



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

**EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO DE LAS PRINCIPALES EDIFICACIONES
PÚBLICAS DE LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA**

Christian Steve Legrand Oliva

Asesorado por el Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda

Guatemala, octubre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO DE LAS PRINCIPALES EDIFICACIONES
PÚBLICAS DE LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CHRISTIAN STEVE LEGRAND OLIVA

ASESORADO POR EL ING. DANIEL ALFREDO CRUZ PINEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

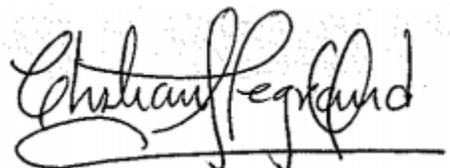
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO DE LAS PRINCIPALES EDIFICACIONES PÚBLICAS DE LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el día 10 de abril de 2013.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Christian Steve Legrand Oliva', written in a cursive style.

Christian Steve Legrand Oliva

Guatemala, Agosto de 2,014.

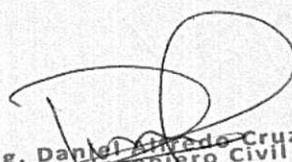
Ingeniero
Wuilliam Ricardo Yon Chavarria
Jefe del departamento de Planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil
U.S.A.C.
Ciudad Universitaria

Estimado Ingeniero Yon:

Tengo el gusto de informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado: **“Evaluación de Riesgo Sísmico de las Principales Edificaciones Publicas de la cabecera Municipal de San Marcos, Guatemala”** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Christian Steve Legrand Oliva, para el cual fui nombrado asesor.

Considero que su contenido llena los requisitos establecidos al tema, razón por la cual apruebo el trabajo realizado.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente.


F. ~~Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda~~
~~Ingeniero Civil~~
~~Col. 9613~~
Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
Asesor



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,

16 de septiembre de 2014

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO DE LAS PRINCIPALES EDIFICACIONES PÚBLICAS DE LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Christian Steve Legrand Oliva, quien contó con la asesoría del Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC

Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarria
Jefe del Departamento de Planeamiento

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Contínua





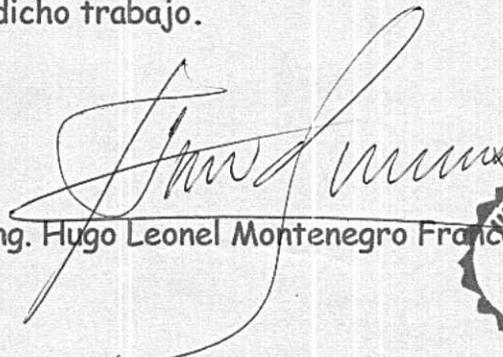
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría, al trabajo de graduación del estudiante Christian Steve Legrand Oliva, titulado EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO DE LAS PRINCIPALES EDIFICACIONES PÚBLICAS DE LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2014.

/bbdeb.

PROGRAMA DE
INGENIERIA

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 553.2014

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: **EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LAS PRINCIPALES EDIFICACIONES PÚBLICAS DE LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN MARCOS, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Christian Steve Legrand Oliva**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 17 de octubre de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por haberme dado una vida maravillosa, en la cual se me concedieron las capacidades que me permiten alcanzar este logro y por darme la fuerza para superar los obstáculos.

Mi mamá

Dora Elizabeth Oliva Recinos de Legrand, por ser mi guía, mi más grande ejemplo, la mejor de las madres y quien me inculcó que todos los sueños se alcanzan trabajando por ellos. Sé que siempre estas apoyándome, este triunfo es tuyo.

Mi papá

Mario Rolando Legrand Cabrera, por enseñarme que siempre se debe luchar para superarse a uno mismo y por el valor mostrado para seguir adelante, me ha servido de ejemplo.

Mis hermanos

Mario Rolando y Lester Eduardo Legrand Oliva, por ser no solo mis hermanos sino mis amigos, les deseo lo mejor en sus vidas. Espero que se sientan orgullosos de mí así como yo de ustedes.

Mi tía

Alba Ernestina Oliva Recinos, por sus oraciones que nunca me faltaron, su confianza incondicional en mí. Desde el cielo seguirás cuidándome.

Mi abuela

Berta Leonor Recinos Fuentes de Oliva, su cariño y apoyo fueron fundamentales para lograr esta meta, tu recuerdo ilumina mi vida.

Mi abuelo

Cecilio Oliva Chacajón, gracias por heredarme tu talento. Guardaré tu recuerdo por siempre.

Mi familia

Con mucho cariño a mis tíos, tías y primos por su apoyo y motivación.

Mis amigos

Por haber compartido conmigo durante años esta serie de retos y principalmente por haber forjado en mí sinceros lazos de amistad que durarán toda la vida.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la bendición de culminar mis estudios, por estar conmigo y mi familia en cada momento de nuestra vida.
- Mis padres** Por su amor y apoyo incondicional a lo largo de estos años y porque son ejemplo de fortaleza, paciencia y sobre todo de cariño incondicional. Dios los bendiga siempre.
- Mis hermanos** Por brindarme su apoyo y cariño incondicional será algo que siempre recordaré.
- Ing. Daniel Cruz Pineda** Por haberme acompañado pacientemente durante el proceso de elaboración de este documento y haberme brindado su tiempo y apoyo. Dios lo bendiga a usted y su familia.
- Facultad de Ingeniería** Por darme la oportunidad de haber recibido una formación académica profesional y hoy ser un orgulloso ingeniero y ser parte de esta querida Facultad.

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de estudios que me formó como profesional y haberme permitido vivir en ella etapas tan importantes que contribuyeron a mi crecimiento personal.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. RESEÑA HISTÓRICA SISMOLÓGICA, ASPECTOS GENERALES DEL LUGAR Y DEFINICIONES	1
1.1. Sismología en el mundo	1
1.2. Sismología en Guatemala.....	12
1.3. Aspectos generales del departamento de San Marcos, Guatemala.....	18
1.3.1. Suelos.....	20
1.3.2. Clima	22
1.3.3. Hidrología	22
1.3.4. Precipitación promedio anual	23
1.3.5. Densidad de la población.....	23
1.3.6. Ambiente socioeconómico y social.....	25
1.3.7. Historial sísmico de San Marcos	27
2. INFRAESTRUCTURAS.....	33
2.1. Tipología estructural del sector	34
2.1.1. Escuelas y colegios	45
2.1.2. Hospitales y centros de salud	48

	2.1.3.	Iglesias	50
2.2.		Principales edificaciones públicas	52
	2.2.1.	Palacio Maya	53
	2.2.2.	Centro de salud	55
	2.2.3.	Dirección Departamental de Educación	56
	2.2.4.	Policía Nacional Civil	58
	2.2.5.	Complejo Nacional Deportivo de San Marcos.....	60
	2.2.6.	Edificio de Gobernación Departamental de San Marcos	62
3.		RIESGO SÍSMICO.....	65
3.1.		Vulnerabilidad sísmica	70
	3.1.1.	Datos obtenidos	71
	3.1.2.	Cálculo del índice de vulnerabilidad estructural en viviendas	77
	3.1.3.	Cuantificación de daños potenciales	80
	3.1.4.	Mapeo	82
	3.1.5.	Índice de vulnerabilidad en viviendas del sector	83
3.2.		Amenaza sísmica	85
	3.2.1.	Actividad sísmica local	86
	3.2.2.	Educación sísmica local	89
	3.2.3.	Implementación de parámetros sísmicos.....	90
	3.2.4.	Otros factores de importancia.....	92
4.		RESULTADOS ESPERADOS	95
4.1.		Deficiencias estructurales observadas en el sector	95
	4.1.1.	Daños en edificaciones de adobe	95
	4.1.1.1.	Pocas posibilidades de refuerzo del adobe	98

4.1.2.	Daños en edificaciones de mampostería confinada	100
4.1.2.1.	Configuración estructural deficiente ...	105
4.1.2.1.1.	Casas de esquina.....	105
4.1.2.1.2.	Estructuras tipo túnel...	108
4.1.2.1.3.	Efectos de columna corta	109
4.1.3.	Daños en antiguas estructuras de mampostería confinada	111
4.1.4.	Daños en estructuras de concreto reforzado.....	117
4.1.5.	Daños en estructuras medianas.....	119
4.2.	Trabajos realizados por CONRED, dedicados al riesgo sísmico	122
4.3.	Mapa de grado de vulnerabilidad estructural del sector estudiado.....	124
4.4.	Calificación dada a los edificios según su funcionalidad	127
4.5.	Riesgo sísmico determinado según importancia local.....	140
4.5.1.	Construcción menor	141
4.5.1.1.	Mampostería con refuerzo.....	142
4.5.2.	Construcción antigua basada en técnicas obsoletas	143
4.5.2.1.	Refuerzo preventivo	144
4.5.3.	Construcción nueva diseñada inadecuadamente ..	144
5.	PROPUESTA DE MEJORAS	145
5.1.	Plan de mitigación para el diseño estructural en edificaciones.....	145
5.1.1.	Configuración en planta y elevación.....	146
5.1.2.	Concentración de masa	151

5.1.3.	Pisos suaves	153
5.1.4.	Diafragmas flexibles	155
5.1.5.	Centro de masa y rigidez.....	158
5.1.6.	Derivas	160
5.2.	Plan de mitigación en función de daños en infraestructura....	168
5.2.1.	Estructuras de mampostería no reforzada	168
5.2.2.	Estructuras de mampostería reforzada.....	173
5.2.3.	Estructuras de concreto.....	175
5.2.4.	Estructuras de madera	176
5.3.	Plan de mitigación en función de la información y conocimiento del riesgo sísmico determinado	177
5.4.	Plan de mitigación en función a códigos de construcción sismo resistente	183
5.4.1.	Códigos, normas y reglamentaciones de edificaciones.....	184
5.4.2.	Requisitos estructurales actuales	188
5.4.3.	Discusión sobre Normas NSE-4 y NSE-6	191
5.4.4.	Discusión sobre códigos de construcción existentes en Guatemala	193
5.4.5.	Filosofías modernas del diseño sismo resistente..	196
CONCLUSIONES		201
RECOMENDACIONES		203
BIBLIOGRAFÍA		207

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Origen de un terremoto	2
2.	Tipos de fallas	3
3.	Cinturón de Fuego	8
4.	Placas tectónicas en Guatemala	14
5.	Terremoto en Guatemala	15
6.	Sismicidad 2012 en Guatemala.....	17
7.	San Marcos, Guatemala.....	19
8.	Terremoto en San Marcos 2012.....	28
9.	Epicentro del terremoto en San Marcos 2012	29
10.	Réplicas del terremoto en San Marcos 2012.....	30
11.	Centro urbano en San Marcos 2012.....	34
12.	SERLF tipos estructurales.....	39
13.	Marcos de acero resistente a momento (A1).....	40
14.	Estructura de madera.....	40
15.	Marcos de acero con muros (A5) (A4).....	41
16.	Relleno de mamposterías no reforzada de corte de concreto	41
17.	Marcos de concreto resistentes a momento (C1)	42
18.	Muros de corte de concreto (C2)	43
19.	Marcos de concreto con muros (C3)	43
20.	Construcción compuesta de relleno de mampostería no reforzada (MNR)	44
21.	Mampostería media (MM) y mampostería superior (MS).....	45
22.	Escuelas de preprimaria en San Marcos	46

23.	Instituto Normal Mixto de Occidente Justo Rufino Barrios.....	47
24.	Escuela Oficial Carlos Castillo Armas	47
25.	Centro de Salud, San Marcos	49
26.	Catedral San Marcos	51
27.	Palacio Maya, San Marcos	54
28.	Reconstrucción del Centro de Salud.....	55
29.	DIDEDUC	57
30.	Comisaría 42, San Marcos	58
31.	Complejo Deportivo, San Marcos	61
32.	Edificio de Gobernación Departamental en San Marcos	63
33.	Formulario de evaluación.....	72
34.	Cuantificación de los tipos de estructuras	75
35.	Uso de estructuras en el área evaluada.....	77
36.	Mapa del área evaluada	83
37.	Zona afectada.....	87
38.	Estimaciones de intensidad en el área afectada según H. Monzón, 2013	88
39.	Compilación de mediciones GPS corticales de los últimos años.....	90
40.	Mapa base de macrozonificación sísmica.....	91
41.	Mapa de aceleración del suelo	92
42.	Espectros de diseño AGIES NSE 2-2010	93
43.	Policía Nacional Civil estructura de adobe con daño severo con falla a corte	96
44.	Mecanismos de falla en estructuras de adobe	97
45.	Características del adobe de limo	99
46.	Mala calidad del block y las mochetas y soleras.....	101
47.	Daño por block de mala calidad.....	102
48.	Concreto deficiente.....	103
49.	Fábrica de block artesanal típica	104

50.	Esquema de la vista en planta	105
51.	Edificación de esquina	106
52.	Configuración estructural inadecuada	106
53.	Estructura de esquina, híbrida.....	107
54.	Estructura tipo túnel	108
55.	Edificación de cuatro niveles	109
56.	Pared externa perpendicular	110
57.	Palacio Maya, San Marcos.....	111
58.	Centro de Salud, San Marcos	113
59.	Elemento intermedio de confinamiento vertical	113
60.	Muro de mampostería de ladrillo dañado	114
61.	Mala calidad del mortero de pega en la mampostería de ladrillo confinado	114
62.	Edificación altamente vulnerable	116
63.	Estación de Bomberos Municipales, San Marcos.....	117
64.	Organismo Judicial de San Marcos	118
65.	Nudo viga-columna	119
66.	Edificio de la Gobernación Departamental de San Marcos.....	120
67.	Tabiques de mampostería dañados	121
68.	Mapa de grado de vulnerabilidad sísmica	125
69.	Mapa de vulnerabilidad sísmica de edificios públicos.....	126
70.	Evaluación Centro de Salud.....	133
71.	Evaluación Dirección Departamental de Educación	134
72.	Evaluación Policía Nacional Civil	135
73.	Evaluación Complejo Deportivo	136
74.	Evaluación edificio de Gobernación	137
75.	Formas sencillas y complejas en elevaciones	147
76.	Formas sencillas y complejas en plantas	147
77.	Formas de plantas	148

