquier parte del país son impredecibles; sin embargo, en el mes de septiembre se empieza a marcar un aumento en la velocidad con rumbos diversos, pero con un particular dominio del sur-este. En el mes de marzo se han registrado los vientos más moderados, vientos contrarios al sur-este. Regularmente, el viento en la ciudad relativamente es variable y tiene tendencia a estabilizarse con su rumbo normal nor-este. La velocidad de viento promedio anual para la ciudad capital es de 4.6 Km. /H. Dentro del área de estudio, se encuentran un 40 % de viviendas con techo de lámina, las mismas presentan una mayor vulnerabilidad ante fuertes vientos y tormentas tropicales. (INSIVUMEH, 2007).

2.2.4 Clima

Las características climáticas en Guatemala son sumamente diversas, ya que los microclimas de diferentes regiones presentan variantes por su posición inter-tropical. Además de contar con dos litorales distintos de gran proximidad, la posición geográfica incide en el clima, al encontrarse en la zona tropical ubicada entre el Ecuador y el trópico de Cáncer. En nuestro país existen tres tipos de climas: el de tierra caliente, que comprende entre el nivel del mar y 800 mts. de altura, en el que se registra una temperatura media anual de 24 a 26 grados centígrados; el de tierra templada, que se sitúa entre 800 y 1900 mts. de altura, con una temperatura promedio anual de 17 grados

centígrados y por último, el de tierra fría, arriba de los 1900 mts. con temperaturas de cero grados centígrados o menos. El departamento de Guatemala se sitúa a 1500 mts sobre el nivel del mar, por lo tanto su clima es templado. (INSIVUMEH, 2007).

2.2.5 Tipo y uso de suelo

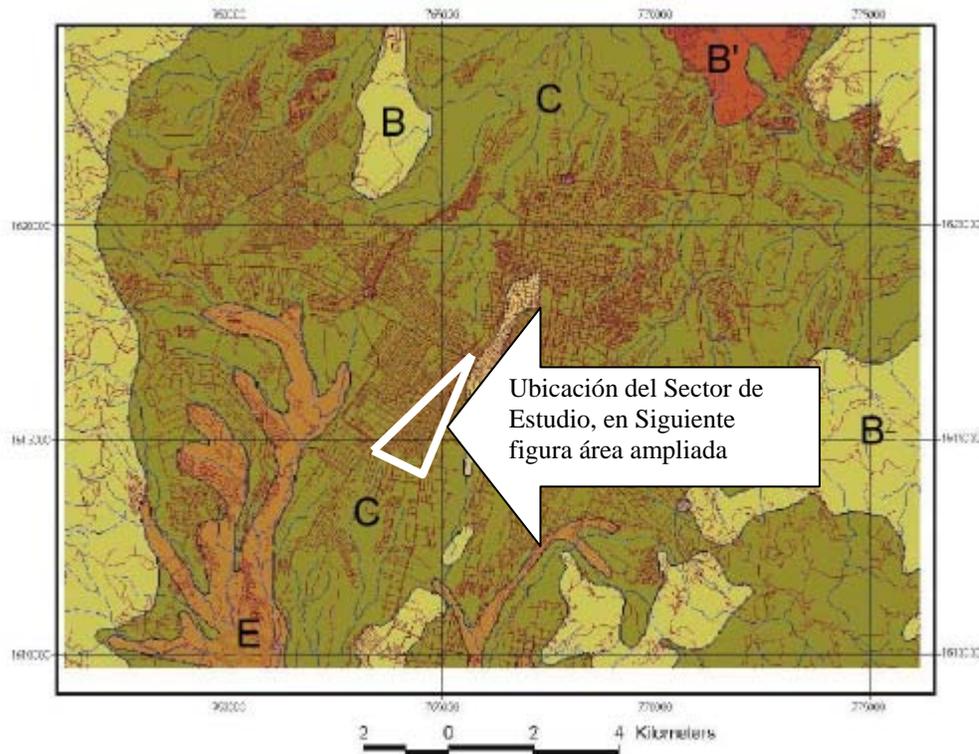
Los suelos se han catalogado de acuerdo con los coeficientes y sistemas de clasificación para sitios, utilizados en nuevos códigos sísmicos de construcción. El sector en estudio se caracteriza por una totalidad de área suelo tipo “C”, léase figura 14. El tipo de suelo no afecta tanto a este sector, lo que lo hace vulnerable respecto a los sismos, es la cantidad de viviendas de adobe que aún existen en el lugar.

Suelo Tipo B: depósitos volcánicos del terciario, rocas entre sanas y medianamente fracturadas. Este tipo de suelo posee velocidades rápidas de propagación de ondas, y se considera que si la respuesta a algún evento sísmico fuera una vibración de período corto, podría causar mayores daños a estructuras bajas. Aunque el período natural de vibración y la respuesta sísmica del suelo en el sector estudiado no han sido determinadas de manera experimental, analíticamente el fenómeno descrito podría ser factible.

Suelo Tipo C: depósitos de pómez cuaternarios, depósitos piro clásticos, principalmente formados de pómez, cenizas y arenas. La experiencia ha demostrado que este tipo de suelo tiene un valor soporte aceptable.

Suelo Blando: Analíticamente, se puede deducir que las estructuras construidas sobre este tipo de suelo podrían ser susceptibles de sufrir movimientos sísmicos de mayores amplitudes, de igual modo, existen mayores probabilidades que se presenten fracturas en el suelo y asentamientos diferenciales.

Figura 14. Tipo de suelo del sector estudiado



Fuente: (Flores y otros 2001).

Tal como se puede apreciar en esta figura, todo el sector de estudio está constituido por suelo tipo “C”, éste por tener un valor soporte del suelo bastante alto, le da cierta seguridad ante un evento sísmico. Según criterios de la ATC (Applied Technology Council, 1988) un suelo compuesto por rocas volcánicas no consolidadas (lavas y depósitos piroclastos fuertemente alterados con una velocidad de onda cortante de 800-1200 m/s) se aproxima a un suelo Tipo S3, que sería el equivalente al hablar de un tipo “C”.

Hasta el año 2007 el uso del suelo del sector estaba distribuido como se muestra gráficamente en la figura 15.

Figura 15. Tipo de suelo del sector Estudiado



Fuente: Levantamiento realizado a un Sector de la Zona 12, 2007.

2.3 Ambiente económico y social

El sector estudiado, presenta diversos tipos de actividades y sectores económico-sociales difícilmente delimitables, de los cuales se hace una breve descripción en los siguientes párrafos. En el capítulo 3 se presenta, de forma gráfica y tabular, información más específica del sector, la cual se obtuvo a través de las evaluaciones de vulnerabilidad practicadas a las estructuras, mapas e información estadística disponible.

Existen áreas altamente comerciales, como la Avenida Petapa y la Calzada Raúl Aguilar Batres, en las que se encuentran empresas y comercios grandes, como agencias bancarias, cadenas de restaurantes, gasolineras, y otros. También hay pequeñas y medianas empresas, cuya actividad principal es la prestación de diversos servicios, la venta de artículos de necesidad básica o la fabricación artesanal, como mueblerías, talleres, cafeterías, tiendas y panaderías. En el área evaluada existen 3,841 lotes, de los cuales 1,108 son de uso exclusivamente comercial, que constituyen un 28.85%; sin embargo, la combinación de actividades comerciales con otros usos, es bastante común, especialmente, el uso residencial con el comercial.

Además, están instaladas en el sector algunas empresas y plantas de telecomunicaciones, pequeñas industrias como talleres, fábricas de muebles, hojalaterías y otras que operan en edificaciones combinando la actividad industrial con otros usos. Del total de los lotes en el área evaluada, 19 tienen usos industriales exclusivos, lo que constituye un 0.49 %.

Del total de lotes en el área evaluada, alrededor de 2,610 son de uso residencial, lo cual equivale a un 67.95%; 19 lotes, equivalentes al 0.49% manifiestan usos residenciales y comerciales; unos 44 lotes, correspondientes al 1.15%, son residencias destinadas para reuniones públicas. Dentro de los servicio de emergencias ubicados en el sector de estudio, se encuentran 17 lotes, correspondientes al 0.44%. Además hay 21

lotes destinados a escuelas e institutos, correspondientes al 0.55%. Esto implica que más de la mitad de los lotes con usos residenciales, tienen combinación con otros usos, producto de la expansión del área metropolitana, pues a finales de los años 60, los límites de la ciudad escasamente rebasaban el área del periférico. Esta área era antes de uso altamente residencial, sin embargo, en la actualidad, muchos han instalado sus negocios en sus propiedades o alquilan parte de su propiedad para locales comerciales.

Los habitantes del sector pertenecen a diversos sectores económico-sociales, que van desde clase media alta, viviendo en edificios de apartamentos o en casa propia, hasta sectores de clase baja que viven en casas alquiladas.

En la actualidad, el sector estudiado se potencia otra vez como una de las áreas estructuralmente más vulnerables por fenómenos sísmicos en la ciudad de Guatemala, pues la zona 12, es una de las más populosas de la ciudad, en la que aún existe un alto número de construcciones de adobe, con un total de 983 residencias de dicho material. De igual modo, se desarrollan constantemente obras de autoconstrucción y construcciones empíricas; lo cual pone en peligro la vida y los bienes materiales de los habitantes del sector ante un evento sísmico, razones por las que se escogió el sector para desarrollar este estudio.

2.4 Infraestructura

2.4.1 Tipología estructural

En este capítulo hablaremos de lo que se refiere a la distribución ordenada de los espacios ambientales en las viviendas; tomando en cuenta aspectos socioeconómicos, culturales y religiosos que influyen mucho en el tipo de material con que se construyen las viviendas y el método constructivo empleado. De las construcciones que existen en el sector, aproximadamente el 80%, evidencia

autoconstrucción y un 10%, rasgos de construcción empírica; lo anterior se puede resumir en aspectos económicos que al final implican la utilización de materiales de baja calidad. Construcciones de gran envergadura o las realizadas para industrias y comercios grandes, evidencian rasgos de planificación y construcción profesional, y las hay de mampostería, acero, concreto reforzado o combinaciones de estos materiales.

En su mayoría, las construcciones son de mampostería media o mampostería confinada, conocida como “mixto”; principalmente las estructuras de mediana envergadura. Las más antiguas ubicadas en el sector, estructuras que datan desde los inicios de la urbanización, utilizan el sistema de mampostería no reforzada.

Aunque la técnica de la mampostería media es bastante simple, al grado que un maestro de obra con pocos años de experiencia en edificaciones puede desarrollar este tipo de construcción, cumpliendo satisfactoriamente muchos de los requisitos técnicos como los propuestos por las Normas de Planificación y Construcción para casos proyectados de la división técnica del FHA (FHA, 1994); hay muchos factores que se escapan del control de estos constructores y de los propietarios. Por facilitar el trabajo, por negligencia o por economía, se originan malas prácticas, como el uso de materiales económicos de baja calidad (Quiñónez 1996), malas cimentaciones, rellenos mal compactados o malos materiales para relleno, el agregar niveles desmedidamente a los edificios, etcétera.

2.4.1.1 Estructuras de adobe

Las construcciones que aún son de adobe son las más preocupantes y peligrosas. Es común encontrar casas en las que el adobe ya no tiene ningún recubrimiento que le proteja de la intemperie, otras tienen refuerzos de madera podridos, o muros altamente dañados, agrietados o parcialmente derrumbados, y otras en las que el adobe se colocó de canto, con muros muy esbeltos con espesores entre 10 y 20 centímetros. Si a lo

anterior se agrega que el adobe, por lo general, se fabricó con el suelo que se encuentra en el predio de construcción (Monzón, 1996), se observa que el del valle de la ciudad es limoso, no arcilloso, como sería ideal para fabricar adobe; y con muy raras excepciones es estabilizado con cal o cemento y unido con mortero de resistencia mayor a la pieza de mampostería, lo anterior propicia un ambiente favorable para que ocurra un desastre. En el sector en estudio se pudieron detectar aproximadamente 983 lotes aún de construcciones de adobe, equivalentes al 25%. Esto es preocupante, ya que la mayoría de estas viviendas presentan ampliaciones y segundos niveles sobre muros de adobe (ver figura 35), motivo por el cual, constituyen un peligro latente para las personas que habitan las mismas. Una construcción de este tipo no ofrece ninguna característica de seguridad a la hora de haber un evento sísmico considerable.

En la figura 16, se puede observar a simple vista, una de las tantas viviendas que presenta deterioro del repello que en su momento tenía para resguardarla de la intemperie; esto evidencia el riesgo latente, situación que da como resultado un grado de vulnerabilidad grave. Se puede apreciar que la misma se construyó de forma empírica, ya que no se observan columnas de ningún tipo; sumado a esto, con la intención de mejorarla, se elaboró una solera de humedad de block, lo que la hace aún más vulnerable, ya que son materiales totalmente distintos.

Figura 16. Fotografías de viviendas de adobe.



Ubicación: 7 Av. 4-50 Zona 12. En archivo la referencia es 5_12_6_10.

2.4.1.2 Estructuras de madera

Edificaciones de madera y lámina se encuentran construidas en unos 135 lotes, equivalentes al 2.5% del total en el área evaluada. Las construcciones de madera y lámina son por lo general, de autoconstrucción, lo que las hace vulnerables a los sismos, y pueden estar expuestas a otros peligros, como incendios e inseguridad, al estar ubicadas junto a muros de adobe que podrían aplastarlas. Así también, son construcciones que carecen de los mínimos estándares de seguridad de las normas actuales de construcción en Guatemala.

En el sector de estudio se presentan varios de estos tipos de construcciones que aunque sean solo de un nivel, están construidas con lámina y madera, situación que las

hace más vulnerables al momento de existir un evento sísmico de alta magnitud. El territorio guatemalteco es, como lo hemos mencionado en capítulos anteriores, un área expuesta a sufrir sismos constantes por la geografía donde se encuentra situada.

En la figura 17 podemos apreciar una vivienda del sector de estudio que se encuentra construida de dos formas diferentes, el primer nivel de mampostería, pero todo el segundo nivel está construido de madera, en donde se puede apreciar que no cuenta con las características básicas de construcción, como lo son: columnas y soleras de humedad. Como podemos observar, la vulnerabilidad a la que está expuesta es bastante alta, ya que por lo regular las personas tienen sus dormitorios en el segundo nivel, lo que las pone en un riesgo latente al momento de presentarse un sismo en horas de la noche.

Figura 17. Fotografías de viviendas de madera.



Ubicación: 6Av. 3-27 Zona 12. Referencia en Estudio 5_12_3_2.

2.4.1.3 Estructuras de mampostería

Las construcciones de mampostería se encuentran en unos 2,527 lotes, lo que equivale al 67% del total del área evaluada. Por tratarse de un sistema tradicional y empírico, actualmente uno de los más empleados, se refuerza para poder proporcionar una cierta resistencia a compresión. En el sector estudiado se pudo notar que la mayor parte de estas construcciones están elaboradas fuera de las especificaciones de construcción estipuladas, por tratarse de construcciones puramente empíricas, razón que las convierte más vulnerables ante un evento sísmico.

En la figura 18 se puede observar que el diseño de refuerzo estructural, específicamente en columnas, es demasiado deficiente. Esta situación la hace vulnerable hasta cierto punto, ya que convierte toda la estructura en un sistema demasiado frágil y no le da la rigidez necesaria para poder soportar un evento sísmico. También podemos observar que el voladizo que se construyó, no cuenta con las vigas de soporte y prácticamente está sostenido únicamente por el acero de refuerzo de las losas.