78.	Formas irregulares de altura	149
79.	Irregularidades en estructuras	150
80.	Concentraciones de masa	151
81.	Columnas débiles	152
82.	Pisos suaves (vista estructura)	154
83.	Demasiada flexibilidad en el diafragma.....	156
84.	Torsión en la base	157
85.	Centro de masa y rigidez	159
86.	Derivas	160
87.	Muros estructurales en la periferia.....	163
88.	Muros estructurales en interior.....	163
89.	Encamisado.....	165
90.	Soluciones conceptuales	166
91.	Estructura de mampostería no reforzada.....	168
92.	Encamisados de alambre	169
93.	Encamisados con fibras.....	170
94.	Recubrimiento con acero	171
95.	Refuerzo con mochetas y soleras	172
96.	Construcción en suelo de relleno.....	173
97.	Demolición.....	174
98.	Viga fuerte con columna débil.....	175
99.	Mantenimiento de estructura de madera.....	176
100.	Desarrollo de cultura de riesgo	180

TABLAS

I.	Sismos más mortíferos en el mundo	10
II.	Sismos más representativos en Guatemala	13
III.	Municipios de San Marcos	18
IV.	Datos demográficos y poblacionales	24
V.	Aceleración máxima del suelo esperada en Guatemala	68
VI.	Área evaluada	73
VII.	Cuantificación de los distintos tipos de estructuras existentes en el área evaluada	74
VIII.	Estructuras existentes en el área evaluada	76
IX.	Calificación final y grado de vulnerabilidad	78
X.	Índices de vulnerabilidad estructural	80
XI.	Cuantificación de daños	82
XII.	Índice de vulnerabilidad	84
XIII.	Resistencia promedio, departamento San Marcos	104
XIV.	Colores según la vulnerabilidad	124
XV.	Factores modificadores del comportamiento sísmico	128
XVI.	Resultado Palacio Maya	138
XVII.	Resultado Centro de Salud	138
XVIII.	Resultado Dirección Departamental de Educación	138
XIX.	Resultado Policía Nacional Civil	139
XX.	Resultado Complejo Nacional	139
XXI.	Resultado Edificio de Gobernación	139

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Aceleración
Cm	Centímetro
R	Factor de reducción sísmica
Ω_0	Factor de sobre-resistencia sísmica horizontal
MM	Intensidad Mercalli modificada
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
km	Kilómetro
km²	Kilómetro cuadrado
Mc	Magnitud coda
Mw	Magnitud de momento
Ms	Magnitud de superficie
M	Metro
m²	Metro cuadrado
m/seg	Metro sobre segundo
Q	Moneda quetzal
%	Porcentaje
seg²	Segundo cuadrado

GLOSARIO

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.
Análisis estructural	Se refiere al uso de las ecuaciones de la resistencia de materiales para encontrar los esfuerzos internos, deformaciones y tensiones que actúan sobre una estructura resistente, como edificaciones.
Código de Construcción	Este Reglamento rige todas las actividades de construcción, ampliación, modificación, reparación y demolición de edificaciones que se lleven a cabo en la Ciudad de Guatemala y dentro del área de influencia urbana, según el artículo 6º De la Ley Preliminar de Urbanismo, Decreto Presidencial 583.
Configuración estructural	Se refiere a la colocación de los diferentes elementos estructurales en planta y elevación

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.
Diseño estructural	Proceso creativo mediante el cual se le da forma a un sistema estructural para que cumpla una función determinada con un grado de seguridad razonable y que en condiciones normales de servicio tenga un comportamiento adecuado.
Edificación	Fabricar, hacer un edificio o mandarlo construir.
Elemento estructural	Es cada una de las partes diferenciadas aunque vinculadas en que puede ser dividida una estructura a efectos de su diseño. El diseño y comprobación de estos elementos se hace de acuerdo con los principios de la ingeniería estructural y la resistencia de materiales.
Estructura	Distribución y orden de las partes importantes de un edificio.
Norma	Regla que se debe seguir o a que se deben ajustar las conductas, tareas, actividades, entre otros.
Peligrosidad sísmica	Es la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia de un terremoto.

Período de vibración	Intervalo entre las amplitudes máximas en una onda, se mide en segundos y es el inverso de la frecuencia.
Placa tectónica	Segmento relativamente grande y rígido de la litosfera, que incluye la corteza y la parte superior del manto, que se desplaza sobre la astenósfera, moviéndose en relación a las placas adyacentes. La superficie de la tierra está dividida en unas 17 placas mayores.
Resonancia	Cuando un sistema mecánico sufre una excitación periódica externa, cuya frecuencia de aplicación coincide con la frecuencia natural de oscilación libre del sistema, este entra en vibración, y aumenta la amplitud de oscilación en cada ciclo mientras se aplique la fuerza externa.
Riesgo sísmico	Son las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto.

Sismo	Evento físico causado por la liberación repentina de energía debido a una dislocación o desplazamiento en la corteza terrestre; parte de la energía es irradiada en todas direcciones en forma de ondas elásticas y ondas sísmicas, y es percibido en la superficie como una vibración del terreno denominada “temblor”, cuando no causa daños y “terremoto”, cuando la sacudida es violenta y el evento es destructivo, causando daños severos y víctimas.
Tipología estructural	Sistema de clasificación de estructuras en función de la forma en que transmiten y soportan las cargas que se les aplican.
Vulnerabilidad estructural	Grado de pérdidas físicas y sociales provocadas por el daño al que es susceptible el sistema estructural que mantiene en pie la edificación.
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, entre otros.

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

Este estudio de ingeniería civil aborda el tema de riesgo sísmico. En el primer capítulo se presentan los aspectos generales de los sismos más intensos a nivel mundial y los más representativos de Guatemala. Luego se presentan datos monográficos de la cabecera municipal de San Marcos, Guatemala, lugar donde se realizó dicha investigación. En el capítulo dos, se describe y se presenta la tipología estructural de centros educativos, centros de salud, iglesias y edificaciones públicas.

En el capítulo tres se realiza un estudio de riesgo sísmico para determinar la vulnerabilidad del sector estudiado y la amenaza sísmica que representa para la población. En el capítulo cuatro se presentan los resultados del estudio de riesgo sísmico de las principales edificaciones públicas del lugar. Se describen las características de las construcciones según su tipología estructural para determinar los posibles daños. Se presenta la calificación de la vulnerabilidad sísmica de cada edificación pública.

El capítulo cinco presenta planes de mitigación de riesgo sísmico basado en el diseño estructural de edificaciones, es decir, en función de infraestructura, información y conocimiento y en códigos de construcción.

OBJETIVOS

General

Evaluar el riesgo sísmico de los principales edificios públicos de la cabecera departamental de San Marcos Guatemala.

Específicos

1. Determinar la vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica en elementos materiales encontrados en el sector estudiado, así como estimar el total del área construida susceptible a daños.
2. Determinar factores negativos estructurales típicos y hacer del conocimiento a las autoridades respectivas, sobre las recomendaciones del riesgo estructural encontrado en el sector estudiado.
3. Proponer un plan de mitigación de riesgo sísmico sobre las edificaciones estudiadas de la cabecera municipal de San Marcos.

INTRODUCCIÓN

Se conoce que Guatemala está situada en una zona de gran actividad sísmica. Está ubicada entre una triple unión de placas tectónicas. Esto genera que exista una cadena de volcanes activos y un complejo sistema de fallas geológicas internas que pueden activarse en cualquier momento.

En el país, debido a factores económicos, legislativos y culturales, las edificaciones más propensas a la vulnerabilidad sísmica son las de menor tamaño, por ser construidas, generalmente, de forma empírica, es decir, carecen de un diseño basado en requisitos estructurales, la falta de control en la utilización de materiales de buena calidad, es decir, certificaciones, y la ausencia del criterio de un profesional, acerca de las medidas a tomar según la ubicación y distribución de la construcción. Muchas edificaciones están construidas en orillas de barrancos y laderas que sumado a la precipitación pluvial crean las condiciones propicias para la aparición de desastres, como: desplazamientos del suelo, derrumbes, hundimientos, desplomes, entre otros.

Por tal situación, se ha hecho el estudio de vulnerabilidad estructural en las construcciones de la cabecera municipal de San Marcos, ante la presencia de un fenómeno sísmico con aceleraciones del suelo de $0,4 g = 3,92 \text{ m/seg}^2$, o mayores con una probabilidad de ocurrencia de al menos, una vez en cincuenta años. En dicho departamento se realizó un diagnóstico sobre la tipología estructural de las construcciones como: escuelas, hospitales, viviendas, iglesias entre otros.

Para luego realizar una evaluación específica sobre las deficiencias y configuraciones estructurales de varias edificaciones públicas como: Palacio Maya, Policía Nacional Civil, Complejo Deportivo, Dirección Departamental de Educación y Edificio de Gobernación.

El avance de la tecnología, en muchos países desarrollados ha representado un apoyo para el diseño estructural de grandes edificaciones sismoresistentes con sistemas estructurales más eficientes que permiten disminuir los riesgos humanos y materiales. Sin embargo, en Guatemala, a pesar de estar en una posición geográfica, altamente sísmica, no posee una organización gubernamental específica, para la mitigación de eventos sísmicos, que son frecuentes y representan pérdidas humanas y materiales.

1. RESEÑA HISTÓRICA SISMOLÓGICA, ASPECTOS GENERALES DEL LUGAR Y DEFINICIONES

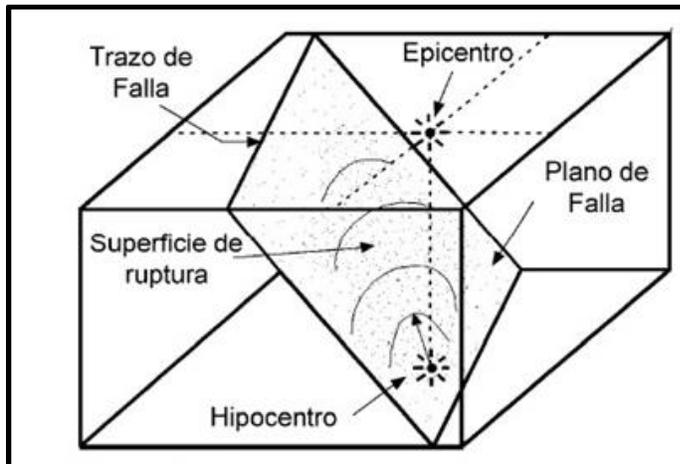
1.1. Sismología en el mundo

La sismología es la ciencia que estudia las causas que producen los terremotos, el mecanismo por el cual se producen y propagan las ondas sísmicas y la predicción del fenómeno sísmico. Desde la óptica de la ingeniería civil lo más relevante es la definición y cálculo de las acciones que el movimiento sísmico aporta a las estructuras (Arqui, 2013).

La historia geológica reciente de la tierra cuenta sobre la lenta transformación del Pangaea hasta la forma que en la actualidad tienen los continentes y los mares. Se cree que hubo al menos 2 super continentes anteriores a Pangaea: Rodinia y Pannotia. Según Lomnitz, representa la historia de la interacción dinámica de las placas tectónicas. Hacia el final del período Paleozoico la tierra estaba formada por un único continente llamado Pangaea y un único mar denominado Panthalassa.

Fue a finales del Paleozoico que se fracturó Pangaea dando lugar a dos nuevos continentes denominados Laurasia y Gondwana, al final del Mesozoico, los continentes tenían ya la forma y posición actuales, habiéndose formado durante el Paleozoico las dos cadenas montañosas: La Caledónica y la Hercínica, debido a las deformaciones ocurridas en las zonas del contorno de los supercontinentes durante su movimiento. La transformación posterior tuvo lugar en el período Cenozoico, durante el cual, los Continentes cambiaron solamente de posición pero conservaron su forma (Arqui, 2013).

Figura 1. **Origen de un terremoto**

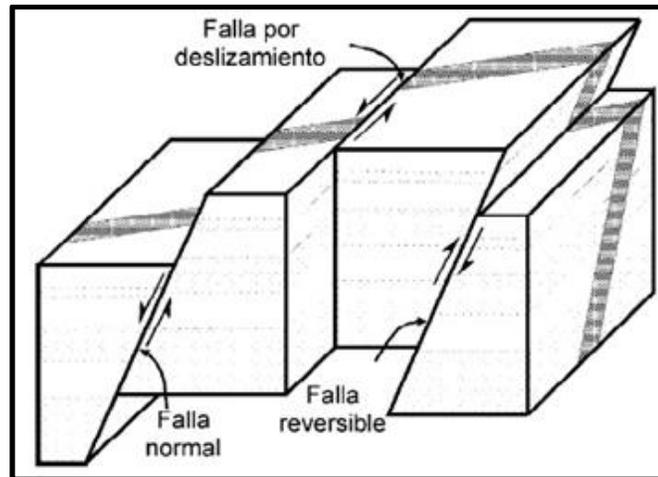


Fuente: elaboración propia, con Adobe Photoshop.

Una de las ramas de la geofísica es la sismología. La sismología utiliza el registro del movimiento del suelo producido por un temblor, para estudiar el origen y propagación de las onda sísmicas. La sismología se enfoca, entre otros fenómenos, en el estudio de maremotos y marejadas asociadas, vibraciones previas a erupciones volcánicas (INSIVUMEH, 2013).

El planeta Tierra está formado por tres capas concéntricas: corteza, manto y núcleo. Cada capa posee propiedades físicas distintas. Estas capas han podido ser detectadas y definidas, a partir del estudio de los registros del movimiento de su superficie, y más concretamente por los estudios de los terremotos.

Figura 2. Tipos de fallas



Fuente: elaboración propia, con Adobe Photoshop.

La corteza es la parte exterior de roca, su espesor puede variar entre los 20 y 100 kilómetros en los continentes y aproximadamente 6 kilómetros en los océanos. El manto tiene un espesor de aproximadamente 2 900 kilómetros que representa por lo menos el 45 % del radio terrestre. Su composición química es muy parecida a la de la corteza, silicatos, pero por las condiciones de presión y temperatura el material es más denso y tiene un comportamiento plástico. El manto se divide en manto superior e inferior. Una discontinuidad denominada de Gutenberg separa el manto del núcleo (INSIVUMEH, 2013).

El núcleo tiene un radio de 3 400 kilómetros aproximadamente, un poco más del 50 % del radio terrestre, la temperatura a esta profundidad se estima entre 4 000 a 5 000 grados Celsius. Por su estado físico el núcleo se divide en: núcleo externo, líquido, responsable del campo magnético terrestre; y núcleo interno en estado sólido.

Por su origen, los sismos se clasifican en naturales o artificiales. Los sismos naturales son los producidos por fallas geológicas (tectónicas), la actividad volcánica y en menor importancia, por agentes meteorológicos tales como el oleaje del mar. Los sismos artificiales son todos aquellos producidos por la actividad del hombre, entre las principales están las explosiones para la exploración minera, explosiones nucleares, microsismicidad producida por fábricas y el tráfico de vehículos pesados.

Los sismos de origen tectónico presentan el mayor peligro o amenaza y se producen por el movimiento relativo entre dos partes de la corteza a lo largo de una falla. En general los fenómenos que estudia la sismología pueden representar eventos adversos y desastrosos cuando sobrepasan la capacidad instalada de respuesta para que no alteren la vida de las personas, los servicios y todo lo que rodea la vida de la sociedad y las naciones.

Las ondas sísmicas que los científicos utilizan para el estudio y predicciones pueden ser de a) de superficie y son las que se propagan únicamente en la corteza terrestre, b) másicas, que se propagan a través de la masa de la tierra y c) libres que son las que se producen en terremotos fuertes y hacen vibrar al planeta en su totalidad. Existen dos formas de medir la intensidad de los terremotos en todo el mundo y son: a) la escala de Richter que se basa en registros sismográficos exactos y b) la escala de Mercalli que se basa en la observación de los daños en las estructuras y terrenos.

La escala de Richter se expresa en números arábigos y representa la energía sísmica liberada, los valores crecen en forma potencial o semilogarítmica de forma que cada punto de aumento puede representar un aumento de energía de diez veces o más. Por ejemplo una magnitud 4 no es el doble de 2 sino que 100 veces mayor. En esta escala no hay un límite máximo teórico, es abierta.

Las magnitudes y los efectos en esta escala se describen a continuación:

- Menos de 3,5, generalmente no son sismos perceptibles pero sí registrados en los sismogramas.
- Entre 3,5 y 5,4 se sienten pero causan daños menores.
- De 5,5 a 6,0 ocasionan daños ligeros a las estructuras.
- Entre 6,1 y 6,9 frecuentemente ocasionan daños severos en áreas muy pobladas.
- De 7,0 a 7,9 es considerado un terremoto mayor que causa daños graves.
- De 8 o más, se conoce como un gran terremoto con terrible destrucción.

Algunos instrumentos utilizados para el estudio de la sismología son los sismómetros electromagnéticos de péndulo que utilizan la tensión inducida por un amplificador eléctrico y un galvanómetro. También se encuentran los registradores fotográficos que dejan marcas del movimiento en función del tiempo y posteriormente los datos son procesados por computadoras.

Los sismógrafos de tensión emplean medidas electrónicas del cambio de la distancia entre dos columnas de hormigón separadas por unos 30 m. Pueden detectar respuestas de compresión y extensión en el suelo durante las vibraciones sísmicas. El sismógrafo lineal de tensión de Benioff detecta tensiones relacionadas con los procesos tectónicos asociados a la propagación de las ondas sísmicas y a los movimientos periódicos, o de marea, de la tierra sólida. Invenciones aún más recientes incluyen los sismógrafos de rotación, los inclinómetros, los sismógrafos de banda ancha y período largo y los sismógrafos del fondo oceánico.

Hay sismógrafos de características similares desplegados en estaciones de todo el mundo para registrar señales de terremotos y de explosiones nucleares subterráneas. La Red Sismográfica Estándar Mundial engloba unas 125 estaciones (Mflor).

Para el caso de la escala de Mercalli se manejan las siguientes referencias:

- I, casi nadie lo ha sentido.
- II, muy pocas personas lo han sentido.
- III, temblor notado por mucha gente, sin ser un terremoto.
- IV, se ha sentido en el interior de los edificios.
- V, movimiento sentido por casi todos, pueden verse árboles y postes oscilando.
- VI, sentido por todos, hay pánico, pueden producirse daños leves.
- VII, hay pánico, daños de todo tipo, según las estructuras.
- VIII, derrumbe de estructuras.
- IX, todas las estructuras muy dañadas y desplazamientos con grietas en el suelo.

- X, mucha destrucción y muchas grietas en el suelo.
- XI, derrumbe de la mayoría de las estructuras, lo que incluye puentes y grietas amplias en el suelo.
- XII, destrucción total con ondulaciones en el suelo.

Ambas escalas permiten describir en forma cuantitativa los terremotos. En la actualidad los países que más invierten y apoyan las investigaciones sismológicas son China, Japón y Estados Unidos.

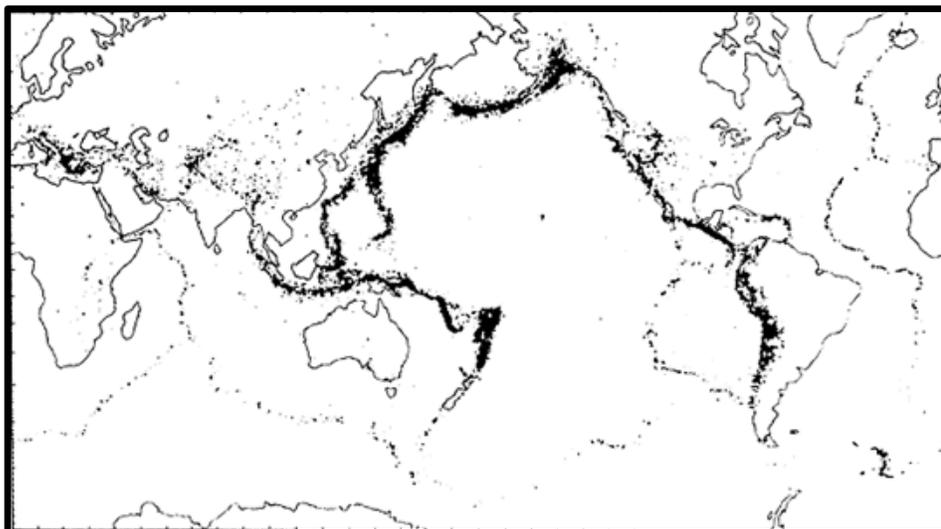
Los tipos de fallas más comunes de la corteza terrestre son:

- Falla normal, que corresponden a las zonas donde la corteza terrestre está en extensión y uno de los dos bloques se desliza hacia abajo y
- Las fallas invertidas en las que pueden darse deslizamientos hacia abajo y hacia arriba.
- Las de deslizamiento horizontal, que se da entre los bordes de las fallas.

Los avances tecnológicos y de instrumentos matemáticos y físicos de los últimos años han permitido la predicción de algunos terremotos debido a la identificación de sacudidas precursoras detectadas incluso años antes. Las predicciones aún no se consideran como algo acertado para promover las evacuaciones, sin embargo, actividades simples como la observación de los niveles de agua en los pozos, el comportamiento de los animales, los cambios del campo magnético terrestre y las inclinaciones de las superficies terrestres permiten hacer algunas predicciones efectivas.

La principal actividad sísmica en el mundo se desarrolla en el cinturón de fuego del Pacífico está situado en las costas del océano Pacífico, se extiende sobre 40 000 km y tiene la forma de una herradura. Se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca: Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Centroamérica, México, parte de Argentina, Bolivia, EEUU y Canadá; dobla a la altura de las Islas Aleutianas y baja por las costas e islas de Rusia, Japón, Taiwán, Filipinas, Indonesia, Papúa Nueva Guinea y Nueva Zelanda. Tiene 452 volcanes y concentra más del 75 % de los volcanes activos del mundo.

Figura 3. **Cinturón de Fuego**



Fuente: www.dw.de. Consulta: noviembre de 2013.

El lecho del océano Pacífico reposa sobre varias placas tectónicas que se encuentran en permanente fricción y, por ende, acumulan tensión. Cuando esta se libera, origina terremotos en los países del cinturón.

En esta zona las placas de la corteza terrestre se hunden a gran velocidad (varios centímetros por año) y acumulan enormes tensiones que deben liberarse en forma de sismos. Tiene 452 volcanes y concentra más del 75 % de los volcanes activos e inactivos del mundo. Alrededor del 90 % de los terremotos del mundo y el 80 % de los terremotos más grandes del mundo se producen a lo largo del Cinturón de Fuego.

La segunda región más sísmica (5-6 % de los terremotos y el 17 % de terremotos más grandes del mundo) es el cinturón Alpide, el cual se extiende desde Java a Sumatra a través del Himalaya, el Mediterráneo hasta el Atlántico. Es la cadena de montañas que se extiende a lo largo de la margen sur de Eurasia. Se extiende desde Java a Sumatra, a través del Himalaya, el Mediterráneo, hasta el Atlántico.

El cinturón de la dorsal Mesoatlántica es la tercera región más sísmica. También conocida como dorsal Media del Atlántico o dorsal dioatlántica, es una cordillera volcánica sumergida que biseca el océano Atlántico a lo largo de su eje norte-sur. La cadena montañosa cubre la parte media de la cuenca oceánica a lo largo de 15 000 km a través del Atlántico norte y del Atlántico sur, desde Islandia en el norte hasta un punto situado a 7 km al este del extremo meridional de Sudamérica.

La dorsal, que forma parte de una cordillera volcánica sumergida que envuelve la tierra (con una longitud próxima a los 65 000 km), rompe la superficie oceánica en varios lugares, dando lugar a la existencia de siete islas o grupos de islas. De norte a sur, estas islas son Islandia, Azores, San Pedro y San Pablo, Ascensión, Santa Elena, Tristán da Cunha y Bouvet; todas ellas, excepto San Pedro y San Pablo, son islas volcánicas en su origen. La mayor parte de la dorsal se extiende, no obstante, en torno a unos 3 000-5 000 m por debajo de la superficie oceánica. Desde el lecho marino, las montañas se alzan generalmente entre unos 1 000 y unos 3 000 m de altura dentro de las aguas del Atlántico y se extienden a lo ancho alrededor de 1 500 km de Este a Oeste desde su base.

Los sismos más mortíferos registrados en todo el mundo y que tuvieron una magnitud de por lo menos 8,5 grados se listan a continuación:

Tabla I. **Sismos más mortíferos en el mundo**

22 de mayo de 1960	Un terremoto de magnitud 9,5 en el sur de Chile y el subsiguiente tsunami mataron por lo menos a 1 716 personas.
27 de marzo de 1964	Un terremoto de magnitud 9,2 en Prince William Sound, Alaska y el subsiguiente maremoto mataron a 128 personas.
26 de diciembre de 2004	Un sismo de magnitud 9,1 frente a la isla Indonesia de Sumatra desató un tsunami que mató a 226 000 personas en 12 países, incluyendo 165 700 en Indonesia y 35 400 en Sri Lanka.
13 de agosto de 1868	Un terremoto de magnitud 9 en Arica, Perú (ahora Chile) generó maremotos catastróficos; más de 25 000 personas murieron en Sudamérica
26 de enero de 1700	Un terremoto de magnitud 9,0 estremece el norte de California, Oregón, Washington y la Columbia Británica en Canadá, y provoca un tsunami que causa destrozos en aldeas japonesas.

Continuación de la tabla I.

4 de noviembre de 1952	Un movimiento telúrico de magnitud 9,0 en Kamchatka causa daños pero no muertos, pese a levantar olas de 9,1 metros (30 pies) en Hawái.
31 de enero de 1906	Un sismo de magnitud 8,8 frente a la costa de Ecuador y Colombia generó un tsunami que mató a 500 personas.
27 de febrero del 2010	Un terremoto de magnitud 8,8 sobreviene frente a la costa de Chile. Mata a un número aún indeterminado de personas y provoca un tsunami que se desplaza por el Pacífico.
1 de noviembre de 1755	Un terremoto de magnitud 8,7 y el subsiguiente maremoto en Lisboa mataron a unas 60 000 personas y destruyeron la capital portuguesa.
3 de julio de 1730	Un sismo de magnitud 8,7 en Valparaíso, Chile, mató por lo menos a 3 000 personas.
15 de agosto de 1950	Un terremoto de magnitud 8,6 en Assam, Tíbet, mató a 780 personas
28 de marzo del 2005	Un movimiento telúrico de magnitud 8,6 en el norte de Sumatra, Indonesia, mata a unas 1 300 personas.
15 de junio de 1896	Un sismo de magnitud 8,5 en Sanriku, Japón, causó un tsunami que mató por lo menos a 22 000 personas.
11 de noviembre de 1922	Un terremoto de magnitud 8,5 en la frontera entre Chile y Argentina mató a varios centenares de personas.
7 de noviembre de 1837	Un sismo de magnitud 8,5 en Valdivia, Chile generó un tsunami que mató por lo menos a 58 personas en Hawái
7 de octubre de 1687	Un terremoto de magnitud 8.5 en Lima destruyó gran parte de la capital peruana.

Fuente: elaboración propia.

1.2. Sismología en Guatemala

El globo terráqueo no es una masa sólida, la ciencia demuestra que está dividido en varios fragmentos o bloques gigantescos que se unen y separan como un rompecabezas. A estos grandes bloques se les conoce como placas tectónicas que atraviesan a Guatemala y son:

- Placa Norteamericana, que va desde la ribera norte del río Motagua hasta Alaska.
- Placa Caribeña, que va desde la ribera del sur del río Motagua hasta Panamá.
- Placa de Cocos, que es la más pequeña de las tres y que viene del Océano Pacífico y que choca contra la Caribeña provocando un efecto especial geológico conocido con el nombre de subducción. La subducción es el proceso por el cual una placa tectónica se mete por debajo de otra con un determinado ángulo, profundizándose hasta alcanzar su punto de fusión generando movimientos sísmicos y actividades volcánicas.