Figura 18. Fotografías de estructuras de mampostería.



Ubicación: 6 Calle 6-33 Zona 12. Referencia en el Estudio 5_12_8_7.

2.4.1.4 Estructuras de concreto

En la mayoría de los trabajos de construcción, el concreto se refuerza con armaduras metálicas, sobre todo de acero; a éste se le llama concreto reforzado. El acero proporciona la resistencia necesaria cuando la estructura tiene que soportar fuerzas longitudinales elevadas. El acero que se introduce en el hormigón suele ser una malla de alambre o barras sin desbastar o trenzadas. El concreto y el acero forman un conjunto que transfiere las tensiones entre los dos elementos. En el sector en estudio, se pudo notar que estructuras de concreto son utilizadas más que todo para construir zapatas, columnas, soleras, vigas y losas; éstas a su vez, combinadas con mampostería, adobe o en muy pocos casos, con acero. Las estructuras de concreto son bastante resistentes,

siempre y cuando se elaboren con materiales adecuados y una relación apropiada entre ellos; esto las convierte en poco vulnerables a los sismos; pero como en la mayoría de los casos, se construyen en forma empírica, su vulnerabilidad a los sismos se vuelve muy alta.

En la figura 19 podemos observar una estructura de concreto reforzado, se tomó ésta como ejemplo, ya que no todas las construcciones del sector de estudio se encuentran en riesgo latente. Como se puede apreciar, este edificio se construyó bajo los requerimientos mínimos de este tipo de estructura en Guatemala. Por tratarse de una instalación para realizar actividades deportivas, en un 70 % la estructura está protegida de la intemperie por vidrio, para garantizar hasta cierto punto más ventilación adentro de las instalaciones; sin embargo, el vidrio es un material demasiado frágil que al momento de existir fuertes vientos puede llegar a quebrarse, en el caso de un sismo de considerable magnitud, el riesgo es aún mayor. Esta es la única situación de riesgo que se pudo observar en esta edificación, ya que estructuralmente hablando, está construida bajo buenos estándares de calidad.

Figura 19 Fotografías de estructuras de concreto.



Ubicación: Calz. Aguilar Batres y 15 Calle. Referencia en el Estudio 5_12_78_1.

2.4.1.5 Estructuras de acero

Las propiedades físicas del acero y su comportamiento a distintas temperaturas lo hace un material ideal según las condiciones de edificación que se requieran. Este tipo de construcción en el sector de estudio es escasa, pero existe en algunas fábricas donde se necesitaba bloquear la luz. Se pudo observar que en su mayoría, las estructuras de este tipo contaban con los requerimientos mínimos, tal como se muestra en la figura 20.

Figura 20 Fotografías de estructuras de acero.



Ubicación: Calz. Aguilar Batres 16-75 Zona 12. La Paleta. Referencia 5_12_90_7.

Como podemos apreciar en esta fotografía, este tipo de estructura antes de su construcción, definitivamente contaba ya con un diseño previo, donde seguramente se tomaron en cuenta diferentes factores para garantizar la seguridad al momento de existir un evento sísmico de considerable magnitud.

2.5 Líneas de servicios básicos

Cuando se trata de identificar y proteger la infraestructura y los servicios básicos, se debe ser cauteloso, ya que éstos son indispensables para el funcionamiento adecuado de una sociedad; por lo que es importante que se construyan de acuerdo a estándares de seguridad para la vida humana.

El sector de estudio cuenta con todos los servicios básicos, los cuales describiremos brevemente en los siguientes enunciados. Con estos incisos, se pretende dar una descripción general de las características de los servicios básicos, así como el estado en el cual se pudieron observar al momento de realizar las evaluaciones. Desde ya es importante mencionar que para poder llegar a determinar el grado de vulnerabilidad al que están expuestos los servicios básicos, se debe realizar un estudio específico por cada uno de ellos.

2.5.1 Redes de distribución de electricidad

El sector estudiado cuenta con servicio de alumbrado público y energía eléctrica, distribuido por la Empresa Eléctrica de Guatemala, la cual presta el servicio de electricidad con variedad de voltaje para poder satisfacer las diferentes necesidades del sector.

2.5.1.1 Fuente de abastecimiento

La energía que llega al sector proviene de la estación ubicada en Palín, Escuintla; planta que genera aproximadamente el 15% de energía que se distribuye en todo el país, a ésta se suman varias plantas que distribuyen energía térmica, como la de Barcazas ubicada en el puerto Quetzal, conocida como San José Power-Puerto Quetzal que trabaja a base de carbón o Diesel; las hidroeléctricas de Chixoy y Aguacapa que representan el 36% de distribución en el país y el 4% para la geotérmica ubicada en Zunil, en las faldas del Volcán Santa María, Quetzaltenango.

2.5.1.2 Componentes del sistema

El sistema de abastecimiento de energía eléctrica esta compuesto por la fuente generadora, que en este caso se trata de la Hidroeléctrica ubicada en Palín, Escuintla.

2.5.1.2.1 Subestaciones

Las sub-estaciones encargadas de transformar la energía a un menor voltaje se encuentran ubicadas en varios puntos estratégicos. Éstas transforman el voltaje de 69kv a 13.8kv, al mismo tiempo, cuentan con su respectivo regulador de voltaje para mantener el mismo en un valor determinado. En el sector de estudio, en la mayoría de viviendas se pudo notar entradas domiciliarias de 110v. A continuación se mencionan las sub-estaciones que alimentan al sector: Sub-estación El Guarda ubicada en la 2ª Av. y 6ª calle de la zona 11, sub-estación de La Aurora, ubicada en la Calzada Atanasio Tzul y 22 calle y la sub-estación Papistrachan, ubicada en la Diagonal 17 y 29 calle, zona 11.

2.5.1.2.2 Circuitos

Todos los circuitos del sector cuentan con lo estipulado como mínimo para cable de alta tensión en cuestión de material y calibre, la mayoría del sector cuenta con postes en buen estado con sus respectivos cruceros y transformadores. Esto no significa que el tendido eléctrico no pueda tener algún problema ante un sismo, ya que en función de la magnitud del mismo, los daños podrían ser leves o severos. Por tal motivo, se recomienda que toda la infraestructura del tendido eléctrico sea inspeccionada para poder eliminar en la medida de lo posible que los daños sean severos. Esto es de suma importancia, tomando en cuenta que este servicio en época de crisis no se puede suspender por demasiado tiempo, ya que de ello dependen muchos factores externos como por ejemplo, garantizar la iluminación nocturna para evitar siniestros de robo, refrigerar alimentos, no paralizar los medios de comunicación, etcétera.

2.5.2 Redes de distribución de agua potable

La empresa responsable de prestar este servicio en el sector en mención y además en la mayoría de la ciudad de Guatemala, es la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala “EMPAGUA”. El crecimiento poblacional que se ha ido suscitando, ha hecho que dicho servicio sea deficiente y racionado, y como consecuencia, que los vecinos del sector tengan limitado el servicio. Los materiales con los que está construida la red de distribución de agua potable de dicho sector, son todavía en algunos casos de HG (Hierro Galvanizado), y en su mayoría de PVC (cloruro de polivinilo). El diámetro de las diferentes tuberías va desde 12”, como la tubería madre hasta ½” en conexiones domiciliarias. Cuenta también con llaves de paso que están colocadas aproximadamente 100 metros lineales a la redonda. El sector de estudio se originó a partir del año 1940, situación que alarma, ya que la mayor parte de tubería de conducción debe haber cumplido su tiempo de vida útil, por ende, es más susceptible a colapsar al momento de algún movimiento telúrico. Es importante tomar conciencia de la necesidad de implementar un plan de inspección de la tubería, ya que de hacer falta el vital líquido, se empiezan a correr otros riesgos como insalubridad por falta de agua.

2.5.2.1 Fuentes de abastecimiento

La fuente de abastecimiento que alimenta al sector está ubicada en San Miguel Petapa, municipio de la ciudad de Guatemala; la estación Ojo de Agua, bombea agua de manantial hacia la ciudad por la tubería madre que viene por la Calzada Raúl Aguilar Batres y luego cruza por la 24 calle de la zona 12, sector de la colonia Reformita, hasta llegar a la 4ta. Avenida, siguiendo a la 13 calle para volver a cruzar hasta llegar a la 5ta. avenida; luego sigue hasta la 4ta. Calle y 5ta. Avenida de la zona 12. El hecho que el agua llegue al sector de estudio por medio de un sistema de bombeo, agrega un grado de vulnerabilidad adicional; tomando en cuenta que debe garantizarse la alimentación de electricidad para que funcione. Por otro lado, es de suma importancia que al tanque de

distribución se le realice inspecciones periódicas para evitar su colapso ante un evento sísmico.

2.5.3 Redes de alcantarillado sanitario y pluvial

Dentro de este capítulo también se pretende describir de una manera general la red de alcantarillado sanitario y pluvial que funciona dentro del sector, para lo cual es necesario conocer lo siguiente:

2.5.3.1 Componentes del sistema

El sistema de alcantarillado que funciona para el sector en estudio es del tipo combinado, es decir agua pluvial y sanitaria evacuada en una misma tubería, los componentes que lo conforman son:

- Colector
- Conexiones domiciliarias
- Pozos de visita
- Tragantes

Es importante mencionar que la mayoría de candelas domiciliarias están construidas con tuberías de asbesto-cemento, situación que podría ocasionar al momento de un evento sísmico que ésta sufran grietas o desprendimientos que se pueden traducir a futuro, en posibles socavamientos o hundimientos por la filtración de las aguas residuales. Por lo tanto, es importante tomar en consideración que cada vez que el sector de estudio sufra un sismo, se debe coordinar una inspección general a los diferentes componentes del sistema.

2.5.4 Telecomunicaciones

El total del sector estudiado cuenta con los servicios básicos de telecomunicaciones. En la Calzada Raúl Aguilar Batres 20-01 zona 12, se encuentran las oficinas de servicio al cliente de TELGUA (Telecomunicaciones de Guatemala), y la planta que distribuye el servicio a todo el sector se encuentra ubicada en El Trébol, a un costado de la Avenida Bolívar, atrás de la estación de policía. Al mismo tiempo, varias empresas prestan el servicio de televisión por cable, y se recibe con buena señal, la totalidad de emisoras radiofónicas. Adicionalmente, el sector ya cuenta con la presencia de torres de telefonía privada de las siguientes empresas: Telefónica, Claro y Tigo; es importante prestar atención a la ubicación de dichas torres, ya que por ser infraestructura de gran altura, corre mucho más riesgo de caída al momento de un sismo, por lo que se debe poner en alerta a las personas que habitan en las cercanías de las mismas.

2.5.5 Vías de acceso

Por ser un sector que se encuentra en el área central de la ciudad, cuenta con varias vías de acceso importantes como El Periférico que está a la altura de la 29 calle, toda la Calzada Raúl Aguilar Batres, desde la 29 calle de la zona 12 hasta El Trébol, al igual que la Avenida Petapa, desde El Trébol hasta la 24 calle de la zona 12. Es importante tener bien ubicadas las vías de acceso principales, debido a que son vitales en caso de tener que evacuar a una cantidad considerable de personas hacia los centros asistenciales que se mencionan en la sección 2.6.1. Por ejemplo, la vía más rápida que conduce al Hospital Roosevelt es el paso a desnivel que está ubicado en la 12 calle; pero es importante tomar en cuenta que aunque sea la vía más rápida de acceso directo, puede presentar obstrucciones luego de soportar un evento sísmico.

2.6. Posibles centros de albergue

Cuando sucede un evento sísmico de considerable magnitud, toda la población se ve afectada debido a que muchas veces las viviendas quedan dañadas y por ende, no pueden seguir siendo utilizadas. En estos casos, lo más común es que se utilicen espacios y edificios públicos para albergar a los afectados, hasta que puedan retornar a sus viviendas en condiciones de mayor seguridad. Estos lugares puede ser polideportivos, centros culturales, casas comunales, iglesias y escuelas.

Los establecimientos utilizados como albergues tiene como finalidad asegurar en forma temporal un nivel de vida adecuado a la población afectada a través del establecimiento de sistemas de abasto de alimentos, agua, vestuario, vivienda y servicios médicos.

Los posibles centros de albergue que se mencionarán en este capítulo, no fueron diseñados para utilizarlos como albergues y por ende, no están acondicionados para poder alojar una cantidad significativa de personas; además, en muchas ocasiones, no están ubicados en territorio seguro o su infraestructura no es del todo confiable; sin embargo, fueron tomados en cuenta, en base a que eran los pocos que cumplen con los requisitos mínimos para funcionar como tales y es importante definir claramente las opciones para casos de emergencia, crisis o desastres.

2.6.1 Hospitales

La mayoría de centros de emergencias que se encuentran en el sector cuentan con las instalaciones básicas para poder atender emergencias; pero realmente éstas son insuficientes para atender catástrofes de índole masiva. Los servicios de emergencia que existen en las cercanías del sector, son hospitales públicos y privados, dentro de los que podemos mencionar, el Hospital Roosevelt en la zona 11, el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social de Maternidad, en la 14 Av. y 4ta. Calle de la zona 12, y también se

encuentra la Unidad Periférica del IGSS ubicada en la 5ª. Av. 10-86 zona 11. Además, está la estación de servicio de socorro de los Bomberos Municipales, ubicada en la 12 av. de la zona 12, sobre el Boulevard Liberación.

En cuanto a servicios de emergencias, no se encuentra dentro del sector un hospital público, los únicos que están en las cercanías, son los antes mencionados. Existen hospitales privados, como el Hospital Cristiano de Guatemala ubicado en la 21 calle 1-22 Zona 12, y el Sanatorio Sinaí ubicado en la 2 av. 22-01 Zona 12, es importante mencionar que en el Hospital Cristiano de Guatemala se logró detectar que la construcción fue diseñada para uso residencial y en esas instalaciones se improvisó el hospital, por tal motivo en evaluación realizada se sugiere una evaluación detallada. La referencia de la evaluación realizada en la base de datos es la 5_12_19_164. Tomar en cuenta que por ser Hospitales privados al momento de trasladar heridos los servicios en definitiva tendrán un costo. En el caso del Sanatorio Sinaí se detectó que la construcción desde el inicio fue diseñada para utilizarla como Hospital pero se sugiere de igual forma una evaluación más detallada.

En el caso de los Hospitales Públicos tales como el Roosevelt, por tratarse de un edificio antiguo, sus instalaciones pueden ser vulnerables y están expuestas a cualquier tipo de amenaza. El análisis de dicha vulnerabilidad abarca todos los aspectos administrativos y físicos del sistema, así como la capacidad de respuesta al prestar el servicio en cuanto a los preparativos para atender cualquier emergencia.

Para que los hospitales ofrezcan un ambiente seguro, es necesario evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones existentes; pero debido a lo complejo de su funcionamiento, se debe realizar un análisis exclusivo para cada centro asistencial.

2.6.1.1. Características

Los hospitales pueden tener en cualquier momento una alta población de pacientes residentes, pacientes ambulatorios, funcionarios, empleados y visitantes. En caso de desastre, un hospital debe continuar con el tratamiento de los pacientes alojados en sus instalaciones, además de atender a las personas lesionadas por el evento.

El Hospital Roosevelt cuenta con instalaciones construidas por profesionales en el año de 1952 y en su diseño fue considerada la fuerza sísmica, éste se puso a prueba por primera vez durante el terremoto de 1976.