Los eventos sísmicos del siglo XX en Guatemala de más relevancia fueron los siguientes:

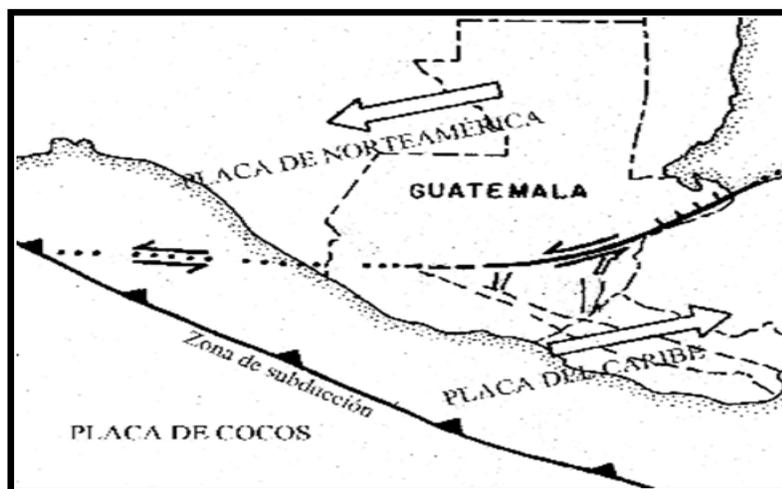
Tabla II. **Sismos más representativos en Guatemala**

ACTIVIDAD SÍSMICA EN GUATEMALA	
18 de abril de 1902	Afectando primordialmente a Quetzaltenango y Sololá. La magnitud del evento fue de 7,5.
8 de marzo de 1913	No se tiene localización exacta del epicentro de este evento, afecto a Cuilapa, Santa Rosa.
27 de noviembre de 1917	Cercano a la capital y con más presencia en el Municipio de Villa Nueva, en su momento se confundió por los habitantes como actividad volcánica del Pacaya.
4 de enero de 1918	Dos eventos sísmicos, se reportaron más de 250 personas muertas y muchos daños a infraestructura.
11 de enero de 1918	Actividad sísmica catalogada en 9 grados en la escala de Rossi Forel, T. C. Morris experto en la materia.
6 de agosto de 1942	Se reportan daños en Amatitlán, Villa Nueva, San Pedro Sacatepéquez, San Juan Sacatepéquez con 8,3 grados.
20 de febrero de 1959	Característico por afectar el norte del país, con estragos en Ixcán, Quiché.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a datos proporcionados por el Instituto de Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, también conocido como INSIVUMEH. En Guatemala los primeros sismógrafos mecánicos fueron instalados en 1925 y fue en los años 70's que Estados Unidos inició un proyecto geológico en Guatemala con la idea de vigilar los volcanes activos. Con la iniciativa del mismo proyecto se instalaron sismoscopios en diversos lugares dentro del territorio nacional.

Figura 4. **Placas tectónicas en Guatemala**



Fuente: www.insivumeh.gob.gt/geofisica. Consulta: octubre de 2013.

El 4 de febrero de 1976, Guatemala experimentó un terremoto que motivo al Gobierno a crear el INSIVUMEH y la Red Sismográfica Nacional, en esta iniciativa estuvieron involucradas otras entidades como el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) por el acceso directo que tiene a los proyectos hidroeléctricos de Chixoy y Chulac.

Figura 5. Terremoto en Guatemala



Fuente: Prensa Libre 1976.

Como iniciativa adicional en 1989 se creó el Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC) y dio inicio a un programa que buscaba fortalecer los centros sismológicos de la región. Años más tarde en Guatemala se emitió el Decreto Legislativo número 109-96 que contiene la Ley de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres y surge como una iniciativa que responde directamente a las características del territorio guatemalteco, derivadas de su posición geográfica y

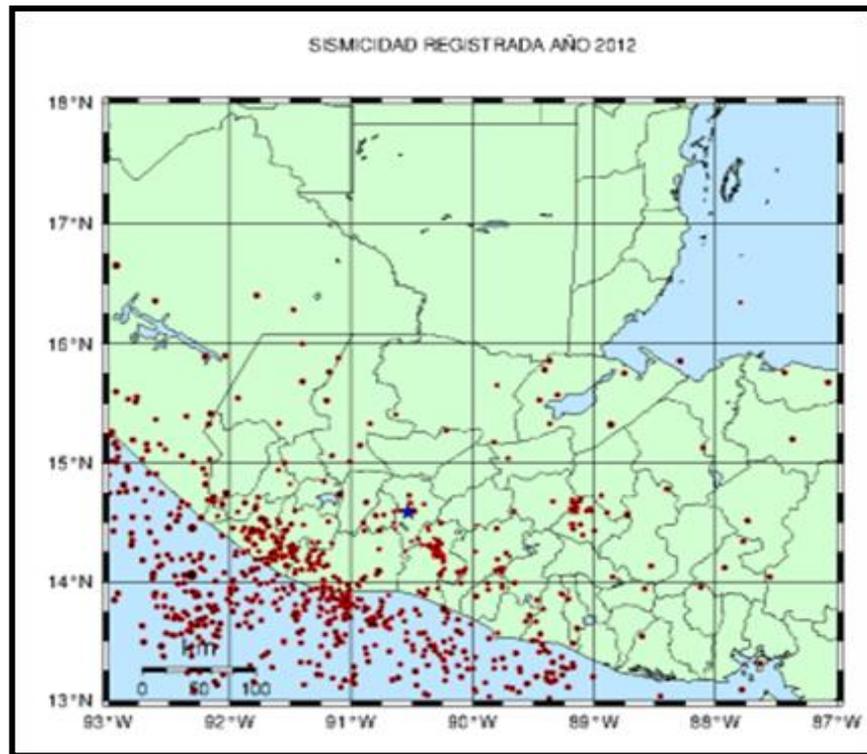
geológica, las cuales hacen susceptible al país a la ocurrencia periódica de fenómenos generadores de desastres que con su caudal de pérdidas de vidas humanas, materiales y económicas provocan la paralización y retraso del desarrollo (Congreso de la República de Guatemala, 1996).

El marco legal en el que operan la Coordinadora Nacional, el Consejo Nacional, la Junta Ejecutiva, la Secretaría Ejecutiva y las coordinadoras regionales, departamentales, municipales y locales dentro de sus funciones en el proceso de la reducción de desastres se rigen por la Ley mencionada anteriormente en cuanto a todas sus actividades, funciones, atribuciones y deberes. El INSIVUMEH, CONRED y todas las otras organizaciones antes nombradas se coordinan e involucran para el estudio y atención de los fenómenos sísmicos en Guatemala.

En el transcurso del 2012, la Red Sísmica Nacional ha registrado los eventos sísmicos ocurridos en el territorio nacional y las regiones aledañas. En total se reportaron 73 sismos sensibles hasta antes del 7 de noviembre, la mayoría ubicada en el área gobernada por la subducción en el pacífico y en los sistemas de fallas entre la del Motagua y el arco volcánico. De estos, alrededor de 13 se reportaron sensibles en la zona sur-occidental y occidental del país, sin que estos hayan sido estrictamente premonitores del sismo del 7 de noviembre.

Como actividad sobresaliente se tuvo el enjambre sísmico en la región que comprende el departamento de Chiquimula (específicamente en el municipio de Esquipulas) y la frontera con Honduras.

Figura 6. **Sismicidad 2012 en Guatemala**



Fuente: www.insivumeh.gob.gt. Consulta: octubre de 2013.

El (INSIVUMEH, 2013) ha determinado que el contacto entre las placas de Norteamérica y Caribe es transcurrente y sus principales manifestaciones son las fallas conocidas como Chixoy, Polochic y Motagua. Para el caso de las placas Cocos y Caribe el contacto es de tipo convergente en el cual la Placa de Cocos hace subducción con la Placa del Caribe dando como resultado un gran número de eventos y formaciones volcánicas. La ubicación física de estas placas es frente a las costas del océano Pacífico.

Como consecuencia de los movimientos tectónicos descritos anteriormente se generan deformaciones interiores en la placa del Caribe y fallas secundarias como las de Jalpatagua, Mixco y Santa Catarina Pinula, entre otras.

1.3. Aspectos generales del departamento de San Marcos, Guatemala

Se encuentra situado en la región sur occidente de Guatemala y posee una extensión territorial de 3 791 kilómetros cuadrados. Colinda con Huehuetenango al norte, con Quetzaltenango al este y con Retalhuleu al sur. Con México al oeste, las coordenadas de su ubicación son 14 57 40 norte y 91 47 44 este. Los municipios que lo integran son los siguientes:

Tabla III. **Municipios de San Marcos**

Ayutla	El Tumbador	Nuevo Progreso	San Pablo
Concepción Tutuapa	San Rafael Pie de la Cuesta	San Antonio Sacatepéquez	San Pedro Sacatepéquez
Comitancillo	La Reforma	Ixiguan	San Cristóbal
Catarina	Malacatán	Río Blanco	San Sibinal
El Quetzal	Pajapita	San Lorenzo	Sipacapa
El Rodeo	Ocós	San Marcos	Tacaná
Esquipulas Palo Gordo	San José Ojetenam	San Miguel Ixtahuacán	Tejutla

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **San Marcos, Guatemala**



Fuente: www.Wikipedia.com. Consulta: octubre de 2013.

Las principales industrias son la textil, maderera y las exportaciones de café (Maps of World, 2005). La historia de Guatemala relata que fue aproximadamente en 1866 que San Marcos recibió su actual categoría de Departamento. La etnia con más representación es la Mam. Las vías de comunicación terrestre son las siguientes: Ruta Nacional 1, 6-W, 12-S, Interamericana CA-2, por ferrocarril en la parte fronteriza con México y marítima por el Puerto de Ocós.

Los datos de la división política de San Marcos demuestran que en promedio tiene una distancia mínima de dos kilómetros y una máxima de 35 kilómetros a los centros poblados. La división administrativa está integrada por la Corporación Municipal, Alcaldías auxiliares, Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODE), Consejo Municipal de Desarrollo (COMUDE) y comisiones de trabajo con base en lo promulgado en el Código Municipal Decreto Número 12-2002 del Congreso de la República de Guatemala (Reynaldo Carlos Bámaca, 2011).

1.3.1. Suelos

San Marcos presenta suelo con pendientes leves a pronunciadas con pocas partes planas y semiplanas, predomina una topografía accidentada en donde la erosión hídrica ha causado el desgaste pronunciado del suelo.

Los suelos son utilizados para la explotación de cultivos (hortalizas, granos básicos y frutas), en su mayoría los pobladores cultivan granos básicos como maíz y frijol para la subsistencia familiar. Dadas las condiciones de pobreza, fertilidad y topografía de los suelos. En San Marcos pueden observarse suelos arcillosos y pedregosos con topografía escarpada en su mayoría. Los territorios planos y ondulados no son la mayoría. Existen materiales geológicos y subyacentes que conforman el suelo, en especial de clase II en el altiplano central y poseen suelos profundos sobre materiales volcánicos, con relieve inclinado y poco profundos desarrollados sobre rocas (Fundación Sierra Madre - FSM, 2005).

Los minerales encontrados en el suelo de San Marcos son oro, titanio y carbón. De acuerdo a los datos recopilados un aproximado de 4 479 hectáreas que representa un 37 % del suelo es destinado a bosque y cerca de 3 500 hectáreas se utilizan para cultivos. San Marcos se asienta sobre terrenos volcánicos pertenecientes a la unidad fisiográfica de las tierras altas volcánicas y muestran cierto grado de variabilidad. En su gran mayoría se trata de suelos poco profundos, con fertilidad media o escasa y con textura arenosa.

Los pobladores manifiestan que los suelos que rodean la cabecera departamental son los únicos con buenos índices de fertilidad y con una profundidad superior a 100 centímetros.

Se reconoce la existencia de dos clases agrológicas de suelos en San Marcos y son (Departamento de Agricultura de USA - USDA, 2002):

- De clase III, que son suelos medianamente buenos, situados sobre pendientes moderadas con riesgo severo a erosión y de poca fertilidad.
- De clase VII, que son suelos sujetos a limitaciones permanentes y severas, se caracterizan por ser erosionados, someros y accidentados.
- Grupo II. A. Se define como suelos profundos sobre materiales volcánicos, con el suelo superficial de color café oscuro, textura franco arcillosos y franco arenoso, fino con un espesor aproximado de un metro y drenaje interno, tal es el caso de las aldeas: El Recreo, El Rincón, Las Lagunas y La Federación.
- Grupo II. D. En este grupo se catalogan los suelos con textura arcillosa, rocosa bien marcada, topografía con pendiente fuerte, tal es el caso de las aldeas Barranca de Gálvez, Caxaque, San Sebastián y San Antonio Serchil.
- Grupo IV. Presenta textura arenosa, arcillosa y tierra negra, en bloques y angulares medianos moderadamente desarrollados, la consistencia es suave, la retención de humedad de estos suelos es alta, debido a su alto contenido de arcilla, drenaje normal, erosiones por épocas de lluvia, tal es el caso de las aldeas San Rafael Soche, Canaque, El Bojonal, Santa Lucia Ixcamal, Agua Caliente e Ixtagel.

El uso del suelo en San Marcos está clasificado de la siguiente forma:

- Región sur, se ubica el casco urbano, comercio, servicios con zonas de agricultura y pastos.
- Región norte, uso agrícola y zonas de pasto.
- Región occidente, uso forestal y cuencas hídricas.

1.3.2. Clima

En la región existe la heterogeneidad de climas y es en su mayoría templado. La temperatura promedio es de 12,4 grados Celsius y la máxima promedio es de 19 grados Celsius con una mínima de 5,7 grados Celsius.

1.3.3. Hidrología

El departamento de San Marcos se encuentra ubicado entre tres cuencas hidrográficas: El Naranja, Cuilco y Suchiate. Las cumbres de más de 3 kilómetros de altitud son recorridas por los ríos Agua Escondida, del Horno, Cabus, el Apareadero, Canoa de Piedra, El Nacadero, Chimachiche, Los Soicos, Chisguachin, Chivisgue y riachuelos como Chicá, El Rastrojo, Los Cerezos, El Barrial, Las Ortigas, Telencan y Serchil.

San Marcos cuenta con tres nacimientos de agua y son el Santa Lucía Ixcamal, ubicado en una aldea del mismo nombre, así como el nacimiento Los Arcos ubicado en la aldea San Andrés Chapil y por último el nacimiento Cerro Chil, ubicado en la aldea Serchil, para el 2007 los tres nacimientos producían 30 litros de agua por segundo. Actualmente San Marcos cuenta con una buena cantidad de pozos mecánicos y la administración de los nacimientos y los pozos lo hace la Municipalidad Departamental (De Guate, 2007).

La costa sur del departamento colinda con el océano Pacífico. San Marcos posee los dos volcanes más altos de Guatemala que son el Tajumulco con 4 220 metros de altura y el Tacaná con 4 093 metros de elevación. Son las cumbres más altas de Centro América.