Entre las características más importantes del Hospital Roosevelt, se pueden mencionar: cuenta con un área de terreno de 229,329.57m², una superficie construida de 34,548.29m² y una gran cantidad de área libre de 194,781.28m², donde se pueden improvisar carpas para atender a más heridos. La capacidad para atender pacientes es de 800 camas en las diferentes áreas.

Además cuenta con 18 camas en área de reserva y se han considerado áreas para utilizar en caso de emergencia, como el lobby de pediatría y la maternidad. Asimismo, existe el Comité contra Desastres del Hospital Roosevelt que recibe una capacitación anual y que contemplan tres planes de desastres: (Coordinación de Emergencia Adultos, Hospital Roosevelt) Plan “A” < 50 pacientes, se toma en consideración cuando la cantidad de pacientes no es muy elevada, Plan “B” > 50 pacientes y Plan “C” > 100 pacientes.

2.6.1.2 Seguridad mínima requerida.

Un ordenamiento sistemático y una fácil movilización del personal, equipos y suministros dentro de un ambiente seguro, es el requisito mínimo y fundamental para ofrecer una respuesta rápida y efectiva al desastre.

Los hospitales requieren consideraciones especiales en relación con la mitigación de riesgos debido a la función que desempeñan en el medio en donde se encuentran, a sus características de ocupación y a su papel durante situaciones de desastre. (OPS, 2006)

2.6.1.3. Servicios básicos.

Un hospital está compuesto entre otros por: servicios clínicos, servicios de apoyo al diagnóstico y servicios generales, los cuales tienen funciones determinadas y propias, pero a su vez interrelacionadas para el buen funcionamiento del hospital.

La relación entre dichas áreas o sectores (Administración, Servicios Intermedios o Ambulatorios, Servicios Generales, Consulta Externa, Urgencias y Hospitalización) puede resultar crítica si en el diseño no se consideró su funcionamiento y distribución en el caso de atención masiva de pacientes. (OPS, 2006.)

2.6.2 Edificios públicos

En cuanto a edificios públicos, existen dentro del sector centros educativos que pueden ser utilizados en caso de emergencia. Las instalaciones de algunos de éstos están en buenas condiciones haciéndolos menos vulnerables ante un evento sísmico; pero otros no cuentan con construcciones adecuadas para utilizarlos como centro de albergue. El análisis de vulnerabilidad comprendido básicamente por las

amenazas a las que están expuestos los edificios, abarca todos los aspectos administrativos y físicos de los mismos.

Son edificaciones que juegan un papel muy importante a la hora de un fenómeno sísmico, ya que serían las que durante algún tiempo servirían para darle techo a las personas que eventualmente, pierdan sus viviendas; es por ello, que es de suma importancia verificar que sus servicios básicos (agua, luz, teléfono) se encuentren en buenas condiciones, ya que estas son las características principales que hacen que las instalaciones sean tomadas en cuenta como albergues, luego de un fenómeno sísmico.

En la construcción de este tipo de edificios, se deben incorporar medidas para garantizar la seguridad de sus ocupantes, tales como utilizar materiales de calidad, y la contratación de los servicios de un Ingeniero Civil que seleccione una técnica adecuada de construcción. Todas estas medidas permitirán reducir la vulnerabilidad de las edificaciones.

De los centros educativos que se encontraron en el sector, podemos mencionar los siguientes: a la altura del IGSS de Maternidad, está la Escuela Tipo Federación y la Escuela la Casita de Mi Abuela. En ellas se cuentan con instalaciones para poder atender cierta cantidad de personas; pero tomando en cuenta que el sector en estudio tiene alrededor de 25,000 habitantes, éstas son realmente pequeñas para poder albergar un grupo considerable de personas. Al momento de un desastre mayor, que requiera mucho espacio para alojamiento, uno de los edificios educativos más grandes que está ubicado a pocos metros del sector, es la Universidad de San Carlos de Guatemala, ya que cuenta con instalaciones amplias y muchas áreas verdes donde se pueden instalar carpas para albergar a una gran cantidad de personas.

2.6.2.1. Características.

Escuela Tipo Federación

La Escuela tipo federación está ubicada en la 4ta. Calle y 8ª. Avenida de la zona 12 y posee las características siguientes: El total del área del terreno es de 4,264.52m², cuenta con una superficie construida de 1,034.86m² y además tiene un área libre de 3,229.66m², en donde se pueden instalar carpas para albergar más personas. El acceso principal se encuentra ubicado por El Trébol. En función al tamaño de la escuela, se estima que tiene capacidad para atender aproximadamente a 250 personas. En la figura 21 se puede apreciar su respectiva fotografía.

Figura 21. Escuela Tipo Federación.



Ubicación: 4 Calle y 8av. 12.

Tomando en cuenta lo mencionado en el inciso 2.6, donde se indica que los albergues sugeridos al momento de ser diseñados y construidos no se realizaron pensando en que funcionarían como albergues, es importante mencionar que se eligió esta escuela debido a que sus características son apropiadas para utilizarla como centro de albergue, ya que cuenta con los servicios básicos indispensables. Pero es importante se tome en cuenta realizar una evaluación a esta edificación por aparte para determinar sus posibles desventajas al momento de utilizarla como albergue temporal.

Escuela La Casita de la Abuela.

Esta Escuela esta ubicada en la 14 Calle y 8ª. Avenida de la zona 12 y posee las características siguientes: Cuenta con un área de terreno de 2,572.12m², una superficie construida de 987.86m² y un área libre de 1,584.26m². Su principal acceso está ubicado en la 8ª. Avenida Colonia Reformita, zona 12. Esta escuela tiene capacidad para atender a 150 personas aproximadamente.

En la tabla IX se puede apreciar los resultados producto de la evaluación del Método Visual Rápido y en la figura 22 su respectiva fotografía.

Tabla IX. Escuela La Casita de mi Abuela

| RESULTADO DE EVALUACIÓN | |
|--------------------------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN | VALOR |
| Calificación final | 1.5 |
| Vulnerabilidad | Mínima |
| de muertes esperadas | 1 |
| de heridos esperados | 8 |
| Daños materiales | Q 105,788.40 |

Figura 22. Escuela la Casita de la Abuela



Ubicación: 14 Calle y 8^a. Avenida zona 12.

Uno de los inconvenientes respecto a este centro de albergue es que al momento de instalar a las personas, quien esté a cargo de dicha labor, debe planificar una adecuada distribución de las mismas en los diferentes salones, para garantizar en la medida de lo posible, su comodidad. Por otro lado podemos observar en la tabla IX que el resultado de la evaluación realizada a esta construcción se esperan aproximadamente un total de daños materiales de mas o menos Q 100,000.00, y por otro lado una posible muerte así como 8 posibles heridos, es importante mencionar que estos resultados se obtuvieron de realizar dicha evaluación en horario de clases, que al contrario de eso definitivamente no se tendrían posibles muertes o heridos ya que por la noche la escuela se encuentra totalmente vacía. Por ello es importante que las autoridades educativas puedan realizar simulacros de evacuación en horarios de clases para minimizar los resultados obtenidos.

Como se mencionó anteriormente, otro importante lugar que se puede tomar en cuenta como centro de albergue, considerando la gran extensión en metros cuadrados libres para poder montar carpas, es la Universidad de San Carlos de Guatemala, ya que tiene un área aproximada de terreno de 850,000m². Sus principales accesos están ubicados a final de El Periférico sur y por la Avenida Petapa. Se estima que tiene

capacidad para alojar a unas 3,500 personas, en áreas abiertas como la cancha de football y los campos de cultivo de agronomía.

En la fotografía 23 podemos apreciar la gran cantidad de espacio libre con que cuenta la Universidad.

Figura 23. Universidad de San Carlos de Guatemala.



En estas instalaciones, el inconveniente que se puede presentar es la proliferación de la delincuencia, ya que durante la noche hay algunas áreas que no tienen adecuado alumbrado público, por lo que sería conveniente considerar personal de vigilancia adicional para evitar el riesgo de robo y adicional que las instalaciones sean dañadas.

2.6.2.2. Seguridad mínima requerida.

En un edificio que funcione como albergue, la concentración de la población representa un riesgo de transmisión de enfermedades luego del desastre. Para evitar esto, se debe prestar especial atención a elementos importantes, como los relacionados con el agua potable: cisternas, lavaderos, tubería, etcétera, ya que la mayoría de enfermedades post-desastre, tienen su origen en la contaminación de tan vital líquido. Es por eso, que en la sección 2.5.2 se menciona la importancia de realizar una inspección a la fuente de abastecimiento de agua para evitar que al momento de un sismo, el sistema colapse.

2.6.2.3. Servicios básicos

Para que un edificio funcione como albergue, debe asegurar a la población afectada un nivel de vida adecuado, a través del establecimiento de sistemas de abastos de alimentos, agua, vestuario, vivienda y servicio médico.

Los establecimientos propuestos, cuentan con servicio de agua, teléfono y energía eléctrica. El sistema de abastos de alimentos y vestuario, queda en este momento en un segundo plano, pero debe ser puesto en acción al ocurrir un desastre.

2.6.3 Iglesias

Las Iglesias son edificaciones muy grandes que pueden prestar servicio de albergue a la hora de un fenómeno sísmico. En el sector, existen alrededor de 10 iglesias lo suficientemente grandes como para poder alojar en promedio unas 500 personas por iglesia; pero algunas de ellas carecen de las condiciones mínimas de seguridad, ya que han sido construidas de forma improvisada, por tal motivo, para el

presente estudio se tomaron en cuenta únicamente dos, las cuales se mencionan a continuación:

1. Iglesia Cristiana El Calvario, ubicada en la Colonia Reformita en la 8ª. Av. 22-18 de la zona 12.
2. Iglesia Inmaculado Corazón de María, ubicada en la Colonia Reformita en la 7ª. Av. 27-03 de la zona 12.

Durante el estudio realizado en el sector, la identificación y ubicación de iglesias fue muy importante, para ser consideradas dentro de un plan de emergencia, como establecimientos de albergue. La mayoría de estas estructuras son grandes y cuentan con los servicios necesarios para abastecer a una población de tamaño relativo.

2.5.3.1. Características

Por sus dimensiones, las siguientes estructuras son consideradas como sitios apropiados para albergar a los damnificados de cualquier tipo de catástrofe:

Iglesia Cristina El Calvario

Esta iglesia está ubicada en la Colonia Reformita, 8ª. Av. 22-18, zona 12 de la ciudad de Guatemala. Tiene una superficie construida de 537.10m² y un terreno de 2,468.54m². Cuenta con todos los servicios básicos: agua, luz, teléfono y cable. El tipo de estructura es de mampostería media y cuenta con un área libre de 1,931m². Su acceso principal está ubicado en la 8ª. Avenida de la zona 12. Se estima que puede albergar a unas 100 personas.

En la tabla X se pueden apreciar los resultados, producto de la evaluación del Método Visual Rápido y en la figura 24 su respectiva fotografía.

Tabla X. Iglesia Cristina el Calvario: 8Av. 22-18 Zona 12

| RESULTADO DE EVALUACIÓN | |
|-------------------------|-------------|
| DESCRIPCIÓN | VALOR |
| Calificación final | 2.5 |
| Vulnerabilidad | Mínima |
| de muertes esperadas | 0 |
| de heridos esperados | 1 |
| Daños materiales | Q 50,000.00 |

Figura 24. Iglesia Cristiana el Calvario



Ubicación: 8Av. 22-18 Zona 12.

Es importante mencionar lo que podemos observar en la tabla X ya que el resultado de la evaluación realizada a esta construcción se esperan aproximadamente un total de daños materiales de mas o menos Q 50,000.00, y por otro se espera una posible muerte así como una posible persona herida, es importante mencionar que estos resultados se obtuvieron de realizar dicha evaluación en el horario donde la Iglesia no

tiene aglomeración de personas, ya que al contrario de eso definitivamente se tendrían mas heridos ya que en horarios de misas las instalaciones se encuentran llenas. Por ello es importante que los encargados puedan realizar simulacros de evacuación en horarios de misas para minimizar al máximo que la cantidad de heridos aumente o que en el peor de los casos se tengan posibles muertes.

Iglesia Inmaculado Corazón de Maria

Está ubicada en la Colonia Reformita, 7^a. Av. 27-03, zona 12 de la ciudad de Guatemala. Tiene una superficie construida de 1,429.7m² y un terreno de 6,668.20m². Cuenta con todos los servicios básicos de agua, luz, teléfono y cable. El tipo de estructura es de mampostería media y tiene un área libre de 5,238.50m². Su principal acceso está ubicado en el Anillo Periférico, entrada a la USAC. Se estima que tiene capacidad para albergar a unas 300 personas.

En la tabla XI se pueden apreciar los resultados, producto de la evaluación del Método Visual Rápido y en la figura 25 su respectiva fotografía.

Tabla XI Iglesia Inmaculada Corazón de María. 7^a. Av. 27-03 zona 12

| RESULTADO DE EVALUACIÓN | |
|--------------------------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN | VALOR |
| Calificación final | 2.0 |
| Vulnerabilidad | Mínima |
| de muertes esperadas | 0 |
| de heridos esperados | 0 |
| Daños materiales | Q 10,000.00 |

Figura 25. Iglesia Inmaculado Corazón de María.



Ubicación: 7^a. Av. 27-03 zona 12.

Es importante mencionar lo que podemos observar en la tabla XI que el resultado de la evaluación realizada a esta construcción se esperan aproximadamente un total de daños materiales de mas o menos Q 10,000.00, y por otro lado se espera que no exista ninguna muerte así como ninguna posible persona herida, es importante mencionar que estos resultados se obtuvieron de realizar dicha evaluación en el horario donde la Iglesia no tiene aglomeración de personas, ya que al contrario de eso definitivamente se tendrían mas heridos ya que en horarios de misas las instalaciones se encuentran llenas. Por ello es importante que los encargados puedan realizar simulacros de evacuación en horarios de misas para minimizar al máximo que la cantidad de heridos aumente o que en el peor de los casos se tengan posibles muertes. Y se recomienda realizar una inspección mas detallada a las instalaciones para estar preparados ante cualquier eventualidad.