1.3.4. Precipitación promedio anual

Debido a las zonas boscosas y las cuencas que rodean a San Marcos el riesgo de sequía es bajo o muy bajo en el departamento. La precipitación promedio anual es de 2 138 milímetros con 118 días de lluvia entre mayo y noviembre con una presencia de humedad relativa media del 83 % (Reynaldo Carlos Bámaca, 2011). Según datos publicados por la Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) (2001) y datos del (INE, 2002) soportado por los datos de Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAGA en San Marcos para el 2001 la precipitación promedio fue de 1 463,71 milímetros, la máxima fue de 2 874,88 y la mínima de 2 071,79 milímetros.

La precipitación se mide en milímetros lineales en una probeta que recolecta lluvia. Los pluviómetros están diseñados de forma que la medición de un milímetro en la probeta equivale a un litro de lluvia sobre un metro cuadrado de superficie. Desafortunadamente Guatemala no posee estadísticas actualizadas sobre la temática por lo que se publica la información más reciente que pudo encontrarse.

1.3.5. Densidad de la población

La población total del departamento de San Marcos, según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2003) es de 794 951 habitantes, de los cuales el 51 % son mujeres (402 583) y el 49 % restante son hombres (392 368). El grupo de edad predominante está comprendido entre 18 a 59 años y representa el 40 % de la población; seguido de los grupos de 7 a 14 años y 0 a 6 años que representan el 23 % y 33 %, respectivamente. Los municipios en promedio del departamento tienen una densidad poblacional de 248 habitantes por km².

Según el (INE, 2002) los principales datos demográficos y poblacionales son:

Tabla IV. **Datos demográficos y poblacionales**

1	Población área urbana	21,80 %
2	Población área rural	78,20 %
3	Población indígena	31,28 %
4	Población no indígena	68,72 %
5	Pobreza general	86,70 %
6	Pobreza extrema	61,10 %
7	Densidad poblacional	210 habitantes por km ²
8	Tasa de natalidad	40,56 por 1 000 habitantes
9	Tasa de fecundidad	183,27 por 1 000 habitantes
10	Tasa de mortalidad general	0,59 %
11	Tasa de mortalidad infantil	17,40 %
12	Tasa de analfabetismo	46,15 %
13	Tasa de mujeres analfabetas	46,15 %
14	Tasa de hombres analfabetos	53,85 %
15	Población económicamente activa	31,53 %
16	Población económicamente activa mujeres	22,45 %
17	Población económicamente activa hombres	7,55 %
18	Viviendas con servicio de agua	53,00 %
19	Viviendas con servicio de drenaje	12,26 %

Fuente: elaboración propia.

Los idiomas predominantes son el *mam* y español. La feria titular se celebra todos los años del 22 al 28 de abril y su patrono católico es San Marcos Evangelista.

1.3.6. Ambiente socioeconómico y social

En San Marcos un estudio sobre la distribución de las propiedades de la tierra por sexo al 2005 describe que por lo menos el 50 % de los hombres poseen tierras, lo que confirma que las prácticas machistas continúan en esta región del país. Las mujeres como titulares representan un bajo porcentaje y las tienen en usufructo, colonato, ocupada, propia y en arrendamiento. Desde los enfoques sectoriales de la economía se ha dejado de lado la importancia de los emprendimientos femeninos al clasificarlos en categorías como mercado informal y economías de subsistencia y en general al no incluir el registro de sus actividades en las estadísticas oficiales (INE, 2002). La mayor parte de la población habita en el área rural (78 %) en donde se concentran los indicadores de pobreza.

Los registros de las estadísticas oficiales se elaboran con enfoque sectorial, pero que no toman en cuenta la actividad emprendedora ni el trabajo reproductivo que realizan las mujeres. La Universidad Rafael Landívar y ONU Mujeres (Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales - IDIES, 2012) realizó un estudio específico con el fin de:

- Contribuir a visibilizar los emprendimientos femeninos.
- Reconocer los activos (tangibles e intangibles) y saberes de las mujeres.
- Potenciar los emprendimientos femeninos.
- Sensibilizar en los diversos entornos sociales sobre la importancia de la mujer como actora del desarrollo.
- Fortalecer los Centros de Servicios Empresariales para las Mujeres (CSEM) en su trabajo con el desarrollo de las mujeres y sus comunidades.

Y como resultado de este estudio se obtuvo información acerca de los productos que diferentes grupos de mujeres emprendedoras elaboran y promueven, por ejemplo: pollo, marrano y chorizos, longanizas y salchichas, vivero forestal, costuras, faltas, blusas y artesanías, coronas, adornos de ocasión, manteles, sobrefundas, telas típicas, conservas, chiles curtidos en escabeche, mermeladas, reciclaje de papel y cartón, tejidos de punto y algunos productos lácteos como el queso fresco.

La economía marquense se mueve entre los cultivos, el comercio, exportaciones y turismo. Son pocas las oportunidades de empleo, en general el ingreso en cada familia lo genera principalmente el padre y los hijos varones con la labor agrícola. Según los datos recopilados con los pobladores en promedio una familia con seis integrantes percibe Q 600 mensuales. Desde hace más de 30 años la migración hacia los países del norte se ha dado como consecuencia del desempleo, conflicto armado interno, pobreza, violencia, entre otros.

San Marcos cuenta con los servicios básicos e infraestructura como centros de salud, escuelas, energía eléctrica, drenajes, recolección de basura, tratamiento de desechos, letrinas y cementerios (Reynaldo Carlos Bámaca, 2011). Los servicios de energía eléctrica lo provee DEOCSA y la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, para el 2007 el 97 % de las viviendas y otras edificaciones ubicadas en el área urbana poseen el servicio activo y el 3 % restante utiliza otras formas para el alumbrado.

1.3.7. Historial sísmico de San Marcos

San Marcos a lo largo de la historia ha participado activamente en la actividad sísmica debido a la ubicación geográfica y su proximidad a la zona de subducción entre las placas de Cocos, del Caribe y Norteamericana. Los habitantes de San Marcos a través de los años se han acostumbrado a la actividad sísmica y a pesar de tal situación no es mucho lo que se ha hecho para mejorar la técnica y prácticas de construcción. La historia reciente del país registra movimientos de gran magnitud que han cobrado la vida de miles de guatemaltecos y han destruido gran parte de la infraestructura del país. San Marcos ha sido víctima de eventos sísmicos considerables tal es el caso del terremoto de 1942, el día 6 de agosto a las 23:36.98 horas. El cual ha sido el de mayor magnitud hasta la fecha $M_s = 8.3$. Tuvo localización en 13,9 grados latitud norte y 90,8 grados longitud oeste. La profundidad fue de 60 km y causó los siguientes efectos: En la cabecera departamental se dañaron varios edificios públicos, el resto de los municipios lo sintieron pero no reportaron daños.

Uno de ellos fue el terremoto ocurrido el 18 de abril 1902, que causó daños principalmente en los departamentos de Quetzaltenango, San Marcos y Sololá y la muerte de al menos 200 personas. Quince años más tarde, en 1917 y 1918, los terremotos de Santa Marta dejaron el saldo de más de 250 personas muertas. El 6 de agosto de 1942, se registró el de mayor magnitud en la historia de la nación, con 8,3 grados en la escala de Richter.

El más devastador por la destrucción que causó fue el de la madrugada del 4 de febrero de 1976 afectando a San Marcos significativamente, en ese evento el sueño de los guatemaltecos fue interrumpido de golpe por un terremoto de 7,6 grados que causó la muerte de más de 23 mil personas, 76 mil heridos y 3 millones 750 mil damnificados. El terremoto que experimentó en

2012, fue de una magnitud de 7,4 Mw y ocurrió el miércoles 7 de noviembre a las 10:35:47. El epicentro se situó en el océano Pacífico a 35 kilómetros al sur de Champerico.

El sismo fue causado por las tensiones acumuladas en una falla inversa en la zona de subducción que se encuentra a lo largo de la costa del Pacífico de Guatemala, se trata de una zona con una alta sismicidad causada por la placa de Cocos que empuja contra la placa del Caribe y la placa Norteamericana y esta subducida debajo de ellas, formando una zona de subducción marcada por la Fosa Mesoamericana situada a unos 50 kilómetros de la costa del Pacífico de Guatemala.

Figura 8. **Terremoto en San Marcos 2012**



Fuente: INSIVUMEH, 2013.

En la latitud del epicentro del sismo, ubicado cerca de esta triple confluencia tectónica, la placa de Cocos se mueve a una velocidad de aproximadamente 70-80 milímetros por año hacia el noreste con respecto a las placas del Caribe y Norteamericana.

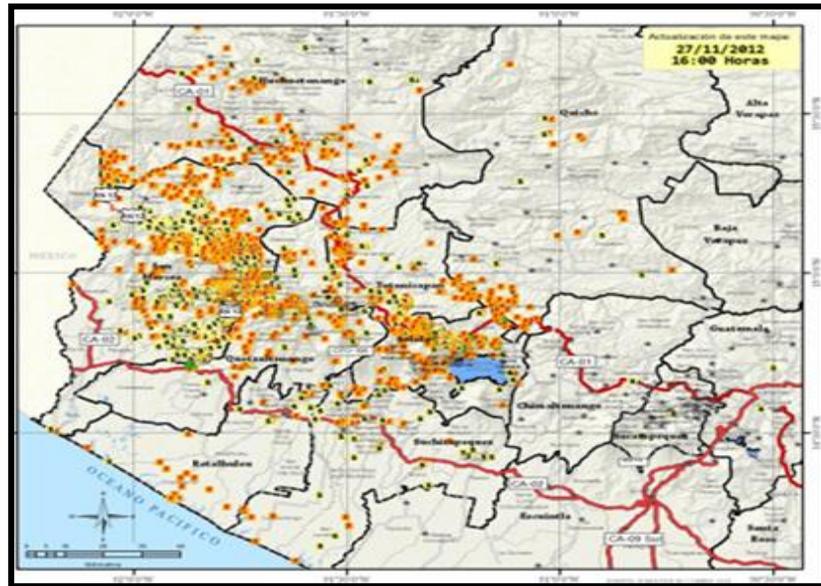
Figura 9. **Epicentro del terremoto en San Marcos 2012**



Fuente: INSIVUMEH, 2013.

Según datos de INSIVUMEH y del USGS, se produjeron más de 180 réplicas con una magnitud de entre 3,5 y 6,5 Mw, de las cuales 5 fueron sentidas en el país, poniendo en riesgo las obras de rescate.

Figura 10. **Réplicas del terremoto en San Marcos 2012**



Fuente: www.conred.gob.gt. Consulta: octubre de 2013.

San Marcos posee dos volcanes que forman parte de la historia sísmica del lugar y son:

- Volcán Tacaná. Durante el período indígena, entre los mames se conoció como Tacnahuyú o Tacnajuyú. Ubicación: Mun. Tacaná, S. M., por donde pasa la línea divisoria con México conforme al Tratado de Límites del 27 septiembre 1882. lat.15°07'54", long. 92°06'30". Durante el período indígena, entre los mames se conoció como Tacnahuyú o Tacnajuyú. En el período hispánico es mencionado también como volcán de Soconusco y en una escritura de compra-venta que se realizó de parte del mercedario Diego de Reinoso a Blas de León Cardona en 1628, como "el volcán que llaman de cresta" V.: Tacaná (municipio).

Es un cono truncado de unos 10 km de diámetro en la base. Su cúspide está formada por una cápsula de lava, al pie de la cual se encuentra una pequeña planicie bordeada por una cresta semicircular. Otras dos planicies o atrios, se encuentran en la falda sureste, respectivamente a unos 3 870 y 3 800 metros de altura, estando en cada una de dichas crestas o son más antiguas, un cráter más joven. En la falda suroeste se encuentra un cráter adventicio elíptico, a unos 190 metros bajo la cima. El cráter de la cima, del cual salió la cúpula, tiene unos 400 metros de diámetro. En la base afloran también tobas, brechas y pómez. El tipo es estratovolcán con cúpula de lava en su cúspide. Nombre geográfico oficial. Volcán Tacaná.

- Volcán Tajumulco, está localizado en el municipio de Tajumulco, departamento de San Marcos y se encuentra a unos 17 km de la frontera con México. Este volcán es el más alto de Guatemala y de Centroamérica. Honduras no tiene volcanes reconocidos. El volcán Tajumulco cuenta con 2 cúspides (Guatemala Volcanes, 2013).

2. INFRAESTRUCTURAS

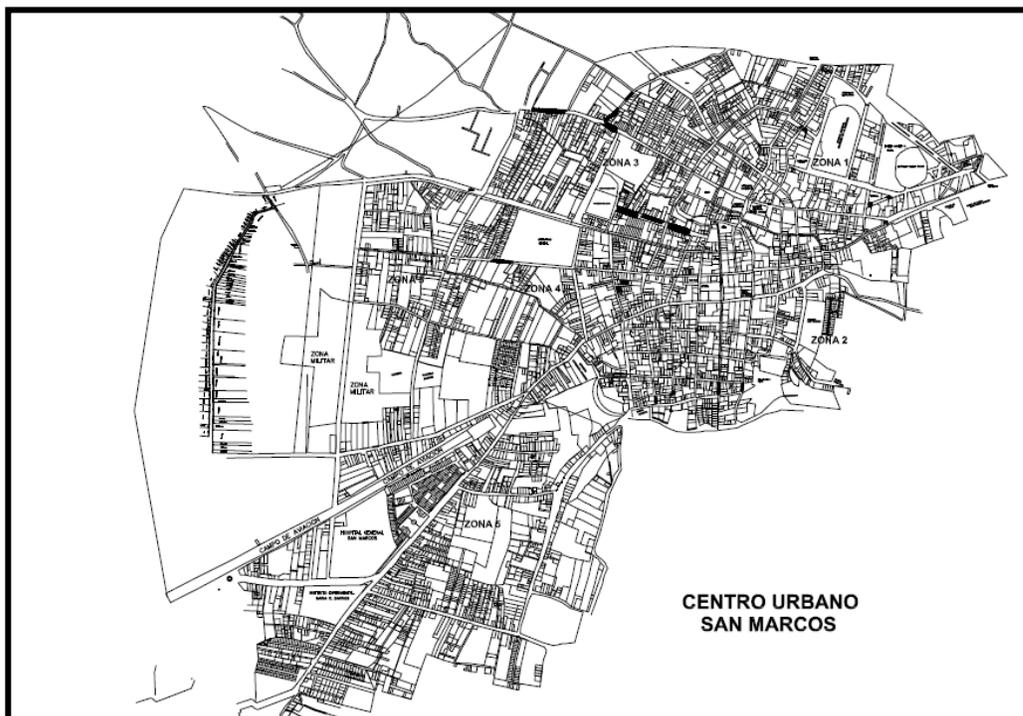
En el ámbito de la ingeniería civil el término infraestructura se refiere a la realización profesional del conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para la creación y funcionamiento de una organización cualquiera (Real Academia Española, 2013).