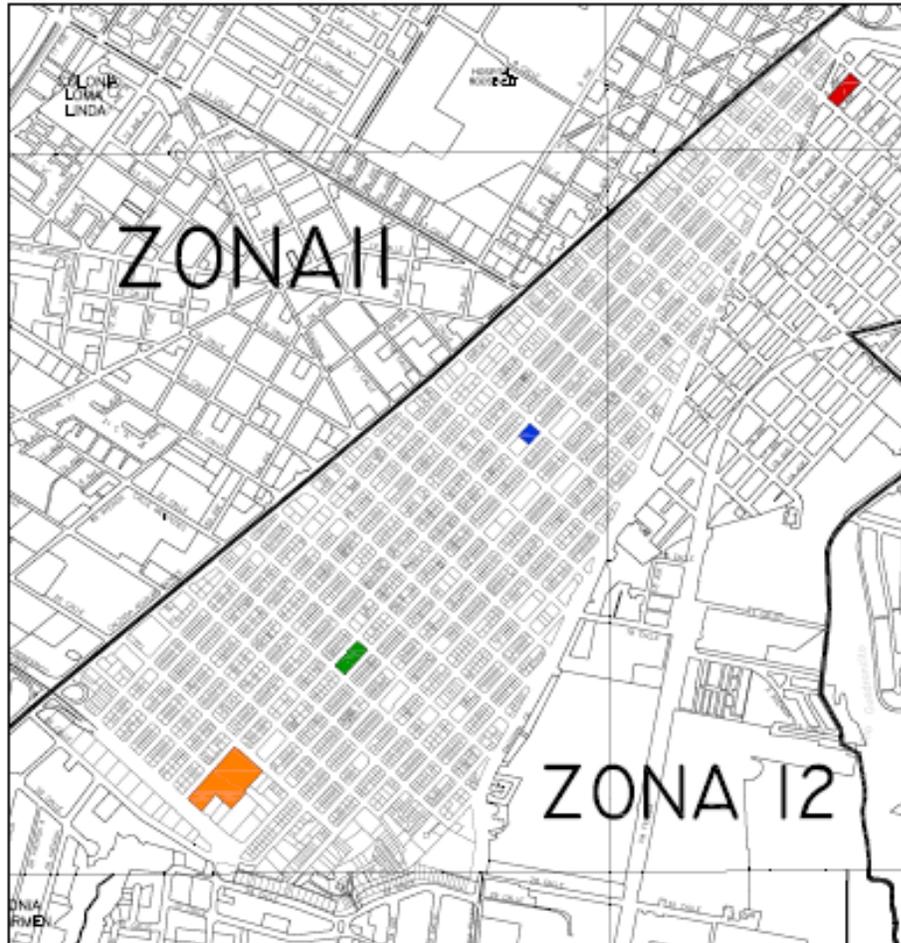
Las iglesias ubicadas como posibles centros de albergue tienen capacidad para albergar un total de 400 personas, cantidad que es significativa en el sector de estudio, ya que podrían utilizarse para alojar a personas que quedarían sin techo o con daños severos en sus edificaciones, luego de un fenómeno sísmico. En estas dos propuestas de centros de albergue, las únicas limitaciones que se podrían tener, serían las de los servicios básicos, si éstos fallaran por un sismo y el suministro se paraliza.

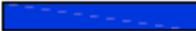
2.6.4. Mapeo Centros de albergue sugeridos en el sector

En esta sección se mencionan los principales centros de albergue con sus respectivas capacidades y la ubicación de cada uno de ellos. Al momento de acontecer un evento desastroso, estas áreas cuentan con un área amplia para poder albergar una cantidad considerable de personas. En la sección 3.1.1. se realiza un análisis de la capacidad de cada uno de ellos y se evidencia que en función de la cantidad de personas en riesgo, estos albergues serían suficientes. En la figura 26 se presenta de forma gráfica la ubicación de cada uno de ellos.

Figura 26. Figura Mapeo centros de albergue.

MAPA DE UBICACION DE POSIBLES CENTROS DE ALBERGUE



- | | |
|---|---|
|  | ESCUELA "LA CASITA DE LA ABUELA" 15A. CALLE Y 8A. AVENIDA Z.12 |
|  | ESCUELA TIPO FEDERACION 4A, CALLE Y 8A, AVENIDA ZONA 12 |
|  | IGLESIA CRISTIANA EL CALVARIO 8A, AVENIDA Y 22 CALLE ZONA 12 |
|  | IGLESIA INMACULADO CORAZON, 7A.AVENIDA Y 27 CALLE ZONA 12 |

3. ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad es expresada como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos por factores inherentes a una edificación, debido a la ocurrencia de un sismo, básicamente puede estimarse por dos parámetros:

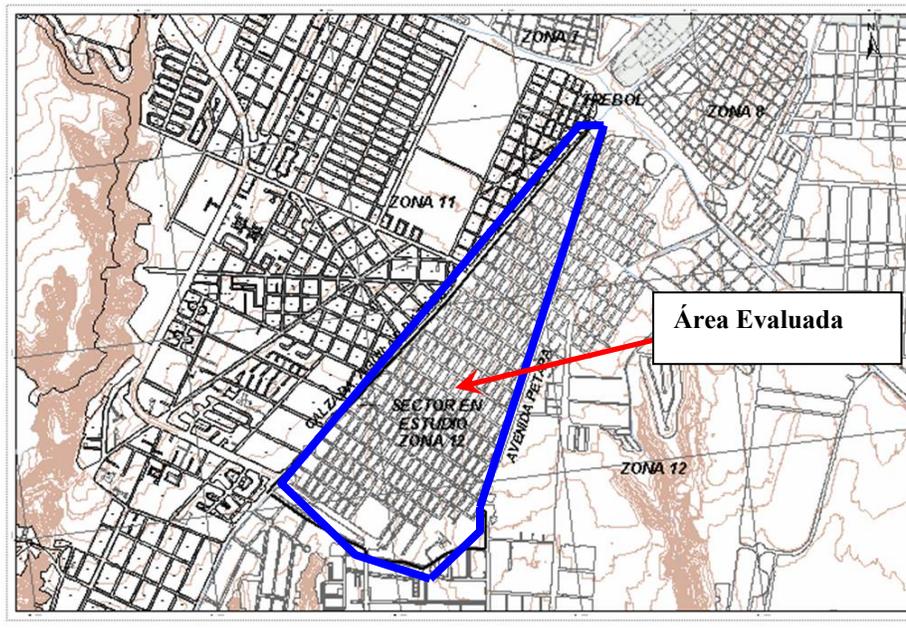
- a) La vulnerabilidad estructural, consistente en el grado de pérdidas físicas y sociales provocadas por el daño al que es susceptible el sistema estructural que mantiene en pie al edificio, es decir, los cimientos, columnas, vigas, muros, losas, etcétera (OPS, 1993)
- b) La vulnerabilidad no estructural, consistente en el grado de pérdidas físicas y sociales provocadas por el daño de componentes arquitectónicos, instalaciones, equipos y materiales que pertenezcan o se encuentren dentro del edificio (OPS, 1993).

Este estudio se enfoca principalmente en estimar el grado potencial de pérdidas físicas, manifestadas en elementos materiales o pérdidas económicas y pérdidas sociales, expresadas en seres humanos afectados debido a la vulnerabilidad de los factores inherentes a las edificaciones del sector estudiado. La metodología y las bases para su cálculo se presentan en lo propuesto por Arrecis 2002.

3.1 Datos obtenidos

En este capítulo, se presentan los datos obtenidos en la utilización del método Visual Rápido ATC-21 reflejándolos en los siguientes incisos. En la figura 27 podemos observar nuevamente el sector de estudio.

Figura 27 Mapa en donde se localiza el área evaluada.



Fuente: Digitalización Municipalidad de Guatemala, Departamento de Catastro, 2006.

En función de los resultados podemos darnos cuenta que el sector objeto de estudio consta de un área de $1,507,777.00\text{m}^2$, en la cual se inspeccionaron todas las viviendas, para un total de 3,849 evaluaciones. De los resultados obtenidos, vale la pena destacar que la mayoría de estructuras, representada por un 65% de domicilios, están construidas de mampostería media (esto corresponde a un total de 2,527 viviendas). En los siguientes gráficos se presentan el resto de deducciones.

En la tabla XII se resaltan los resultados generales del área evaluada.

Tabla XII Resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas.

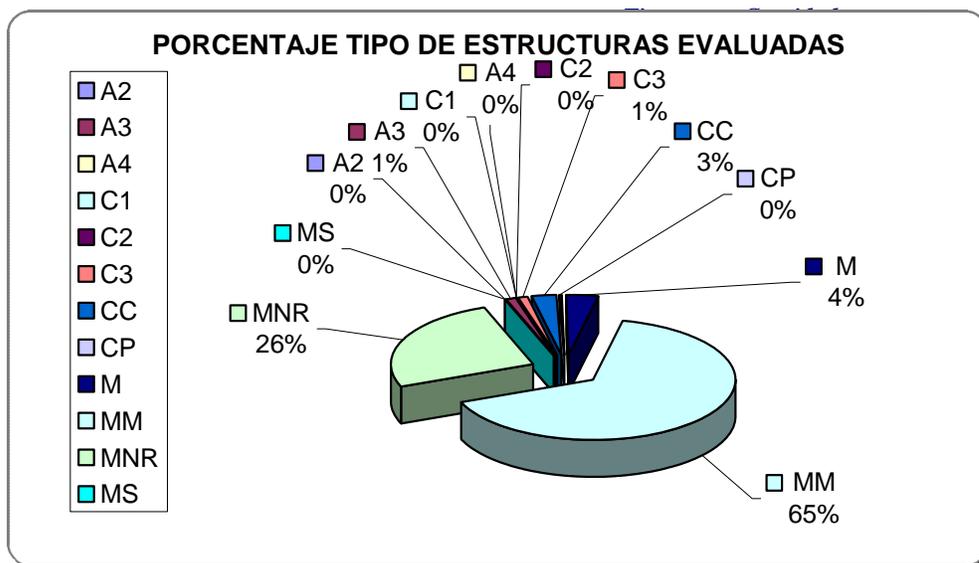
| <i>CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ESTUDIO</i> | | |
|--|-----------------------------|-------------------|
| Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural en un Sector de la zona 12. | | |
| <i>Descripción</i> | <i>Unidades</i> | <i>Cantidades</i> |
| Área evaluada | m ² | 1,507,777.00 |
| Número de habitantes | Personas | 60,265.00 |
| Número de estructuras | Unidades | 3,849.00 |
| Área de construcción | m ² | 717,774.71 |
| Área construida | m ² | 1,131,813.74 |
| Área libre | m ² | 790,002.29 |
| Índice de ocupación | % | 25.02 |
| Índice de construcción | % | 43.80 |
| Área por habitante | m ² / persona | 25.02 |
| Área de construcción por habitante | m ² / persona | 11.91 |
| Área construida por habitante | m ² / persona | 18.78 |
| Área promedio por estructura | m ² / estructura | 186.87 |

En la tabla XIII se muestra la cuantificación de los diferentes tipos de estructuras y en la figura 28 los porcentajes de los diferentes tipos de estructuras evaluadas.

Tabla XIII. Cuantificación distintos tipos de estructuras en el área evaluada.

| Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural en un Sector de la zona 12. | | |
|--|---|-----------------|
| TIPO DE ESTRUCTURAS | | |
| <i>Tipo</i> | <i>Descripción</i> | <i>Cantidad</i> |
| ESTRUCTURAS DE ACERO | | |
| A2 | Marcos de acero con breizas | 1 |
| A3 | Estructuras de acero livianas | 42 |
| A4 | Marcos de acero con muros de corte de concreto | 1 |
| ESTRUCTURAS DE CONCRETO | | |
| C1 | Marcos de concreto resistentes al momento | 1 |
| C2 | Muros de corte de concreto | 2 |
| C3 | Marcos de concreto con muros de relleno de mampostería no reforzada | 36 |
| ESTRUCTURAS COMPUESTAS | | |
| CC | Construcción compuesta | 112 |
| CP | Estructura de concreto prefabricado | 7 |
| ESTRUCTURAS DE MADERA | | |
| M | Madera | 135 |
| ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA | | |
| MM | Mampostería media | 2,527 |
| MNR | Mampostería no reforzada | 983 |
| MS | Mampostería reforzada superior | 2 |
| TOTAL DE EVALUACIONES REALIZADAS | | 3,849 |

Figura 28. Gráfica porcentajes de viviendas en el sector de Estudio.



Las construcciones de adobe son las más peligrosas y constituyen alrededor del 26% de las estructuras evaluadas, para un total de 983 viviendas.

Al tratarse de una zona popular, no se caracteriza por contar con construcciones de acero reforzado o de concreto reforzado, ya que la mayoría son viviendas unifamiliares.

Pese a lo anterior, los usos de las estructuras son también de diversa índole como lo muestra la tabla XIV y la figura 29; aunque la mayor parte de las construcciones son de uso residencial, hay un alto porcentaje destinado al comercio. Es importante considerar este detalle, ya que, dependiendo de la función que se le asigne al inmueble, albergará mayor número de habitantes en diferentes horarios; puesto que, en raras ocasiones se utilizan como comercio y vivienda al mismo tiempo; sin embargo, considerando que los domicilios utilizados para vivienda son más del doble en relación al comercio, definitivamente, el riesgo sería mayor durante la noche; por lo que es de suma importancia verificar la vulnerabilidad de las viviendas.

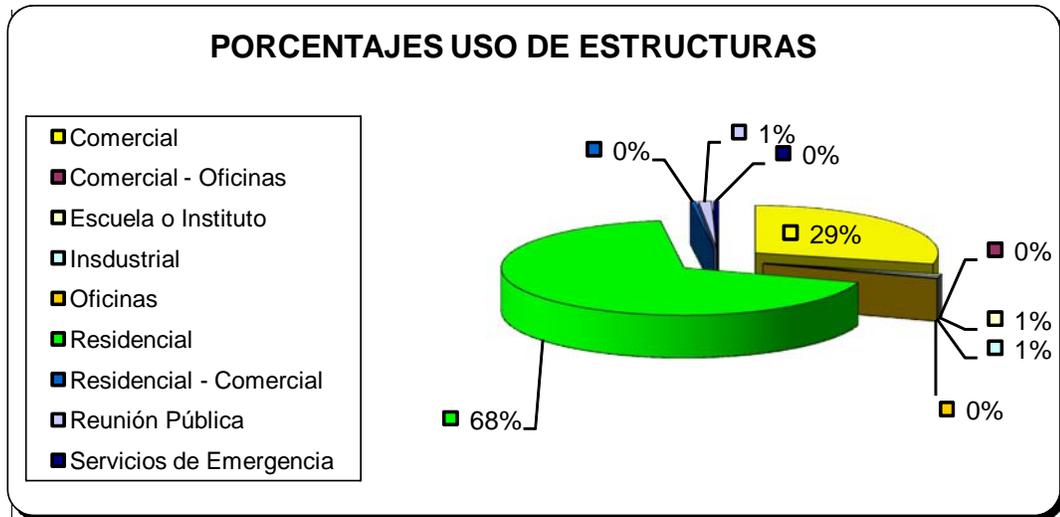
Es importante recalcar que se encontraron 44 edificaciones de reunión pública en el sector de estudio, que representa un 1 % del total de evaluaciones realizadas, en este rango podemos encontrar algunos centros de albergue sugeridos en el sector así como también el mercado municipal que está ubicado en la 8 av. y 21 Calle de la Zona 12. Se menciona debido a que en estas instalaciones por la cantidad de personas que llegan a realizar sus compras en el día se podrían correr riesgos adicionales por la aglomeración de personas ya que si se sufre algún movimiento telúrico se podrían tener un número significativo de heridos o de posibles muertos, por tal motivo es importante para estas instalaciones realizar una evaluación más detallada y que la municipalidad elabore algún plan de evacuación en horas pico. En la tabla XIV también se puede apreciar que en el sector de estudio se identificaron 21 establecimientos educativos que representa un 0.5%; sin embargo, esto no significa que todas estas instalaciones puedan ser utilizadas como albergues. Por tal motivo, en el capítulo 2.6.2. se mencionan únicamente dos ya

que son las que cuentan con las condiciones mas apropiadas para utilizarlas como albergue. Las instalaciones que llenan los requisitos para funcionar como albergues, en caso de emergencia, se mencionan en la sección 2.6. Asimismo, más adelante en la sección 3.1.1. Se hace un análisis de la cantidad de personas que podrían albergar estas instalaciones y cuántas personas estarían en necesidad de utilizarlas, en función de las evaluaciones que presentaron resultados de vulnerabilidad alta y muy alta.

Tabla XIV. Cuantificación de los distintos usos de estructuras.

| ESTUDIO VULNERABILIDAD SISMICA ZONA 12 | |
|---|-----------------|
| USO DE LA ESTRUCTURA | |
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
| Comercial | 1,108 |
| Comercial - Oficinas | 1 |
| Escuela o Instituto | 21 |
| Industrial | 19 |
| Oficinas | 8 |
| Residencial | 2,612 |
| Residencial - Comercial | 19 |
| Reunión Pública | 44 |
| Servicios de Emergencia | 17 |
| TOTAL | 3,849 |

Figura 29. Gráfica porcentajes de uso de estructuras en el sector de estudio.



3.1.1 Cálculo del índice de vulnerabilidad estructural en viviendas

En la sección 1.2. Se definió la vulnerabilidad como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, como resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 sin daño, hasta 1 ó pérdida total. Se dijo también que en este estudio, la vulnerabilidad podrá ser estimada en valores entre 0 y 1 calculada en porcentajes del daño potencial en elementos materiales y humanos respecto al total de elementos bajo riesgo en el sector, valores que constituyen los índices indicadores de la vulnerabilidad estructural del área evaluada. Los índices de vulnerabilidad estructural deben permitir la comparación de distintos sectores evaluados dentro de una ciudad o país, por lo que deben expresarse en valores que permitan detectar los sectores más vulnerables.

La tabla XV muestra los Índices de Vulnerabilidad del sector de estudio calculado para distintos parámetros clasificados dentro de cada rango de vulnerabilidad, en base a los resultados obtenidos en las evaluaciones, y los porcentajes respecto a los totales respectivos a cada parámetro.

En la tabla XV podemos apreciar que del total de viviendas evaluadas, 135 unidades que equivalen a un 3.51%, se encuentran en riesgo latente, ya que el grado de vulnerabilidad que resultó del estudio es muy alto. En este rango se encuentran las estructuras de adobe y madera que se encontraron en el sector de estudio que manifiestan demasiados riesgos estructurales. Las evaluaciones correspondientes, así como las respectivas fotografías, pueden ser encontradas en la base de datos elaborada. Además, se puede observar que 323 unidades, equivalentes al 8.41%, resultaron con un grado de vulnerabilidad alto. Ambos criterios, suma un total de 458 unidades con posibles pérdidas materiales y humanas elevadas, dependiendo del horario de un evento sísmico de considerable magnitud. Podemos apreciar que un 53.29% de viviendas evaluadas representa un grado de vulnerabilidad mínima; sin embargo, recordemos que este estudio fue realizado en base a una inspección visual rápida; esto quiere decir que pueden existir muchas edificaciones a las que se les da mantenimiento constante y que en apariencia exterior no representen ningún problema, pero internamente el método con el que fueron construidas, no se puede verificar.

Tabla XV. Índices de vulnerabilidad estructural del área evaluada.

| | | GRADO DE VULNERABILIDAD | | | |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | MUY ALTA | ALTA | SIGNIFICATIVA | MINIMA |
| CRITERIO | UNIDADES ESTRUCTURALES | 135 3.51% | 323 8.41% | 1,336 34.78% | 2,047 53.29% |
| | AREA DE CONSTRUCCIÓN (m2) | 21,019.07 2.93% | 55,551.31 7.74% | 225,915.47 31.47% | 415,288.86 57.86% |
| | AREA CONSTRUIDA (m ²) | 37,030.01 3.27% | 100,626.43 8.89% | 349,923.25 30.92% | 644,234.05 56.92% |

Como podemos observar en la tabla, cada grado de vulnerabilidad se identifica con un color, código que se utilizó para identificar cada lote en base a su grado de vulnerabilidad situación que se puede observar en la figura 31, donde se presenta un mapeo gráfico de la ubicación de viviendas con diferentes grados de vulnerabilidad, desde alta hasta mínima.

La tabla XVI muestra los índices de vulnerabilidad para el área evaluada dentro del sector estudiado en función de las pérdidas en elementos materiales y humanos; tabla de suma importancia, ya que podemos observar que los resultados obtenidos de posibles pérdidas humanas es elevado, lo cual se debe al posible daño físico de las construcciones. Lamentablemente, las personas muchas veces al momento de existir un evento sísmico de alta magnitud, prefieren quedarse dentro de sus domicilios y no acudir a los centros de albergue, por miedo a que al abandonar sus viviendas, éstas sean saqueadas durante la noche.

Tabla XVI. Índices de vulnerabilidad estructural del área evaluada.

| <i>ÍNDICES DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL</i> | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------------|--|
| <i>TIPO DE DAÑO</i> | <i>CANTIDAD DE DAÑO</i> | <i>ELEMENTOS EN RIESGO</i> | <i>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD</i> |
| Muertos (Personas) | 2,986 | 60,265 | 4.95% |
| Heridos (Personas) | 5,248 | 60,265 | 8.71% |
| Daños materiales | Q279,486,826.63 | Q1,376,891,839.16 | 20.30% |

En el resumen de la tabla XVII se puede apreciar que los principales centros de albergue que se mencionan en la sección 2.6 tiene capacidad para atender aproximadamente a 4,300 personas en total. Vale la pena mencionar que solo los edificios educativos estarían alojando a 400 personas; esto implica que si el siniestro ocurriera en temporada escolar, sería necesario suspender las clases para poder albergar a los damnificados durante el tiempo que se requiera; sin embargo, en función de los

resultados del estudio, la cantidad de edificaciones en riesgo son 458 y considerando un promedio de 6 habitantes por vivienda, la cantidad de personas a quedar sin techo son alrededor de 2,748; quienes podrían ser atendidas en los otros albergues para dejar libres las instalaciones educativas y evitar interrumpir el ciclo escolar.

Tabla XVII. Resumen Capacidad de Centros de Albergue.

| Principales Centros de Albergue | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------|
| | Albergues | Capacidad Personas |
| 1 | Escuela Tipo Federación | 250 |
| 2 | Escuela La Casa de la Abuela | 150 |
| 3 | USAC | 3500 |
| 4 | Iglesia Cristiana el Calvario | 100 |
| 5 | Iglesia Inmaculado Corazón de María | 300 |
| Total | | 4300 |
| Índice de Vulnerabilidad | Parámetro | Unidades Estructurales |
| | Muy alta | 135 |
| | Alta | 323 |
| Total | | 458 |
| Habitantes Por Casa | Total Casas en Riesgo | Total Personas en Riesgo |
| 6 | 458 | 2748 |
| RESUMEN | | |
| Capacidad de de Personas a Albergar | | 4300 |
| Total Personas en Riesgo | | 2748 |
| Cantidad de Personas adicionales que podrían alojarse en estos Centros de Albergue | | 1552 |

3.2 Cuantificación de daños potenciales

Estos daños potenciales pueden calcularse al correlacionar la vulnerabilidad de una edificación con las pérdidas asociadas al grado de vulnerabilidad que presente, para lo cual se ha de seguir, básicamente, los pasos que se describen a continuación (Rojahn y otros, 1997):

- Determinar el grado de vulnerabilidad estructural y no estructural de la edificación respecto a un potencial evento desastroso.
- Determinar la cantidad total de elementos en riesgo en dicha edificación.
- Con base al grado de vulnerabilidad estructural y no estructural que presente la edificación en cuestión, serán asociados a dicha vulnerabilidad para determinar qué cantidad de los elementos en riesgo serán afectados.

a) Cuantificación de daños potenciales en elementos humanos

En este estudio se determinarán dos tipos de daño potencial en elementos humanos: muertos y heridos.

Se calcula el número potencial de muertos y heridos según los factores de daño asociados a la vulnerabilidad estructural, a la vulnerabilidad no estructural, la confiabilidad de los datos de la evaluación y la probabilidad de ocupación de la estructura. (Arrecís, 2002)

Para ampliar más respecto a este tema, refiérase al trabajo de Graduación Estudio de Vulnerabilidad Sísmica en la Zona 3, realizó por Francisco Arrecís Sosa.

b) Cuantificación de daños potenciales en elementos materiales

El daño en elementos materiales, será estimado por la cantidad de metros cuadrados de área construida que, potencialmente, serán afectados por el evento sísmico esperado en cada estructura, y por el costo de reposición de dichos daños, lo cual será calculado de la siguiente manera:

- Se determina la vulnerabilidad estructural de la edificación al realizar la evaluación por el método propuesto en el capítulo 1 y se ubica la calificación final de la estructura dentro de uno de los rangos presentados en la tabla VII.
- Se estima la cantidad de elementos materiales en riesgo en la edificación, determinada por el valor monetario del total de metros cuadrados de área construida de la estructura, el cual puede calcularse interpretando los datos recabados en el formulario de evaluación en cuanto al número de niveles de la estructura, el área de construcción y los usos de la estructura. También se consideran los costos promedio por metro cuadrado de construcción propuestos en la tabla IV para cada tipo de estructura, según su uso.
- Se calcula la cantidad potencial de daño en elementos materiales en función de los factores de daño asociados a la vulnerabilidad estructural, los cuales han sido expresados en la tabla XV, como el porcentaje de pérdidas materiales esperadas para cada rango de vulnerabilidad respecto al total del área construida en cada estructura evaluada. (Arrecis, 2002)

La Tabla XVIII muestra los daños potenciales esperados en elementos humanos y materiales para el área evaluada dentro del sector de estudio, calculados de acuerdo con lo descrito en los incisos a y b de esta sección.

Tabla XVIII Daños esperados en elementos humanos y materiales.

| CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POTENCIALES | |
|--|-------------------------|
| TIPO DE DAÑO | CANTIDAD DE DAÑO |
| Muertos (Personas) | 2,986 |
| Heridos (Personas) | 5,248 |
| Daños materiales | Q279,486,826.63 |

3.3 Mapeo

3.3.1 Índice de vulnerabilidad en viviendas del sector

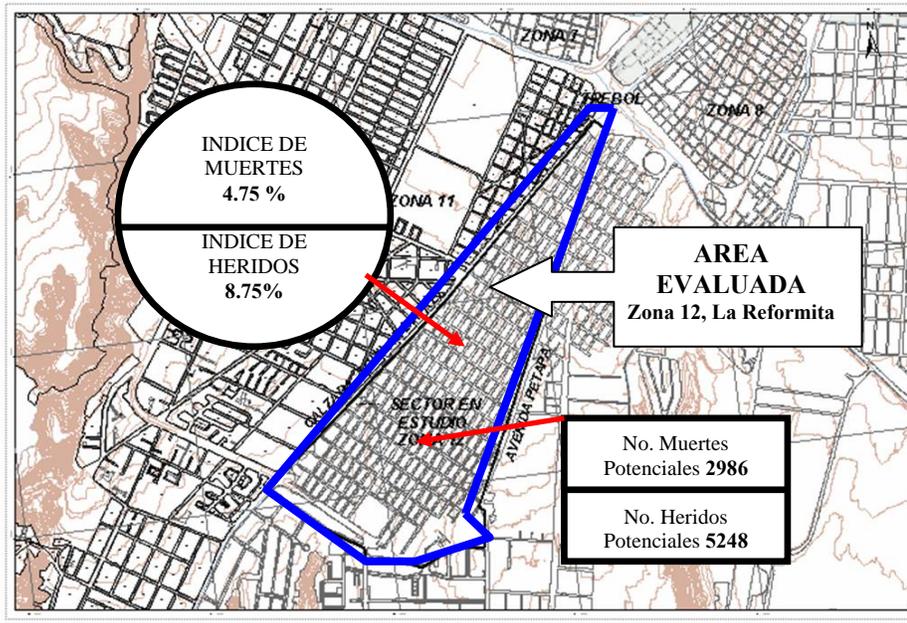
Para hacer un poco más sencilla la visualización de los índices que señalan la vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica, o comparar distintos sectores evaluados y desarrollar o priorizar planes de mitigación; es recomendable la elaboración de mapas. Algunos ejemplos de esto se muestran en Castrano 1994. En esta sección han sido adaptados algunos de los criterios utilizados en el estudio mencionado, para ejemplificar las ventajas de presentar información en forma gráfica, sobre la vulnerabilidad estructural.

Por tal motivo se realiza el siguiente inciso para de alguna u otra manera facilitar la apreciación de los sectores que están más expuestos a sufrir daño potencial y visualizarlo de una forma gráfica.

La figura 30 es un mapa del sector evaluado que ilustra las pérdidas potenciales en elementos humanos asociados a la vulnerabilidad estructural del sector, para un sismo con aceleraciones del suelo iguales o mayores a 0.3g en la componente horizontal.

Este esquema se hace con el objetivo de visualizar las pérdidas potenciales de personas, así como la vulnerabilidad estructural del sector estudiado por medio de un mapa.

Figura 30. Mapa de los índices de pérdidas potenciales en elementos humanos



Fuente: Castrano, J.C. y otros, 1994.

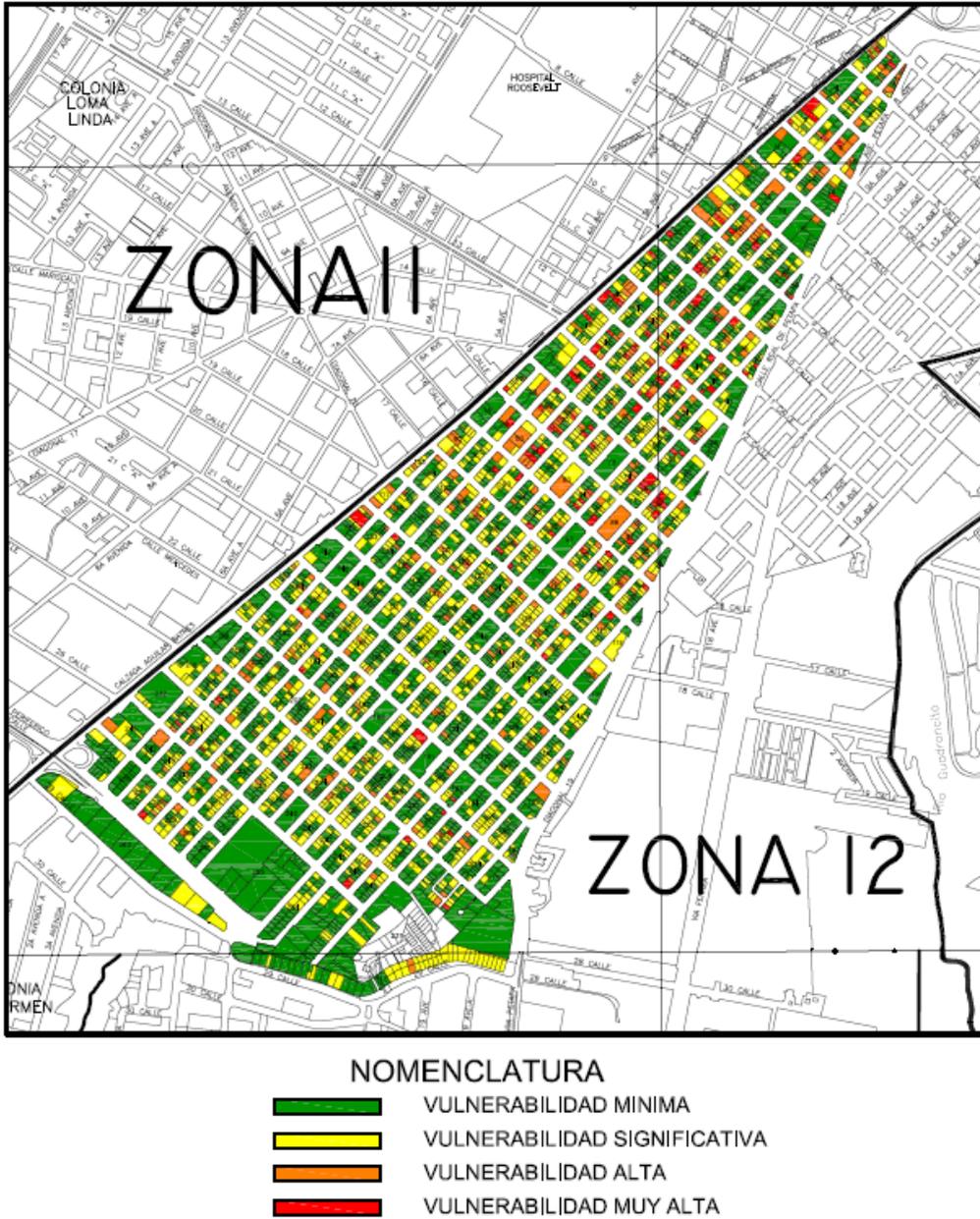
Para regiones extensas, se recomienda ilustrar los daños potenciales en los elementos materiales a través de mapas que señalen índices de daño, según la cantidad de estructuras no resistentes a terremotos que existan en una serie de sectores o subdivisiones dentro de la región considerada. En regiones no muy extensas pueden ser muy útiles mapas que muestren cada uno de los lotes evaluados con un color asignado de acuerdo a la vulnerabilidad estructural que presente, para lo cual se sugieren los criterios presentados en la tabla VII.