Las viviendas de adobe con marcos de madera poseen una resistencia mayor y tienen un mejor comportamiento. Tales edificios pueden sufrir daños en los muros fácilmente, mientras el marco de madera permanece intacto debido a su ductilidad. La cabecera de San Marcos posee obras críticas que son las indispensables para el desenvolvimiento socioeconómico de grandes sectores de la población, también se conocen porque al fallar o colapsar ponen en peligro directo o indirecto a gran número de personas.

Se aprecian también obras esenciales que son aquellas que deben permanecer operantes antes, durante y después de un desastre o evento adverso. San Marcos cuenta con un gran número de obras que entran en la categoría de importantes, que son aquellas que albergan un gran número de personas y donde los ocupantes tienen restringido el desplazamiento por ejemplo las obras y edificaciones del Estado que no son esenciales, todos los edificios educativos, públicos y privados, prisiones, museos, todos los edificios de cinco pisos o más, todos los edificios de más de 3 mil metros cuadrados de área interior, teatros, cines, templos, auditorios, mercados, restaurantes, subestaciones eléctricas, líneas de alto voltaje, circuitos de abastecimiento de agua, drenajes colectores, puentes, centrales de telecomunicaciones, entre otros.

Según datos catastrales de la Municipalidad de San Marcos hay por lo menos 1 428 obras ordinarias en las que se incluyen viviendas, comercios, entre otros.

Figura 11. **Centro urbano en San Marcos 2012**



Fuente: Municipalidad de San Marcos, San Marcos, 2013.

2.1. **Tipología estructural del sector**

San Marcos posee en su mayoría construcciones de mampostería media o mixta, las edificaciones son de mediana envergadura y las estructuras que dieron inicio al proceso de urbanización se caracterizan por su elaboración de mampostería no reforzada y artesanal.

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

Las construcciones que aún son de adobe son las más 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 general se evidencia autoconstrucción, que influye directamente en la vulnerabilidad. 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 (Fomento de Hipotecas Aseguradas, 1994), aún hay muchos factores que se escapan del control de estos constructores y de los propietarios, se omiten por facilitar el trabajo, por negligencia o por economía, lo que comúnmente origina malas prácticas, como el uso de materiales

económicos de baja calidad, malas cimentaciones, rellenos mal compactados o con materiales no aptos para relleno, entre otros.

Las construcciones de gran envergadura utilizadas 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. Las construcciones que aún son de adobe, son las más peligrosas, es común encontrar casas en las que el adobe no tiene recubrimiento que le proteja de la intemperie, otras con refuerzos de madera en mal estado, con muros altamente dañados, grietas y muro parcialmente derrumbado.

En las construcciones de uso Municipal y del Estado hay evidencia de planificación y construcción profesional en el 100 % de los casos. A lo largo de la historia San Marcos ha sido afectado por sismos y la población ha optado por evolucionar en los sistemas de construcción, particularmente en los casos de los edificios públicos debido a la mayor disponibilidad de presupuesto, asesoría técnica y también porque se espera que las edificaciones del Estado cumplan con los requisitos mínimos de diseño estructural para la zona sísmica.

El denominador común en las estructuras es el uso de mampostería como sistema tradicional de construcción, mediante la colocación manual de los elementos como por ejemplo ladrillos, adobe, cemento, piedras. A partir de allí la ciudad se organiza en algunos kilómetros a la redonda de esa forma y en las orillas del municipio sigue siendo predominante el paisaje de viviendas con trazos de una ciudad no planificada.

Las construcciones están hechas de adobe sencillo y en el exterior se utiliza mampostería careada. En algunos lugares puede verse el uso de mampostería en seco solo empleando piedras pequeñas o ripio para cercos o muros que definen el perímetro de algunas propiedades. Es notoria la mezcla de materiales antiguos y nuevos utilizados para la construcción. Han dejado de utilizarse las tejas para la elaboración de techos y en su lugar se utilizan láminas aunque las paredes aún sean de adobe. Las casas poseen piso o cemento en el suelo y paredes con mampostería media con la utilización de estructuras de acero, prefabricados de cemento, entre otros.

En la mampostería el adobe se conoce como un ladrillo de baja calidad que representa grandes riesgos y vulnerabilidades en lugares sísmicos. Los daños más comunes que presentan las estructuras construidas con adobe, incluso sin la experiencia previa de terremotos son grietas por tensión diagonal y por cortante en muros, también grietas inclinadas en los muros localizados entre dos ventanas consecutivas, generalmente las ventanas no están confinadas, grietas inclinadas de pequeña longitud que parten las esquinas y por último desplome de las paredes.

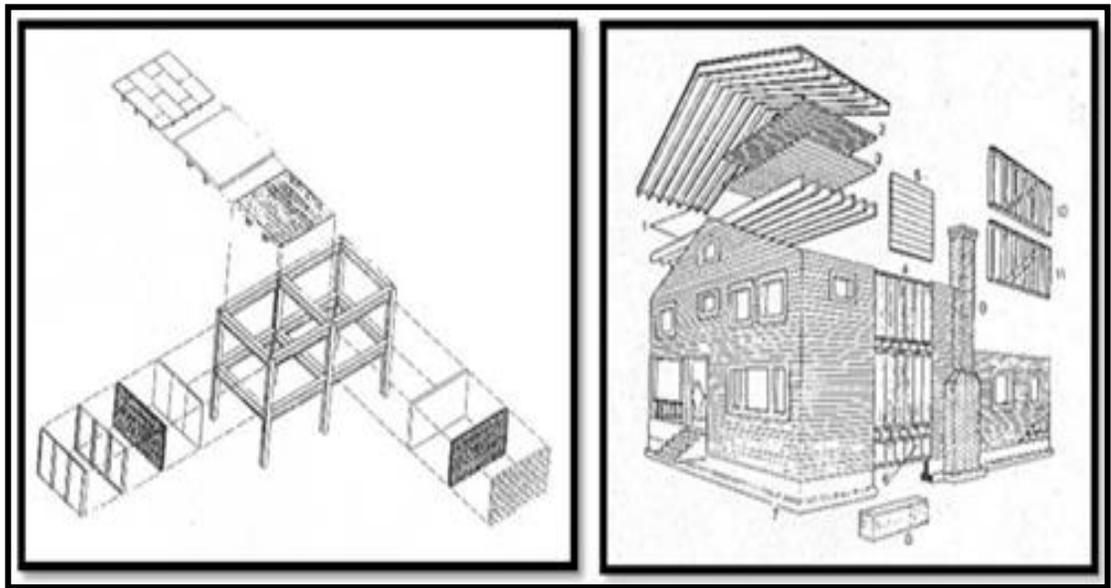
A continuación se describen brevemente las características más importantes de algunos tipos de estructuras halladas en el sector en estudio para facilitar su identificación:

- Adobe (mampostería no reforzada), se forma moldeando suelo, de preferencia arcilla con agua y secando la masa al aire libre. Las estructuras se forman colocando hileras de adobes pegados con la misma arcilla humedecida. Este tipo de construcción es muy utilizado en áreas rurales. Generalmente se repella con mortero a base de cal; el piso puede ser el suelo mismo. Su resistencia a sismos es muy deficiente.

- Mampostería media reforzada, son las construcciones hechas con unidades de mampostería pegadas con mortero de cemento y se colocan vigas, soleras, columnas, mochetas o pines de concreto reforzado; el techo generalmente es de losa de concreto. Se utiliza este sistema en construcciones de 1, 2 y 3 niveles. La respuesta a los sismos es bastante satisfactoria, pero al ser elaborado de forma empírica puede presentar dificultades en su resistencia.
- Madera, se utilizan generalmente parales de 2" a 4"; para los muros reglas y tablas; para el techo se utiliza lámina galvanizada o teja. Debido a la ductilidad de la madera, las construcciones se comportan satisfactoriamente frente a los sismos, pero se tiene el inconveniente de que la madera presenta problemas con la humedad, así como con algunos insectos y microorganismos como lo pueden ser los hongos.
- Estructuras de concreto, el sistema estructural de marcos de concreto reforzado consiste de vigas y columnas que forman un marco y que están acopladas mediante uniones de vigas y columnas monolíticas resistentes a momentos y esfuerzos de corte. En la mayoría de los trabajos de construcción, el concreto se refuerza con armaduras metálicas, sobre todo de acero; a este se le llama concreto reforzado. El acero que se introduce en el concreto suele ser una malla de alambre. El concreto y el acero forman un conjunto que transfiere las tensiones entre los dos elementos.
- 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.

A continuación se muestran las ilustraciones típicas de cada uno de los tipos estructurales clasificados con el sistema SERFL.

Figura 12. **SERLF tipos estructurales**

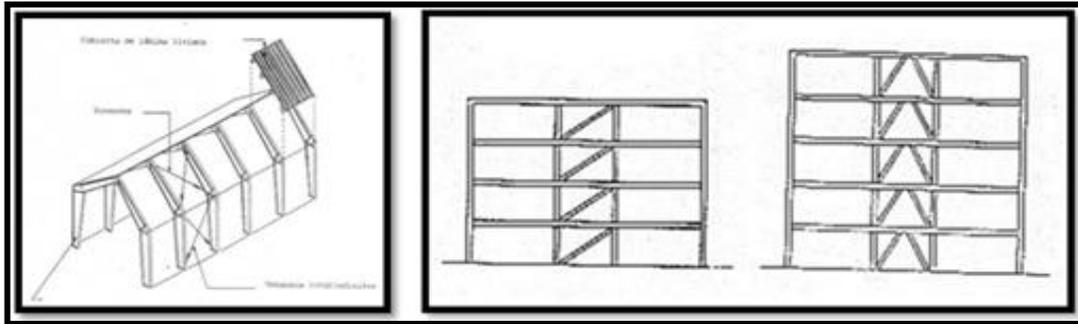


Fuente: ARRECIS, Francisco. *Vulnerabilidad sísmica estructural en un sector de la zona 3 de la ciudad de Guatemala*. p. 49.

En la clasificación están los A2 conocidos como marcos de acero con breizas y son estructuras construidas con vigas y columnas de acero, en este caso las fuerzas laterales se transportan al sistema de breizas en esfuerzos de compresión o tensión.

Las estructuras A3 generalmente son utilizadas para bodegas, cubren luces o espacios grandes y consiste en marcos rígidos altos que resisten las fuerzas laterales en el sentido corto del edificio y en el sentido largo se colocan tensores entre el marco o se unen por vigas tipo joist.

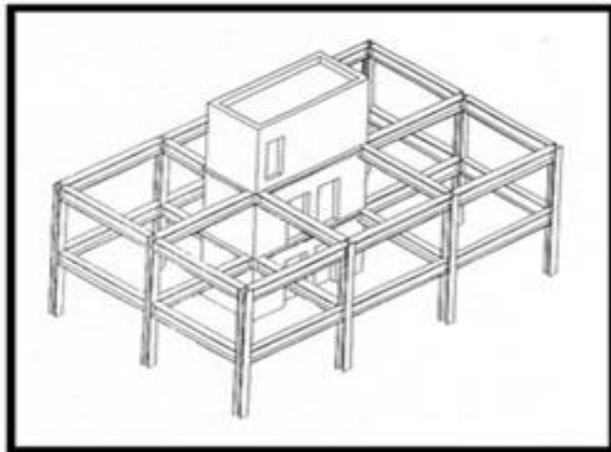
Figura 13. **Marcos de acero resistente a momento (A1)**



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

Consisten en estructuras formadas por marcos de vigas y columnas cuya rigidez resiste las fuerzas laterales.

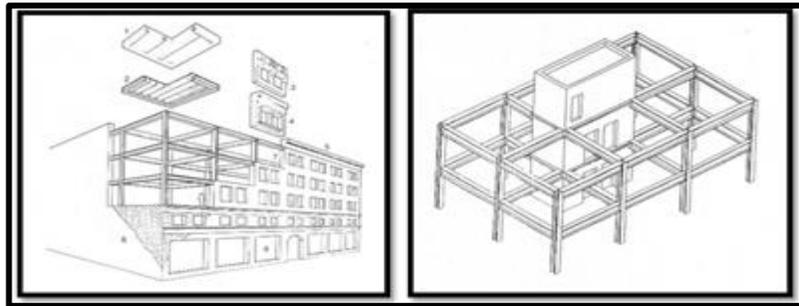
Figura 14. **Estructura de madera**



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

Estructuras de poca altura, máximo tres niveles, construidas con parales de 2" a 4" con breizas o sin ellas. Para los muros se usan reglas y tablas de madera, cartón o lámina de zinc.

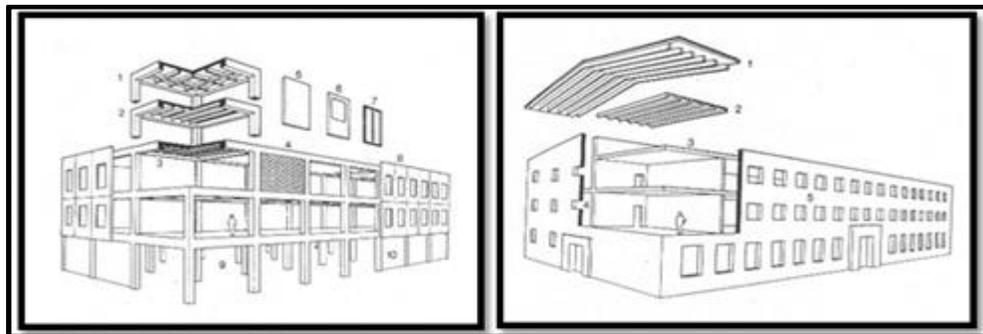
Figura 15. **Marcos de acero con muros (A5) (A4)**



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

Son estructuras similares a los marcos rígidos pero las uniones entre las vigas y columnas no se diseñan para resistir fuerzas laterales, sino que son resistidas por muros de corte de concreto integrados a la estructura.