Tabla XIX. Colores sugeridos asociados a la vulnerabilidad estructural.

| CALIFICACIÓN FINAL C.F. | CALIFICACIÓN VULNERABILIDAD | CÓDIGO DE COLOR PARA MAPEO |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|
| $C.F. \geq 1.50$ | MÍNIMA | VERDE |
| $0.25 \leq C.F. < 1.50$ | SIGNIFICATIVA | AMARILLO |
| $-1.00 \leq C.F. < 0.25$ | ALTA | ANARANJADO |
| $C.F. < -1.00$ | MUY ALTA | ROJO |

La figura 31 ilustra un mapa del área evaluada, en donde se identifica la vulnerabilidad de cada lote con su respectivo color. Estos son los resultados de las evaluaciones realizadas, expuestas en forma gráfica, según su grado de vulnerabilidad estructural ante fenómenos sísmicos que presenten aceleraciones del suelo, ya sea iguales o mayores a 0.3g en la componente horizontal, de acuerdo con el criterio de la tabla anterior. El mapa se encuentra disponible en las instituciones mencionadas en el capítulo 1, en la sección 1.6.2 y en el disco compacto que contiene la base de datos de las estructuras. Su propósito es facilitar la búsqueda de alguna evaluación y sus resultados para identificar las estructuras más vulnerables y así poder implementar planes de mitigación de la vulnerabilidad.

Figura 31. Mapa que ilustra el grado de vulnerabilidad estructural de cada lote.



Fuente: Digitalización extraída de programa con grado de vulnerabilidad de cada lote.

4. PROPUESTA DE MÉTODOS DE MITIGACIÓN DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL.

4.1 Información para la mitigación

Conocer la vulnerabilidad estructural de una región frente a determinada amenaza sísmica permite estimar la cantidad de daños potenciales y el grado de preparación necesario en la región ante la ocurrencia del evento sísmico esperado. No obstante, lo esencial es tomar medidas que permitan minimizar y reducir los daños asociados a dicha vulnerabilidad, más que limitarse únicamente a la preparación para enfrentar los daños potenciales asociados a la misma, ya que el objetivo es minimizar el impacto en el desarrollo de las actividades de la región, para volver a la funcionalidad normal en el menor tiempo y con los menores costos posibles. Lo anterior ha de hacerse a partir de la base de que es más económico readecuar que reconstruir, y que las pérdidas humanas no pueden ser repuestas.

Es importante hacer notar que la cultura guatemalteca es bastante especial, pues carece de características preventivas, se prefieren los bajos costos a la calidad; hay autosuficiencia y cuesta delegar trabajos especializados a los especialistas, por lo que un cambio en materia de mitigación de vulnerabilidad debería tener impacto en la sociedad a nivel cultural, económico, político y social, lo cual es difícilmente alcanzable. Sin embargo, este estudio pretende ser un paso importante para que el tema de la vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica empiece a ser considerado por las autoridades correspondientes, por los profesionales que se desarrollan en el ámbito de la construcción y por la sociedad en general.

La mitigación de desastres es un tema que gobiernos de todo el mundo han tomado como compromiso por medio de medidas que ayuden a reducir el riesgo y han adoptado un lineamiento denominado el Marco de Acción del Hyogo (Marco de Hyogo) eso con el afán de reducir las vulnerabilidades frente a amenazas naturales. Para el Marco del Hyogo la reducción del riesgo debe formar parte de la toma de decisiones cotidianas: desde la forma de educar a los hijos hasta como se planifican las ciudades ya que es importante cada decisión que se tome ya que en base a ella puede incrementar más la vulnerabilidad o, por el contrario, ser más resistentes ante las amenazas. (EIRD, 2007).

Las prioridades del Marco de Acción del Gyogo son las siguientes:

1. Lograr que la reducción del riesgo de desastres sea una prioridad por medio de toma de decisiones en sectores políticos y públicos conscientes de las pérdidas que ocasionan los desastres.
2. Conocer el riesgo y tomar medidas por medio de la comprensión precisa de que será necesario invertir en las capacidades científicas, técnicas e institucionales para observar, registrar, investigar, analizar, predecir, modelar y elaborar mapas de las amenazas.
3. Desarrollar una mayor comprensión y concientización ya que los desastres pueden reducirse considerablemente si la gente se mantiene informada sobre las medidas que pueden tomar para reducir la vulnerabilidad.
4. Reducir el Riesgo por medio de la aplicación de normas relevantes de construcción para proteger infraestructuras vitales, tales como escuelas, hospitales y hogares.

5. Este preparado y listo para actuar en caso de emergencias en base a simulacros que incluyan a los trabajadores de emergencias como al público en general. (EIRD, 2007).

Estos lineamientos podrían ser de gran utilidad debido a que Guatemala se encuentra en vías del desarrollo y poder implementar estas prioridades podría significar la diferencia entre la vida y la muerte de las personas. En el marco del Hyogo se pueden apreciar dos ejemplos de naciones con y sin medidas de prevención. Tal es el caso de Bam ubicado en Irán en donde 30000 personas murieron y otras 30000 personas resultaron heridas cuando el 26 de Diciembre del 2003 un terremoto se produjo en la ciudad. Los expertos de aquel país concluyeron que el terremoto no había ocasionado las muertes sino la mala construcción de las edificaciones. He aquí la importancia de construir bajo estrictas normas de construcción. En el otro caso mencionan a Japón un país que anualmente celebran el día para la prevención de desastres en el cual realizan un simulacro en donde participan personas de todas partes del país incluyendo a los trabajadores de emergencias como al público en general. (EIRD, 2007)

Tomando en cuenta que el sector de estudio las evaluaciones reflejan que aun existen 983 casas de mampostería no reforzada es de vital importancia poder comunicar a sus habitantes la importancia de tomar medidas para reducir el riesgo ante un fenómeno sísmico.

Lo que debe quedar claro del tema de mitigación es que se pueda entender que en la ecuación: $\text{Riesgo} = \text{amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$, la única variable en la que podemos tomar medidas de mitigación es en la vulnerabilidad, ya que cuando ésta se detecte la misma se puede reducir. En la figura 32 se puede apreciar más claramente esta observación.

Fig. 32. Esquema de Riesgo.



Fuente: (OPS 2006).

De la misma premisa radica la importancia de tener presente que las medidas de mitigación no siempre requieren de elevadas inversiones, en relación a los costos que tendrán los trabajos de rehabilitación y reconstrucción de las viviendas afectas por un evento sísmico.

Esta sección se enfoca principalmente, en propuestas, las cuales deberán ser aplicadas por los sectores a quienes corresponda como por ejemplo: El Gobierno Central, La municipalidad, Conred, Insivumeh, Bomberos Voluntarios y Municipales, entre otros. Y cada uno deberá tomar las medida para tener control sobre los distintos factores que aquí se mencionan, no se ha de perder de vista que el objetivo principal que persigue la mitigación de la vulnerabilidad es que la vida y el desarrollo del país no sean severamente afectados por un fenómeno sísmico sobre el cual no se puede tener control.

La mitigación de desastres debe de ser proceso dinámico, de concertación de voluntades, actitudes y expectativas de las poblaciones vulnerables. Se hace viable en la

medida en que ésta corresponda al nivel de conciencia y organización de la población y la incorpore como sujeto activo que juega un importante rol en la implementación de acciones encaminadas a evitar o disminuir los efectos del fenómeno las instituciones y leyes son las herramientas que permiten enlazar una respuesta social concreta ante situaciones de emergencia.

Igualmente la política pública debe establecer una institucionalidad fuerte con participación civil, y un marco de derechos y deberes tanto en los aspectos de prevención y mitigación. Sin embargo, dada la magnitud del problema se debe destacar que es importante realizar una labor que se lleve a cabo para reducir la exposición de la población a los riesgos. (Naciones Unidas, 2004)

Se debe considerar incluir elementos específicos dentro de la gestión de riesgos:

- Evaluar las amenazas del país o de una zona determinada.
- Aplicación de medidas estructurales para que las construcciones resistan los sismos.
- Priorizar las acciones de prevención y mitigación.
- Fomentar la investigación científica y tecnológica sobre la vulnerabilidad que permitan la formulación de propuestas de prevención y mitigación.
- Elaborar programas preventivos y de simulacros para los centros educativos.
- Crear en la población la cultura de la protección civil.
- Elaboración de planes de emergencia y divulgación.
- Coordinar secciones informativas sobre la mitigación, preparación y respuesta a los desastres.
- Reducir el impacto de un terremoto con la aplicación de normas relevantes de construcción para proteger infraestructuras vitales, tales como escuelas, hospitales e iglesias.

- Todos los edificios vulnerables se pueden modernizar para lograr un nivel más alto de seguridad.
- El aumento de la resistencia de las construcciones carentes de diseño técnico adecuado.
- Reconstruir o reparar los edificios, particularmente después de las pérdidas o daños provocados por un desastre importante.
- Reacondicionar los edificios existentes mediante medidas de reforzamiento.
- La protección de las instalaciones de salud.
- Proteger las instalaciones educativas. (Naciones Unidas, 2004).

Todas estas acciones se pueden fomentar por diversos sectores, uno sería enfocarse en los trabajadores de la construcción ya que en base a las destrezas de cada uno de ellos se pueden mejorar las construcciones, también en base a la capacidad de los profesionales que desempeñan un papel importante en la creación y mantenimiento de las edificaciones. Otro sector es el de los inversionistas o urbanizadores que se esfuerzan por impulsar el crecimiento y el desarrollo también deben tener conciencia de asegurar que no exista exposición de vulnerabilidad al ambiente edificado. (Vivir con el Riesgo, 2004).

Es importante mencionar que el sector estudiado como se ha mencionado con anterioridad en un sector popular que surge a partir de los años 40, en donde para esa fecha el material más utilizado para construir era el adobe. Así mismo el nivel económico de dicho sector difícilmente puede ayudar a que las personas tomen medidas de mitigación ya que todo se resume en una inversión que en muchos casos lo único que ocasionaría sería generar deudas para los propietarios y por ende las considerarían innecesarias. Por tal motivo las autoridades correspondientes deben involucrarse más

en este tema ya que serian la única opción para que algunos de estos planes se puedan llevar a cabo.

4.2 Problemas estructurales típicos observados en el sector

En la sección 2.4.1., al referirse a la tipología estructural del sector, se indicaron algunos problemas estructurales observados. A continuación, se enumerarán los problemas propios de los principales tipos estructurales existentes dentro del sector estudiado.

Estructuras de mampostería no reforzada

Problemas observados

a) Malas técnicas de refuerzo: refuerzos en muros de adobe solamente con columnas y soleras de corona, sin prevenir la mala adherencia entre el adobe y el nuevo refuerzo, lo que podría favorecer el desprendimiento de los lienzos de muro con movimientos sísmicos. Un ejemplo de lo antes mencionado lo podemos ver en la Figura 33.

Figura 33. Ejemplo de problemas típicos observados.



Ubicación: 7 Av. 4-50 Zona 12. En archivo la referencia es 5_12_6_10.

b) Ampliaciones peligrosas: segundos niveles y, en ocasiones, terceros, que se construyen sobre un primer nivel de mampostería de adobe reforzado con malas técnicas, o ampliaciones de madera y lámina con muros de adobe cercanos que pueden caer sobre los muros de material livia Un Ejemplo de lo anterior, se puede observar en la figura 34. En este caso, la casa ya cuenta con un repello pero durante la inspección realizada se determinó que el primer nivel es de adobe.

Figura 34. Ejemplo de problemas típicos observados.



Ubicación: 5 av. 22-23 Zona 12. En archivo la referencia es 5_12_35_13

c) **Mantenimiento Inadecuado:** Elementos estructurales de madera, cuya función debería ser proporcionar cierto grado de seguridad y refuerzo a la estructura. En muchos edificios los componentes están podridos y ya no cumplen la función para la cual fueron colocados. También es típico observar muros de adobe expuestos a la intemperie, ya sin repellos ni recubrimientos, que son erosionados por la lluvia, e incluso existen casos críticos donde la sección del muro ha disminuido de manera notable. En la figura 35 se puede apreciar un ejemplo del sector de estudio que presenta este problema en donde la vivienda se puede observar que está construida únicamente de madera y lamina.

Figura 35. Ejemplo de problemas típicos observados.



Ubicación: 6 Av. 13-01 Zona 12. En archivo la referencia es 5_12_26_01

d) En la Fotografía 36 se puede apreciar una estructura de uso residencial que cuenta con un mantenimiento inapropiado en el primer nivel, y reforzada únicamente en el segundo nivel por columnas sin continuidad con el primer piso, lo que denota que únicamente el muro del primer piso es el que soporta la carga que transmiten las columnas del segundo nivel.

Figura 36. Ejemplo de problemas típicos observados.



Ubicación: 6av. 5-83 Zona 12. Referencia 5, 12, 9, 3.

Medidas de mitigación

No es necesario evaluar con más detalle estructuras de mampostería no reforzadas para determinar que su comportamiento sísmico es nada satisfactorio, razón por la cual la readecuación de estas estructuras es imperativa. El método más seguro para readecuar una estructura de mampostería no reforzada -si no se tiene capacidad para reconstruirla con otra técnica constructiva- es el encamisado de los muros, técnica que se puede practicar en diversas formas, como se describe a continuación (Fundación ICA, A.C., 1999)

a) Encamisados de alambre: Se recomienda su uso cuando no se tiene mucha capacidad económica, y cuando el muro tiene o se le pueden colocar columnas de refuerzo de madera, concreto o acero en buen estado, capaces de soportar el peso del muro. La técnica consiste en colocar a ambos lados del muro alambre de amarre o mallas aseguradas a las columnas, de manera que prevengan que la pared o pedazos de ésta caigan si se llegara a fracturar. No se recomienda esta técnica si se construye sobre muros de adobe o si son muy altos.

b) Encamisado con fibras: Se practica de manera similar al de alambre, pero se utilizan materiales no metálicos con suficiente resistencia para soportar el peso del muro.

c) Recubrimientos con acero y mortero: Esta técnica es la más recomendable y consiste en colocar a ambos lados del muro una malla de acero electro soldada o amarrada, con refuerzo mínimo de diámetro $\frac{1}{4}$ " a cada 25 centímetros en ambos sentidos. De preferencia, las mallas en ambas caras del muro deben estar unidas con eslabones de diámetro $\frac{1}{4}$ " a cada 75 centímetros como mínimo, en ambos sentidos. Las mallas se colocan separadas 1.25 centímetros de la superficie del muro, sobre la cual se aplica un recubrimiento de mortero de arena de río y cemento de 2.5 centímetros de espesor, para dejar la malla bien cubierta al centro de la capa de mortero.

Para aplicar esta técnica no es necesario que el muro tenga columnas de refuerzo, sólo es importante reforzar los dinteles de puertas y ventanas, y reforzar las esquinas de los vanos con varillas o mallas colocadas diagonalmente. Esta técnica puede ser aplicada a construcciones que han sido reforzadas con técnicas no adecuadas, y es lo recomendable en casos en los que se ha construido un segundo nivel sobre un primero con muros de adobe, ya que, además de prevenir el colapso de los muros, aumenta su capacidad de carga.

Estructuras de mampostería reforzada

La más utilizada es la mampostería media o de tipo mixto, y es la que evidencia problemas, pues la mampostería superior es poco utilizada y por lo general se desarrolla según la dirección de un profesional.

Problemas observados

a) **Materiales Inadecuados:** Algunos fabricantes de las piezas de mampostería, especialmente de block, por reducir costos disminuyen la cantidad de cemento y la calidad de la materia prima utilizada, lo que repercute en una menor resistencia de las piezas por su baja densidad.

Estas piezas, por tener menor costo, son atractivas a constructores empíricos y a personas que no poseen recursos suficientes y necesitan construir. Y aunque el sistema de mampostería media es bastante noble en su respuesta a los sismos, y los esfuerzos de corte son soportados en buena parte por la misma, inclusive con las cargas gravitacionales, resulta peligroso utilizar piezas de resistencias bajas del orden de los 15 Kg. /cm.², lo que es común en piezas de pequeños fabricantes de block (Quiñónez, 1996).

En la figura 37 se puede apreciar una vivienda en proceso de construcción donde se puede notar que los materiales utilizados son de buena calidad, esto ayuda a disminuir el riesgo de pérdida, ya que si los materiales utilizados fueran de mala calidad el riesgo se incrementaría considerablemente.

Figura 37. Ejemplo de problemas típicos observados.



Ubicación: 7av. 16-42 Zona 12. Referencia 5_12_31_03.

b) Alturas Excesivas: Existen bastantes edificios de autoconstrucción, cimentados empíricamente, que han sido ampliados verticalmente, cuyos problemas residen en modificaciones perjudiciales de la geometría del edificio, puntos débiles de unión entre elementos estructurales, aumento excesivo de cargas gravitacionales, reducción de la capacidad de la cimentación del edificio, elementos estructurales que eran de sección adecuada para un nivel y que no son reforzados al incrementar la altura del edificio, etcétera. Este fenómeno se presenta, en muchas ocasiones, cuando el propietario del edificio tiene terraza o patio en el último nivel circulado por un muro de mampostería hasta un metro de altura, por lo que según el juicio del propietario: *“levantar medio muro más no es mucho peso para la estructura y le pongo techo de lámina”*, pero como después vuelve a necesitar el patio o terraza, *“fundo una parte de la losa o la fundo completa, total ya aguantó”*. Esto se hace sin tener una buena apreciación de lo que

puede implicar en el peso de la estructura y la fuerza de inercia que se agregó al edificio, lo que se manifestará hasta que se presente un sismo fuerte, pues las cargas gravitacionales en reposo pueden ser bien soportadas por la estructura, pero cuando las cargas son dinámicas, el comportamiento de los materiales es muy diferente. En la figura 38 podemos encontrar una vivienda que manifiesta altura excesiva tomando en cuenta que fue construida a unos 2 metros del nivel de la calle.

Figura 38. Ejemplo de problemas típicos observados.



Ubicación: 9av. 18-31 Zona 12. Referencia 5_12_34_02.

c) Ampliaciones horizontales desarrolladas inapropiadamente: Algunos edificios son ampliados horizontalmente, lo cual influye en su configuración geométrica, cuando los diseños no son simétricos o se unen las estructuras existentes con las nuevas, esto provoca asimetría, y crea puntos de concentración de esfuerzos o puntos débiles. Un Ejemplo de esto se puede apreciar en la figura 39.

Figura 39. Ejemplo de problemas típicos observados.



Ubicación: 9av. 18-51 Zona 12. Referencia 5_12_34_08.

Medidas de mitigación

Una medida muy importante que se puede tomar en función de prevenir que las estructuras se construyan con altos grados de vulnerabilidad ante fenómenos sísmicos, es la adopción e implementación de códigos de diseño sismo resistente y una supervisión periódica por parte de las autoridades encargadas de extender licencias de construcción, así como una inspección de campo antes de ser extendido dicho permiso, esto con la finalidad de evitar construcciones y ampliaciones inadecuadas, a la vez dicha entidad

debería de tomar medidas drásticas sobre las construcciones que no presenten dichos permisos.

Otra medida es Informar a la población de los resultados del estudio practicado al sector por medio de comités únicos de barrios o alcaldías auxiliares las cuales tienen un contacto cercano con los habitantes del sector, haciéndoles mención de los posibles centros de albergue propuestos según estudio, motivándolos a hacer simulacros preventivos de una situación de desastre.

Para prevenir un desastre lamentable es aconsejable la demolición de construcciones peligrosas y levantamiento de nuevas con materiales adecuados y técnicas constructivas adecuadas, pero como es de suponer los habitantes de aquellos inmuebles cuyas estructuras representan un grave peligro son de escasos recursos, y no poseen la capacidad económica para realizar este tipo de modificaciones razón por la cual se plantea una posible solución “la existencia de una institución bancaria que les permita a los habitantes de dicho sector que presenten el problema de vivienda con alto grado de vulnerabilidad, obtener préstamo con una tasa de interés baja y facilidades de pago”.

Como el propósito de este capítulo es dejar bien claro que lo que se pretende disminuir es la vulnerabilidad por medidas de mitigación y prevención se dan estos parámetros para tomar en cuenta al momento de construir obras nuevas o para obras existentes.

En obras Nuevas: Aplicación de normas en el diseño las cuales se mencionan en el siguiente apartado. Así también ubicación, selección de materiales de construcción, trazados, etc.

En obras existentes: Conservación y mantenimiento de las estructuras, reparación de grietas filtraciones u otros desperfectos, reemplazo de materiales en mal estado, etcétera.

Se recomienda practicar evaluaciones más detalladas a todas las estructuras de mampostería reforzada que presenten vulnerabilidad diferente a la mínima, pues existen una gran variedad de situaciones y configuraciones en este tipo de estructuras que hacen difícil proponer una técnica general de readecuación.

Estructuras de concreto

Problemas observados

Una estructura cuyo sistema estructural principal sea de concreto, por lo general, implica una construcción de mediano a gran tamaño realizada por ingenieros civiles o ingenieros estructurales, no obstante, se observa un factor importante de riesgo, los edificios con baja ductilidad. En el sector de estudio existen edificios que fueron construidos desde los años de 1940 tal como se menciona en la sección 2, con códigos de diseño que han sido modificados según las tendencias y criterios modernos del diseño sismo resistente, los cuales son demasiado rígidos y tienen poca capacidad de deformación, lo cual aumenta el riesgo de colapso (Monzón, 1996).

Medidas de mitigación

Se recomienda practicar evaluaciones más detalladas a las estructuras de concreto que presenten vulnerabilidad diferente a la mínima y a aquellas que alberguen a más de cincuenta personas, pues debido a que existe una gran variedad de situaciones y configuraciones distintas en este tipo de estructuras se hace difícil proponer una técnica general de readecuación.

Estructuras de madera

La mayor parte de estructuras de madera que se observan en el medio, constan de cerramientos de lámina o madera. Lo más común es que estas estructuras sean de tipo marco, sin breizas, lo cual es hasta cierto punto aceptable, pues son estructuras muy livianas. El problema más común es el deterioro de los elementos por falta de mantenimiento, así como de tratamientos contra insectos, humedad, hongos y otros factores. En la figura 40 se ilustra un ejemplo de este problema aunque en el sector de estudio se encontraron 135 viviendas con estas mismas características.

Figura 40 Ejemplo de los problemas típicos observados en estructuras de madera.



Ubicación: 6Av. 3-27 Zona 12. Referencia en Estudio 5, 12, 3, 2.

Medidas de mitigación

Para este tipo de estructuras, lo más recomendable es cambiar los elementos que estén muy deteriorados, revisar periódicamente anclajes y uniones de las estructurales, y dar mantenimiento periódico contra insectos, humedad y cualquier factor que facilite el deterioro de la madera.

Una medida muy importante que se puede tomar, en función de prevenir que las estructuras se construyan con altos grados de vulnerabilidad ante fenómenos sísmicos, es la adopción e implementación de códigos de diseño sismo-resistente.

4.3 Códigos, reglamentaciones, normas de edificaciones

En Guatemala, la construcción es normada y regulada por la Municipalidad generalmente, basándose en el **Reglamento de construcción** del Plan regulador de la ciudad de Guatemala, aunque, en algunos casos, se exige cumplir con leyes para preservar el patrimonio histórico y cultural, como la **Legislación del Centro Histórico**, la **Ley de aviación civil**, decreto 93-2000, o la **Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente**, decreto 68-86, según las disposiciones del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Entre los códigos, reglamentos y normas de edificaciones utilizados en nuestro medio, podemos mencionar:

- 1) “Recommended Lateral Force Requirements and Comentary” de la Sociedad de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC) para la determinación de cargas sísmicas.

- 2) Para el diseño de estructuras, el Reglamento vigente de las construcciones de Concreto Reforzado del Instituto Americano del Concreto (ACI).
- 3) El Código vigente del Instituto Americano para Construcciones de Acero (AISC).
- 4) (UBC) para el diseño de estructuras de mampostería.
- 5) Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) Normas estructurales de diseño y construcción recomendadas para la República de Guatemala.
- 6) Reglamento General y Reglamentos Específicos de Construcción, Departamento de Control de la Construcción Urbana, Municipalidad de Guatemala.
- 7) Normas FHA, Normas de Planificación y Construcción para casos proyectados.

El reglamento municipal de construcción vigente fue creado en 1978, y hasta la fecha no se ha publicado de manera oficial ninguna modificación. Este reglamento contempla, en su mayoría, aspectos arquitectónicos y de marco legal, el aspecto estructural está casi completamente excluido.

A nivel internacional existen códigos que regulan las construcciones tal es el caso del Código Internacional de la Construcción 2006, el cual integralmente contiene conceptos de seguridad, disposiciones estructurales de seguridad de vida y protección en diferentes aéreas pero una que esta relacionada al presente trabajo es la de contar con disposiciones especiales de Ingeniería Sísmica, nuevas tecnologías de construcción y la modernización de la industria en materiales de diseño. Este código se fundamenta en una amplia base de principios que hacen posible el uso de nuevos materiales y novedosos diseños de la edificación. Los alcances de este código cubren todo tipo de edificaciones excepto unidades de vivienda de tres pisos para una y dos familias. Internacionalmente, el código oficial reconoce la necesidad de un moderno y actualizado código de construcción referente al diseño e instalación de sistemas de construcción por medio de

la enfatización de los requerimientos de desempeño. El Código Internacional de Edificación (o construcción) en esta edición 2006 fue diseñado para llenar estas necesidades por medio de un código modelo de regulaciones que salvaguardan la salud pública y seguridad en todas las comunidades, grandes y pequeñas. El alcance que se pretende en este código para disminuir el riesgo ante los sismos en cada estructura, y la porción de la misma, incluyendo los componentes no estructurales que se unen permanentemente a las estructuras y sus soportes y accesorios, deben diseñarse y construirse para resistir los efectos de un terremoto de acuerdo con el ASCE 7. (IBC, 2006). La norma de diseño ASCE 7 fue elaborada por la American Society of Civil Engineers. (ASCE, 2005)

La Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente delimita los casos en que es necesaria la realización de estudios de impacto ambiental, según el Reglamento sobre estudios de evaluación de impacto ambiental; por lo que los aspectos de diseño estructural prácticamente quedan a discreción de los profesionales que desarrollan los proyectos o de sus propietarios. Una excepción, hasta cierto punto, son los proyectos desarrollados según el sistema del FHA (FHA 1994), en cuyas normas se contemplan casos proyectados para edificaciones de mampostería confinada hasta 2 niveles, y se hace referencia a normas internacionales para proyectos que sobrepasan las consideraciones de dichas normas.

No existe en Guatemala un código oficial de, estudios de micro zonificación de riesgo geológico u otros que proporcionen algún grado de protección, orientación y seguridad a constructores y propietarios en el aspecto estructural de las construcciones. Además, el Centro de Estudios Superiores en Energía y Minas, desarrolló solo la primera fase de un estudio de zonificación sísmica urbana para Guatemala, el cual consiste en identificar las unidades geológicas y su respuesta sísmica analítica (Flores y otros, 2001). Lo más cercano a ello es la Norma recomendada AGIES NR-1-96 desarrollada por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica

(AGIES, 2001). Ésta había enfrentado muchos problemas para su divulgación. En acuerdo Ministerial 1686-2007, con fecha de divulgación 6 de Agosto del 2007 emitido por el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, en dicho acuerdo se hace la consideración que se han desarrollado normas estructurales del diseño y construcción para la república de Guatemala, cuya finalidad es disminuir la vulnerabilidad sísmica y garantizar la calidad y seguridad ante sismos. En dicho acuerdo en el Artículo 3 se menciona que el estado adopta las normas de la Asociación Guatemalteca de Diseño y Construcción recomendadas para la república de Guatemala por AGIES. Es importante mencionar que de este acuerdo surgen grandes beneficios debido a que las obras de infraestructura del estado estarán normadas en base a las normas de la AGIES y se supone que esto marque un avance significativo para que las edificaciones se diseñen y construyan reduciendo la vulnerabilidad. (MICIVI, 2007).

Definitivamente, no se pretende poner en duda la capacidad de los Ingenieros estructurales que trabajan en el país, algunos de ellos incluso tienen mucho prestigio a nivel internacional; pero el aspecto de las normativas para el diseño sismo-resistente debe mejorar, pues hay muchos ingenieros civiles que diseñan estructuras de tamaño medio, con elementos de concreto con poca ductilidad, o mediante códigos y métodos antiguos de otras partes del mundo que no se han adaptado a la realidad nacional o que ya han sido modificados y, a veces, hasta se consideran obsoletos.

Es importante mencionar el trabajo que hace la Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia a través de la unidad de Riesgo Sísmico, al apoyar el desarrollo de estudios y normas que permitan mejorar el campo del diseño estructural sismo-resistente en cooperación con la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. Gracias a estos estudios, se han obtenido resultados que se encuentran en Conred, donde inclusive, están disponibles evaluaciones más detalladas de algunas escuelas del sector en estudio. También organiza estudios para evaluar la

vulnerabilidad de los edificios del Estado, principalmente hospitales, estructuras que deben permanecer en funcionamiento al presentarse un desastre, lo cual constituye un paso importante para reducir los daños que pueda causar un terremoto. De estos avances surgen las normas NR-4, NR, NR-6 y NR-7.5. que actualmente son base para garantizar las condiciones mínimas de seguridad estructural.