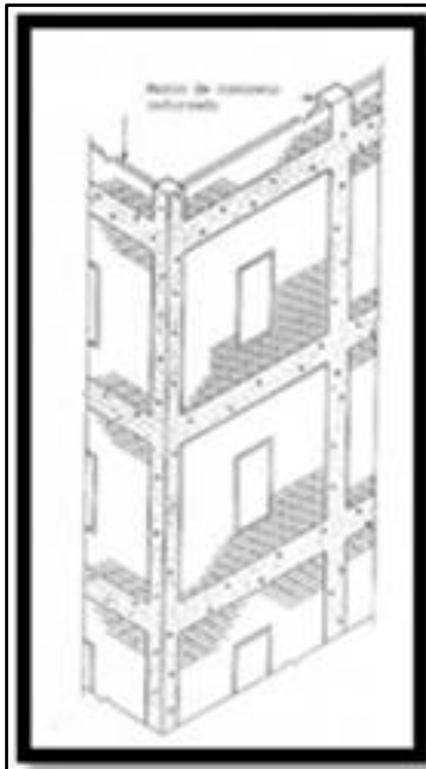
Figura 16. **Relleno de mamposterías no reforzada de corte de concreto**



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

Estas estructuras poseen muros perimetrales o interiores de mampostería no reforzada, altamente rígidos y propensos a sufrir fracturas. Son estructuras construidas por unidades de mampostería de adobe o ladrillo sin refuerzos de concreto armado.

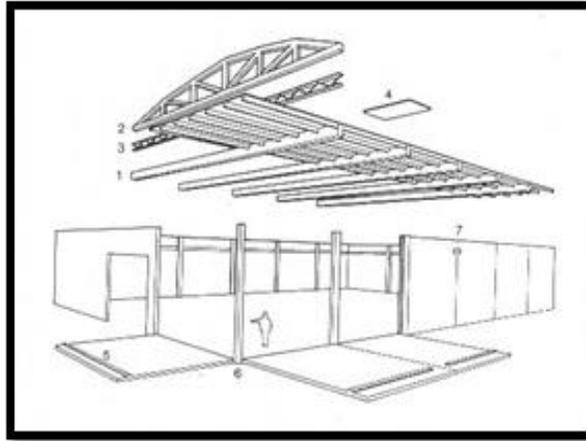
Figura 17. **Marcos de concreto resistentes a momento (C1)**



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

Estos marcos estructurales pueden ser dúctiles o rígidos según el diseño del refuerzo y el concreto, las fuerzas laterales son resistidas por las vigas y las columnas.

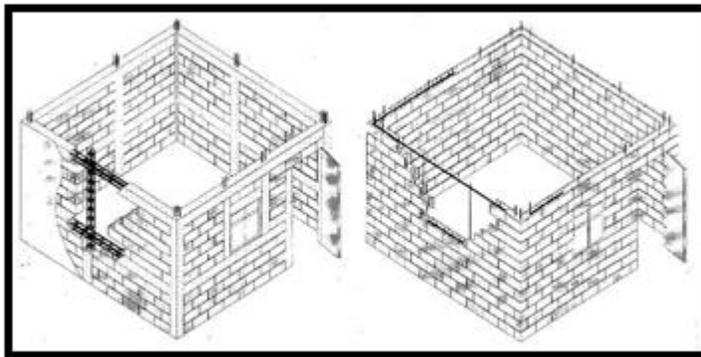
Figura 18. **Muros de corte de concreto (C2)**



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

Es un sistema estructural de concreto tipo caja o marcos con muros de concreto que se localizan por lo general a lo largo de toda la altura del edificio.

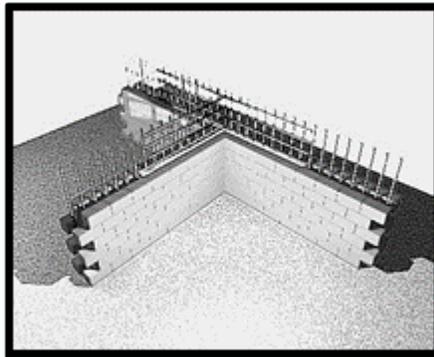
Figura 19. **Marcos de concreto con muros (C3)**



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

CP = concreto prefabricado. Son estructuras ensambladas en el sitio, construidas a través de un sistema de vigas, columnas, muros y losas que han sido previamente fabricados y se unan por soldaduras, epóxicos u otros sistemas, por lo que el sistema de uniones es vital para un comportamiento satisfactorio. Son estructuras de marcos de concreto rellenos por muros rígidos de mampostería no reforzada que pueden fracturarse por la acción de los sismos.

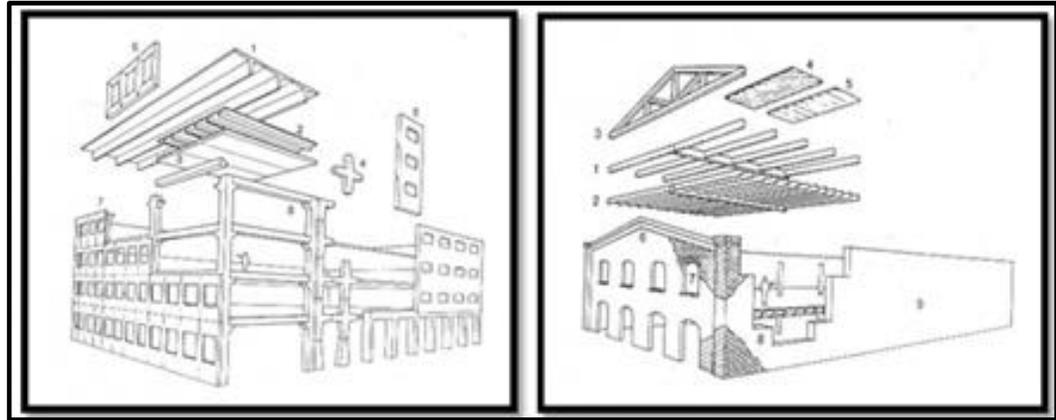
Figura 20. **Construcción compuesta de relleno de mampostería no reforzada (MNR)**



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

Son edificios en los que la estructura está construida por una combinación de acero, concreto y otros materiales unidos entre sí por soldaduras o uniones mecánicas de las cuales depende la resistencia.

Figura 21. **Mampostería media (MM) y mampostería superior (MS)**



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

MM. Consiste en una combinación de mampostería unida con mortero, con soleras horizontales, columnas, mochetas o pines de concreto reforzado, comúnmente conocida como mampostería confinada o de tipo mixto. MS. Conocida también como mampostería integral y consiste en muros de carga de mampostería grauteada con diafragmas de concreto reforzado.

2.1.1. Escuelas y colegios

Las entidades educativas privadas grandes poseen un sistema estructural de marcos de concreto reforzado que consiste en columnas y vigas unidas y técnicamente resistentes a momentos y esfuerzos de corte. La mayoría de instituciones educativas visitadas presentan vulnerabilidad de cargas laterales.

Según el Ministerio de Educación de Guatemala en San Marcos existen cerca de 400 escuelas de las cuales unas 306 se encuentran en mal estado después del terremoto del 7 de noviembre de 2012.

Las escuelas más antiguas presentan el tipo de construcción denominado mampostería simple y en algunos casos se utilizaron blocks, cemento y costaneras. Las estructuras de mampostería son las que dominan la construcción de escuelas y colegios en los últimos veinte años, en la cabecera de San Marcos. La utilización de esta técnica mejora el rendimiento y la ductilidad.

Figura 22. **Escuelas de preprimaria en San Marcos**



Fuente: escuelas de preprimaria en San Marcos.

Es pequeño el conjunto de estructuras que puede considerarse han sido construidas con algunos estándares de calidad para minimizar los riesgos en caso de sismo, por ejemplo el Instituto Normal Mixto de Occidente Justo Rufino Barrios ubicado en San Marcos.

Figura 23. **Instituto Normal Mixto de Occidente Justo Rufino Barrios**



Fuente: Instituto Normal Mixto de Occidente Justo Rufino Barrios.

No fue posible establecer a través de los datos manejados por el Ministerio de Educación la cifra exacta de cuántas escuelas y colegios existen en San Marcos, por lo que se optó por tomar información de directorios telefónicos y referencias de los pobladores.

Figura 24. **Escuela Oficial Carlos Castillo Armas**



Fuente: Escuela Oficial Carlos Castillo Armas.

Hay por lo menos doce instituciones privadas centralizadas en la cabecera y que tipología estructural que siguen es mixta o simple. En algunos casos viviendas han sido adaptadas para el uso de colegios y en otros casos las construcciones son sencillas utilizando block, repello, loza, láminas, piso y cemento. La mayoría de instituciones educativas visitadas presentan vulnerabilidad de cargas laterales.

2.1.2. Hospitales y centros de salud

Según los datos actualizados hasta abril de 2013 el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala hay solamente dos hospitales públicos en San Marcos. 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). Los servicios de emergencia que existen en las cercanías del sector, son hospitales públicos y privados. 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).

La tipología estructural de los hospitales y centros de salud es mampostería de block pómez reforzado, sin embargo, el terremoto obligo a la demolición en el 100 % de los casos. La mayoría de centros de emergencias que se encuentran en el sector cuentan con las instalaciones básicas para poder atender emergencias; pero son insuficientes para atender catástrofes de índole masiva.

Figura 25. **Centro de Salud, San Marcos**



Fuente: Centro de Salud, San Marcos.

Se cuenta con servicios de salud, tanto nacional como privados, en el orden jerárquico se tiene la jefatura de área, que es la unidad técnica coordinadora de todos los servicios en su orden siguen el Hospital Nacional, que con el centro de salud forman una unidad integrada y cuenta médicos generales y especialistas en todas las ramas. También se cuenta con el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social IGSS, el que tiene un hospital con todos sus servicios e instalaciones, desarrolla un programa de accidentes. Tanto el Hospital Nacional como el IGSS se encuentran fuera del sector estudiado, encontrándose a una distancia aproximada de 1 kilómetro.

2.1.3. Iglesias

Son edificaciones que pueden prestar servicio de albergue después 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 sus dimensiones, las siguientes estructuras son consideradas como sitios apropiados para albergar a los damnificados de cualquier tipo de catástrofe. En San Marcos existen por lo menos 200 entidades denominadas iglesias, el conteo se realizó caminando por todas las calles y preguntando a los vecinos. En la inspección visual que se realizó se constató que en su mayoría son de mampostería simple y de adobe, en el menor de los casos las iglesias son hechas con prácticas de ingeniería.

La iglesia católica tiene por lo menos 7 iglesias y/o catedrales en la cabecera y las cercanías de San Marcos, y son hechas de mampostería combinada con adobe, ladrillo, block, loza, láminas, costaneras, piso, etc. En el interior es común encontrar el uso de madera para el techo, en paredes y puertas.

Figura 26. **Catedral San Marcos**



Fuente: Catedral San Marcos.

La catedral posee una cimentación de piedra que se remonta al siglo XVI y en la parte superior hay una cúpula por la rotación de un arco sobre su eje medio, funciona como un conjunto de elementos que traspasan los esfuerzos verticales hacia las bases en función de su peso, la diferencia está en que los empujes horizontales en las bases son radiales y deben ser anulados por anillos de cadenas, cables, o barras alrededor de dicha base, o paralelos, o bien por masa edificada rodeando la cúpula, las cuales por su peso desvían los empujes horizontales hacia el suelo y evitan la estructura se abra en los apoyos.

2.2. Principales edificaciones públicas

En cuanto a edificios públicos, existen dentro del sector centros que pueden ser utilizados en caso de emergencia. Las instalaciones de algunos de estos están en condiciones aceptables, 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. Existen dentro del sector centros educativos que pueden ser utilizados en caso de emergencia. Las instalaciones de algunos de estos 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.

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.

San Marcos posee riqueza cultural e histórica, hay edificaciones consideradas joyas arquitectónicas que fueron erigidas durante la administración presidencial del General Jorge Ubico. La influencia maya se caracteriza en ellas. Existen monumentos como la estatua Justo Rufino Barrios, ubicada en la calzada que lleva el mismo nombre, el monumento fue hecho con mampostería combinando ladrillo y concreto en su base.

2.2.1. Palacio Maya

Esta edificación fue inaugurada en febrero de 1942 y representa uno de los íconos turísticos de San Marcos y está hecho con la técnica de mampostería reforzada.

En la mampostería reforzada se insertan barras o mallas de acero (en el mortero en huecos o entre capas de ladrillos de mampostería, creando un material compuesto que actúa como un muro o un sistema de muros altamente resistente y dúctil. Tal refuerzo se presenta en direcciones horizontales y verticales. La mampostería confinada se caracteriza como mampostería construida rígidamente entre columnas estructurales y vigas en los cuatro lados y provee un nivel similar de resistencia. En tales casos no se pretende que los elementos de conexión respondan como un marco resistente a momentos, donde la mampostería actuaría como un relleno no estructural en la mayoría de los casos.

La historia popular cuenta que fue el coronel Miguel Idígoras Fuentes quien tuvo la idea original de erigir el Palacio Maya y el objetivo era hacer una edificación para albergar a dependencias públicas y crear la ciudad denominada “La Unión” que unificaría a San Pedro Sacatepéquez y San Marcos. Fueron varios los artistas y profesionales de ingeniería y arquitectura que participaron en el proceso entre los cuales se encuentran: Carlos Malau, Galeotti Torres y Adalberto de León Soto. El Palacio Maya fue construido usando hierro, acero, cemento, ladrillo, concreto, madera y vidrio.

Figura 27. **Palacio Maya, San Marcos**



Fuente: Palacio Maya, San Marcos.

Luego del terremoto del 2012 que azoto el municipio de San Marcos el edificio sufrió daños internos en su estructura y se dispuso de trasladar la municipalidad al parque central del municipio, dejando por consiguiente como museo el Palacio Maya aunque su ingreso se encuentra restringido.

2.2.2. Centro de salud

Las construcciones de mampostería media reforzada equivalen al 80 % 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.