4.3.1 Requisitos estructurales actuales

En la actualidad, las obras de ingeniería civil se desarrollan de manera multidisciplinaria con el propósito de satisfacer las necesidades sociales de la manera más funcional, económica y segura posible. En cuanto a la seguridad, uno de los peligros más difíciles que enfrenta la ingeniería, es el diseño sismo-resistente, el cual busca que las estructuras de los edificios soporten las cargas sísmicas sin poner en riesgo la vida humana.

Las tendencias modernas de diseño sismo-resistente se encuentran fundamentadas en pilares que han sido desarrollados en base a la experimentación, observación y aportes de múltiples especialidades como la estadística, el cálculo, la física, la mecánica, la matemática, la computación, la química, la geología y muchas otras disciplinas, según su aplicabilidad y el ingenio de investigadores y diseñadores. En países desarrollados, se estudian nuevos métodos de diseño y se perfeccionan otros, ya que se han comprendido aspectos del planeta en relación a los sismos, tan sorprendentes, que a principios del siglo pasado, parecían inalcanzables para la mente humana. Se han desarrollado parámetros de medición y parámetros de caracterización de los suelos y las estructuras en función de su respuesta a los sismos; y técnicas de construcción avanzadas como el aislamiento sísmico y los disipadores de energía, y se ha correlacionado el ambiente natural al cual se está expuesto, con lo construido por el hombre; sin embargo, aún falta mucho por investigar.

Guatemala todavía necesita mucho desarrollo en materia de estudios y normas en las áreas que competen a la ingeniería estructural y sísmica, a pesar de ser uno de los países con mayor riesgo sísmico en el planeta, por encontrarse en la unión de tres placas tectónicas; sin embargo, las diversas condiciones económicas, políticas, culturales y sociales que han existido a lo largo de la historia, nos ha limitado en varios campos, y la investigación y desarrollo en temas de sismología no han sido la excepción.

Con un mundo cada vez más competitivo y globalizado se hace necesario avanzar hacia mejores condiciones en todos los aspectos posibles. En la antigüedad, un terremoto era sinónimo de cuantiosas pérdidas humanas y materiales y, en ocasiones, hasta implicaba un retroceso en el desarrollo de una sociedad. En la actualidad, países desarrollados han logrado minimizar sus pérdidas de tal manera, que después de un terremoto fuerte, pueden volver a la normalidad en un lapso corto de tiempo, sin sufrir mayores pérdidas económicas, materiales, ni humanas.

Las nuevas tendencias del diseño sismo-resistente se enfocan, principalmente, en los siguientes factores:

- Conocer de la mejor manera posible la amenaza natural a la que se está expuesto, a fin de evitar que se coloque una estructura en riesgo.
- Conocer la respuesta del sitio para correlacionar la información que proporciona la geología y la sismología en cuanto a amplificación de ondas y respuesta del suelo a excitaciones sísmicas con el cálculo y el diseño estructural.
- Diseñar de la manera más económica posible las estructuras, considerando que puedan soportar la magnitud máxima probable de los fenómenos sísmicos, durante el período de vida útil y de funcionamiento de la estructura, sin que ésta colapse o sufra daños considerables.

- Diseñar las estructuras de manera que si se presenta un fenómeno sísmico por arriba de la magnitud de diseño esperada, el edificio esté capacitado para deformarse e incluso soportar distintos grados de daño sin colapsar en función de preservar la vida de los habitantes de la estructura.
- Que las estructuras puedan volver a su funcionamiento normal en el menor tiempo posible después de los eventos sísmicos para no interferir con el desarrollo de las actividades de la sociedad.

Como se mencionó, la capacidad de los ingenieros estructurales que trabajan en el país no se pone en duda, pues ellos realizan su labor de la mejor manera posible a pesar de la escasez de información y de estudios que se dispone a nivel local, pues existe incertidumbre en muchos de los criterios de diseño que se aplican sin el grado de seguridad que ellos quisieran. Los resultados son el sobre diseño o subdiseño de algunas estructuras según su ubicación y amenaza. Esto se comprobará con el tiempo, ya sea por que se desarrollen estudios o porque se presenten los terremotos, pero definitivamente es mejor que se compruebe a través de estudios y análisis, pues el beneficio es más alto y el costo más bajo.

Actualmente, la sociedad presenta cierto grado de vulnerabilidad a los fenómenos sísmicos, el cual no se conoce a cabalidad, pero es preocupante, como lo evidencia este estudio desarrollado en un sector típico de la ciudad. Si no se empiezan a tomar medidas preventivas y a demandar que el área de la construcción y la ingeniería civil y estructural sean manejadas con el grado de especialización, ética y profesionalismo que se requiere, es posible que se propicien condiciones tan desfavorables para el país que pueden costar mucho en materia de desarrollo, porque los terremotos en Guatemala son una amenaza real a la cual la población está expuesta y sobre la cual no se tiene control.

CONCLUSIONES

1. Se estima que un total de 1131813.74 m² de área construida en el sector evaluado, equivalente al 43.80% del total del área construida en el sector evaluado, sufrirá daños severos por un fenómeno sísmico con aceleraciones del suelo del orden de 0.3g en la componente horizontal, cuya probabilidad de ocurrencia es de, al menos, una vez en cincuenta años, con un costo de reposición equivalente a Q.279, 486, 826,63.
2. Se calculan 10 muertes y 6 heridos potenciales por cada 100 personas en el área evaluada 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 2,986 muertos y 5248 heridos potenciales.
3. De 3849 estructuras existentes en el área evaluada dentro del sector estudiado, 983 son aún de mampostería no reforzada de adobe, equivalente al 26% del total de estructuras evaluadas.
4. Los índices de vulnerabilidad estructural del las 3849 unidades estructurales del área evaluada dentro del sector en estudio se presenta en las siguientes proporciones: mínima 53.29%, Significativa 34.78%, Alta 8.41%, Muy alta 3.51%. Significa que el 3.51% de 3849 evaluaciones corresponde a 135 con un grado de vulnerabilidad muy alto. El 8.41% significa que 323 viviendas evaluadas manifiestan un grado de vulnerabilidad Alto.
5. Como resultado de nuestro levantamiento de campo se pudieron ubicar un total de seis establecimientos dentro y colindante al sector de estudio que reúnen las

características y condiciones necesarias para prestar servicio de albergue: Escuela La Casita de mi Abuela , con capacidad para albergar a 750 personas, Escuela Tipo Federación con capacidad para 1000 personas, Iglesia Cristiana Calvario con capacidad para 200 personas, la Iglesia Católica Inmaculado Corazón de María con capacidad de 1300 personas, finalmente la Universidad de San Carlos de Guatemala.

6. Según la investigación se determinó que el sector evaluado se encuentra asentado sobre un suelo tipo “C” (Según criterios de la ACT), con el fracturamiento usual que presenta en el valle de la ciudad de Guatemala, provocadas por el terremoto de 1976, dicha amenaza aumenta la probabilidad para que las redes de servicios básicos sufran daños a la hora de un nuevo movimiento sísmico.
7. Mientras las autoridades municipales encargadas de autorizar las construcciones no implementen otra estrategia para contrarrestar construcciones empíricas estas seguirán surgiendo y con ello la inseguridad y el riesgo ante fenómenos sísmicos no disminuirá.
8. Es prioritaria la readecuación de estructuras de mampostería no reforzada de adobe, pues son las más vulnerables a los sismos.

RECOMENDACIONES

1. Es conveniente el desarrollo de estudios de vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica en toda región poblada del país, con el propósito de estimar los daños potenciales y priorizar el enfoque de recursos en reducir la vulnerabilidad a partir del principio de que es mejor y más económico readecuar que reconstruir.
2. Es recomendable que instituciones enfocadas en la prevención de desastres, como CONRED, desarrollen programas a través de los cuales se haga ver a la población la realidad sísmica del país y cómo reducir la vulnerabilidad individual y colectiva de la población ante fenómenos sísmicos en situaciones cotidianas.
3. Se sugiere a las entidades como el INSIVUMEH, involucradas en campos de sismología, meteorología, geología y temas afines, conjuntamente con las universidades, participen en el desarrollo de investigaciones que permitan mejorar el conocimiento de los fenómenos sísmicos y sus efectos.
4. Es conveniente que las autoridades de la Escuela de Ingeniería Civil actualicen constantemente los cursos en las áreas relacionadas con la sismología, ingeniería sísmica y análisis estructurales impartidos en las Universidades.
5. La realización de estudios que permitan conocer la vulnerabilidad de las estructuras existentes en toda la ciudad, y que las municipalidades exijan un diagnóstico de vulnerabilidad estructural en proyectos de remodelación, para que sean más estrictos los controles de obras nuevas.
6. Evaluar los aspectos legislativos del país en las áreas de la ingeniería civil, arquitectura, uso del suelo y construcción, pues existen muchas deficiencias y

necesidades que hay que satisfacer para que el desarrollo de la construcción sea seguro, sostenible, ético y profesional, tanto para constructores como para propietarios y la sociedad en general, especialmente, para la población de escasos recursos, que pone en peligro su vida habitando lugares de alto riesgo en construcciones que no satisfacen requerimientos mínimos de seguridad.

7. Es conveniente realizar evaluaciones detalladas a todas las edificaciones que alberguen más de 50 personas, pues esta cantidad constituye un número alto de elementos humanos en riesgo.

8. Implementar códigos de diseño sismo resistente y fomentar su utilización a todo nivel, desde las aulas de estudio en las universidades a nivel de pregrado y postgrado, hasta su difusión en cursos de actualización para profesionales activos a través de instituciones como el Colegio de Ingenieros y CEDUCA.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGIES, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. **Normas estructurales de construcción recomendadas para la república de Guatemala NR-6**. Guatemala: AGIES, 2005.
2. Alex Barbat, Luis Pujades, **Evaluación de la Vulnerabilidad y del Riesgo Sísmico en zonas Urbanas de Barcelona, 2002**
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. Argueta Romero, Sergio Iván, Análisis de Vulnerabilidad Utilizando el Método Matricial propuesto por la CEPIS, en el Abastecimiento de Agua Potable Atlántico-Ilusiones, Trabajo de Graduación de la Facultad de Ingeniería, Civil USAC 2005.
6. Arrecís, S. Francisco E. Vulnerabilidad Sísmica Estructural en un Sector de la Ciudad de Guatemala. Trabajo de Graduación de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala 2002.
7. ASCE, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, U.S.A. 2005.
8. Bohnenberger, Otto. **“Revisión del sistema de fallas en al región metropolitana de Guatemala”**. XX Aniversario del terremoto de 1976. Guatemala: 83. 1996.
9. Castrano, J.C. y otros **“The Situation of The City of Mendoza, Argentina, In a Seismic Emergency”**. Proceeding of The Caribbean Conference on Natural Hazards, (Trinidad y Tobago):178.1994.
10. Coordinación de Emergencia Adultos, Hospital Roosevelt, 2008.
11. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). www.conred.gob.gt 2008.

12. Departamento de investigación y servicios geofísicos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH. Guatemala, 2001.
13. EIRD, Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas, 2007
14. Flores Beltetón, Omar. Micro zonificación. “Micro zonificación”. **Curso-seminario “micro zonificación, riesgo sísmico, espectros de diseño y diseño por capacidad”**. Guatemala: Centro de estudios superiores en energía y minas, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1998.
15. Flores Beltetón, Omar y otros. **Zonificación sísmica urbana en Guatemala, fase I identificación de unidades geológicas y su respuesta sísmica analítica**. Guatemala: Centro de estudios superiores en energía y minas, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001.
16. FHA, Fomento de Hipotecas Aseguradas. **Normas de planificación y construcción para casos proyectados**. Guatemala: División técnica del FHA, 1994.
17. Fundación ICA, A.C. Edificaciones de mampostería para vivienda. México: ICA, A.C., 1999.334pp.
18. IBC, International Building Code, by International Code Council, INC, U.S.A. 2006.
19. Instituto Geográfico Nacional. **Mapa de fracturas sismos de febrero de 1976 valle de Guatemala, escala 1 : 25,000**
20. Instituto Geográfico Nacional. **Mapas de catastro de la ciudad de Guatemala, escala 1 : 2,000**
21. Instituto Nacional de Estadística. **Historia sísmica de Guatemala**. Guatemala: INE, 1994.
22. **INSIVUMEH** Información proporcionada por personal técnico del departamento de control meteorológico, 2007
23. Jerez, Margarita. **Manual de evaluación visual rápida**. Guatemala: Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia, 2001.

24. La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina e ITDG, Intermédiate Technology Development Group. **Los Desastres no son naturales**. Colombia: Armada Electrónica, Tercer Mundo Editores, 2005.
25. Ligorria, Juan Pablo. **Seismic Hazard for Guatemala Technical Report 2-21 NORSAR**. Guatemala: Unidad de geofísica del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología en cooperación con NORSAR, 1995.
26. MICIVI, Acuerdo Ministerial 1686-2007, Ministeria de Infraestructura y Vivienda, Guatemala 2007.
27. Molina, Enrique y otros. **Amenaza sísmica en el valle de la ciudad de Guatemala, reporte técnico preliminar**. Guatemala: Unidad de geofísica del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología en cooperación con NORSAR, 1999.
28. Monzón Despang, Héctor. “La construcción y el uso del terreno en Guatemala, su vulnerabilidad sísmica”. **XX Aniversario del terremoto de 1976**. (Guatemala): 107. 1996.
29. Municipalidad de Guatemala, Dirección de Catastro y Administración IUSI, Departamento de Cartografía.
30. Naciones Unidas. Vivir con el Riesgo, Informe Mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres. 2004
31. **OPS, Fundamentos para la mitigación de Desastres en Establecimientos de Salud**, Pan American Health Organization PAHO, Organización Panamericana de la Salud OPS, 1999.
32. Organización Panamericana de la Salud. **Mitigación de desastres en las instalaciones de salud. Aspectos de Ingeniería**. (Washington) (4). 1993.
33. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. **Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud. Series Mitigación de desastres**. Washington: United States Government Printing Office, 2006.
34. Pixtún España, Isaías, Manual de Uso de la Base de datos “Evaluaciones” para realizar estudios de Vulnerabilidad Estructural por amenaza Sísmica. Trabajo de Graduación de Facultad de Ingeniería Civil, Universidad San Carlos de Guatemala 2007.

35. Quiñones, Javier. “Vulnerabilidad de viviendas construidas con mampostería no reforzada en Guatemala”. XX Aniversario del terremoto de 1976. (Guatemala): 137.1996.
36. Rojahn, Christopher y otros. “Earthquake Damage and Loss Estimation Methodology and Data for Salt Lake County, Utah” Earthquake Spectra. (University of California, Berkley) (Volume 13, number 4): 625. 1997.
37. **Simposio internacional sobre el terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción.** Tomos I y II. Guatemala, s.a.
38. Tobar, C. y otros. **Evaluación de la amenaza sísmica para la ciudad de Guatemala.** Guatemala: Centro de Estudios Superiores en Energía y Minas, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1993.
39. Villagrán, Mario G. y otros. **Seismic Hazard Assessment for Guatemala City.** Guatemala: INSIVUMEH, 1994.
40. Unidad de Planificación, Oficina de Lingüística, USAC. **Especificaciones formales para el trabajo de graduación.** Guatemala: Editorial Universitaria, 2000. 27pp.
41. Unidad de Planificación, Oficina de Lingüística, USAC. **Reglamento de trabajos de graduación.** Guatemala: Editorial Universitaria, 2000. 16pp.