El centro de salud fue demolido después del sismo ocurrido el 7 de noviembre de 2012, por las fisuras que lastimaron su estructura y lo hicieron totalmente insegura para la población, su tipología estructural estaba basada en mampostería de block reforzada con acero (pines).

Figura 28. **Reconstrucción del Centro de Salud**



Fuente: Centro de Salud.

En la figura 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 se puede observar que el voladizo que se construyó en la puerta principal, no cuenta con las vigas de soporte y prácticamente está sostenido únicamente por el acero de refuerzo de las losas.

2.2.3. Dirección Departamental de Educación

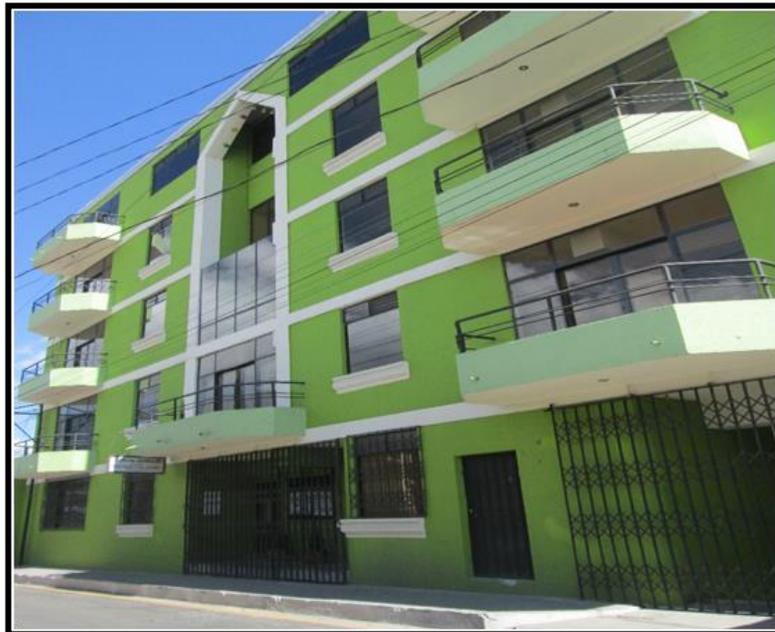
El sistema estructural de marcos de concreto reforzado consiste de vigas y columnas que forman un marco y que están acopladas mediante uniones de vigas y columnas monolíticas resistentes a momentos y esfuerzos de corte, dentro del sector evaluado este tipo de estructuras constituyen el 0,89 % del total de las estructuras.

Las estructuras de marcos de concreto resisten cargas verticales y laterales a la vez, el comportamiento de los marcos se determina con base a la razón entre la altura de las columnas y la longitud de las vigas, así como por la resistencia (secciones transversales) de las vigas y columnas. En los casos más prácticos los sistemas estructurales se pueden clasificar como marcos de concreto con rellenos de mampostería. La interacción posible entre el marco de concreto y los rellenos quebradizos puede contribuir a un sistema más vulnerable.

Debido a esta interacción, las columnas y enlaces tienen que reaccionar a las cargas adicionales que generan en sí mismas, algo para lo cual no están diseñadas en general. La vulnerabilidad sísmica de los marcos de concreto se ve afectada por todos los factores mencionados previamente, tales como la regularidad, la calidad y la mano de obra o la ductilidad. Los marcos de concreto son particularmente vulnerables a las interrupciones de rigidez lateral con relación a toda la altura del edificio.

La Dirección Departamental de Educación ubicada en la 8a Avenida zona 2 de esta ciudad, su estructura está basada en sistema estructural del tipo marcos rígidos, como se puede observar en la figura no se fue afectada con los sismos esto es debido a que se contó con un diseño previo basado en códigos estructurales que garantizaron su funcionalidad.

Figura 29. **DIDEDUC**



Fuente: Dideduc.

2.2.4. Policía Nacional Civil

El edificio utilizado para albergar a la Comisaría 42 en San Marcos cuenta con una tipología estructural de tipo adobe reforzado combinado con partes de block pómez y debido al terremoto la instalación quedó severamente dañada.

Figura 30. **Comisaría 42, San Marcos**



Fuente: Comisaría 42, San Marcos.

En la figura anterior se puede observar que el edificio de la policía nacional 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.

Las construcciones que aún son de adobe son las más 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 detectaron 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, 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.

Este tipo de estructuras se pueden encontrar en un 27,958 % del total de las construcciones evaluadas. Los métodos de construcción de adobe varían ampliamente y esto introduce algunas variaciones en la resistencia de las viviendas de adobe contra las vibraciones sísmicas.

El peso del techo es uno de los factores más importantes en el rendimiento de tales viviendas, de tal forma que los techos pesados son más peligrosos. Las viviendas de adobe con marcos de madera poseen una resistencia mayor y tienen un mejor rendimiento. También se encuentran casos donde se usan las vigas y columnas de madera no unidas en viviendas de adobe; estas proveen una rigidez horizontal y por lo tanto mejoran el rendimiento, pero no tanto como en el caso de un marco conectado.

2.2.5. Complejo Nacional Deportivo de San Marcos

El complejo deportivo fue creado por CDAG en 1988 y posee instalaciones para los deportes más populares que son fútbol, gimnasia, voleibol, entre otros. La edificación es tiene una estructura de acero con marcos rígidos de concreto reforzado.

Figura 31. **Complejo Deportivo, San Marcos**



Fuente: Complejo Deportivo, San Marcos.

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 observó que en su mayoría, las estructuras de este tipo contaban con los requerimientos mínimos.

Hasta ahora se cuenta con muy pocos datos para estructuras de marcos de acero basadas en evaluaciones macrosísmicas, pero estas indican un alto nivel de sismo resistencia. El daño estructural puede, sin embargo, estar enmascarado por elementos no estructurales tales como el repello, o paredes de tabiques o añadidos de concreto (provistos para aumentar la resistencia en caso de incendios) en sistemas compuestos. En tales casos, el daño a las uniones será visible solamente después que se ha removido la cubierta de concreto.

La decisión en torno al nivel de sismo resistencia y por lo tanto, la clase de vulnerabilidad más apropiada, debería tomar en consideración el sistema de rigidez, así como el tipo de uniones. La ductilidad del sistema entero está determinada por el sistema de resistencia lateral. Dicho complejo deportivo cuenta con varias instalaciones, donde combina mampostería reforzada en sus muros y marcos rígidos de acero convidados con concreto para repello, y techos de estructuras metálica, a pesar del fuerte sismo que arremetió contra el municipio en el 2012, este no recibió mayores daños, más unas cuantas grietas de no reflejan daños estructurales en sus instalaciones.

2.2.6. Edificio de Gobernación Departamental de San Marcos

En el sector en estudio, se observó que estructuras de concreto son utilizadas más que todo para construir zapatas, columnas, soleras, vigas y losas; estas 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.

Este edificio se construyó bajo los requerimientos mínimos de este tipo de estructura en Guatemala. Por tratarse de una instalación para realizar actividades para oficina en un 40 % 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.

Según información proporcionada por los personeros de Gobernación Departamental el edificio tuvo un costo de 5 millones de quetzales y fue hecho utilizando mampostería reforzada con marcos rígidos y concreto reforzado, que luego del sismo sufrió fallas estructurales que hacen inhabitable el edificio y todo el personal de Gobernación fue trasladado a un edificio privado.

Figura 32. **Edificio de Gobernación Departamental en San Marcos**



Fuente: Gobernación Departamental en San Marcos.

3. RIESGO SÍSMICO

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 el país. Por tal motivo, en función de evitar que los terremotos sigan impactando drásticamente a la población de San Marcos, ha surgido la iniciativa de evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones, por zonas y en el presente trabajo se evaluará la cabecera municipal con el fin de poder determinar qué tan vulnerables son las dichas edificaciones.

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.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

La existencia de riesgo, y sus características particulares, se explica por la presencia de determinados factores de riesgo. 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, Rs. 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: Conservando este marco conceptual, Cardona (1986) propuso eliminar la variable exposición, E , por considerarla implícita en la vulnerabilidad, V , sin que esto modificará 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 1.

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.

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.

Tabla V. **Aceleración máxima del suelo esperada en 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: elaboración propia.

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 $2,99 \text{ m/seg}^2$, la cual se propone como valor representativo en la norma recomendada AGIES NR 1-2010, de 2010, y determina el criterio de amenaza en este trabajo, pues se considera la más aceptable hasta que se cuente con estudios de microzonificación 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. 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 solo 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).

3.1. 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 que son el estructural y no estructural.

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). 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.

3.1.1. Datos obtenidos

En este inciso, se presentará el formulario utilizado para las evaluaciones, datos importantes, los diferentes grados de vulnerabilidad estructural hallados en el área evaluada, así como un mapa indicador del lugar. El formulario utilizado para realizar las evaluaciones es el del método ATC-21, el que ha sido adaptado para una zona altamente sísmica con una aceleración máxima esperada del suelo de 0,4g o mayor, al menos una vez en cincuenta años, la cual es propuesta como valor representativo en la norma recomendada AGIES NR 1-10 (AGIES, 2010), y determina el criterio de amenaza en este trabajo. El método ATC-21 para realizar las evaluaciones toma en cuenta importantes características estructurales como tipo de estructura, uso de la estructura, altura, irregularidad vertical, mal mantenimiento, entre otros. A continuación, se muestra el formulario de evaluación utilizado en el estudio.

Figura 33. Formulario de evaluación

METODO DE EVALUACION VISUAL RAPIDO																																																																																																																																																																																																																																																														
Dirección:																																																																																																																																																																																																																																																														
Identificación:										Código postal:																																																																																																																																																																																																																																																				
Número de pisos:										Área en m ² :																																																																																																																																																																																																																																																				
Uso original:										Año de construcción:																																																																																																																																																																																																																																																				
Inspector:										Fecha de inspección:																																																																																																																																																																																																																																																				
<table border="1"> <tr> <td>Número de ocupantes</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>0-10</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>11-100</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>>100</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>TIPO</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>Residencial</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>Comercial</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>Oficinas</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>Industrial</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>Reunion pública</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>Esc. Inst.</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>Edif. de Gob.</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>Serv. emergencia</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>Edificio histórico</td> <td colspan="14"></td> </tr> <tr> <td>Peligro en colindancias</td> <td colspan="14">ESQUEMA</td> </tr> <tr> <td>SI NO</td> <td colspan="14"></td> </tr> </table>															Número de ocupantes															0-10															11-100															>100															TIPO															Residencial															Comercial															Oficinas															Industrial															Reunion pública															Esc. Inst.															Edif. de Gob.															Serv. emergencia															Edificio histórico															Peligro en colindancias	ESQUEMA														SI NO														
Número de ocupantes																																																																																																																																																																																																																																																														
0-10																																																																																																																																																																																																																																																														
11-100																																																																																																																																																																																																																																																														
>100																																																																																																																																																																																																																																																														
TIPO																																																																																																																																																																																																																																																														
Residencial																																																																																																																																																																																																																																																														
Comercial																																																																																																																																																																																																																																																														
Oficinas																																																																																																																																																																																																																																																														
Industrial																																																																																																																																																																																																																																																														
Reunion 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	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																																																																																																																																																																																																																																															
	Código de diseño sísmico																																																																																																																																																																																																																																																													
	Otro modificador aplicable																																																																																																																																																																																																																																																													
Confiable	Suelo rígido (edificios altos)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0																																																																																																																																																																																																																																															
	Suelo rígido (edificios bajos)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0																																																																																																																																																																																																																																															
	Suelo firme y estable	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																																																																																																																																																																																																																																															
Alta	Suelos blandos	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6																																																																																																																																																																																																																																															
Media	Suelos blandos (edificios altos)	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8																																																																																																																																																																																																																																															
Baja	Calificación final																																																																																																																																																																																																																																																													
Observaciones:										Se sugiere evaluación detallada																																																																																																																																																																																																																																																				
										SI NO																																																																																																																																																																																																																																																				

Fuente: elaboración propia.

En el área estudiada se evaluó cada estructura mediante el método de evaluación visual rápida, que es el método ATC-21 el cual fue desarrollado, también para evaluar estructuras fuera del área de California en diferentes tipos de amenaza sísmica. Los fundamentos de este método pueden ser consultados con mayor detalle en la literatura Applied Technology Council ATC-21, 1988; Arrecis, 2002; Jerez, 2000. Si se pretende profundizar más en el tema y tener una mejor comprensión sobre lo que es este método.

El sector estudiado tiene un área de 516 870 m², residen en esta área alrededor de 14 874 personas estimadas de acuerdo con el método planteado en (Arrecis, 2002), en cuanto a número de estructuras en el sector existen 905 unidades que fueron evaluadas.

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

Tabla VI. **Área evaluada**

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA EVALUADA		
CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	CANTIDADES
Área	M ²	121 000 000
Número de habitantes	Personas	48 913
Numero de estructuras	Unidades	28 690
Área de construcción	M ²	45 904 000
Área libre	M ²	75 096 000
Área construida	M ²	45 904 000
Índice de ocupación	%	62 %

Continuación de la tabla VI.

Índice de construcción	%	38%
Área por habitante	M2/persona	2473.8
Área de construcción por habitante	M2/persona	938.5
Área construida por habitante	M2/persona	938.48
Área promedio por estructura	M2/estructura	1600

Fuente: elaboración propia.

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

TIPOS ESTRUCTURALES EXISTENTES DENTRO DEL SECTOR ESTUDIADO		
TIPO DE ESTURCTURA	SÍMBOLO	UNIDADES
Estructuras de acero livianas	A3	124
Estructuras de concreto prefabricado	CP	88
Madera	M	78
Mampostería media	MM	451
Mampostería no reforzada	MNR	254
Marcos de acero resistente a momento	A1	153

Fuente: elaboración propia.

La figura 34, muestra los diferentes tipos estructurales para edificación pública hallados dentro del sector estudiado.

Figura 34. **Cuantificación de los tipos de estructuras**



Fuente: elaboración propia.

Un 80 % lo constituyen estructuras de mampostería media, seguido por las estructuras de adobe que representan un 20 %. Al tratarse de una zona popular, no se caracteriza por contar con construcciones de acero reforzado o de concreto reforzado. Pese a lo anterior, los usos de las estructuras son también de diversa índole como lo muestra la tabla y la figura siguiente; aunque la mayor parte de las construcciones son de uso residencial, hay un alto porcentaje destinado al comercio de alojamiento (hoteles).

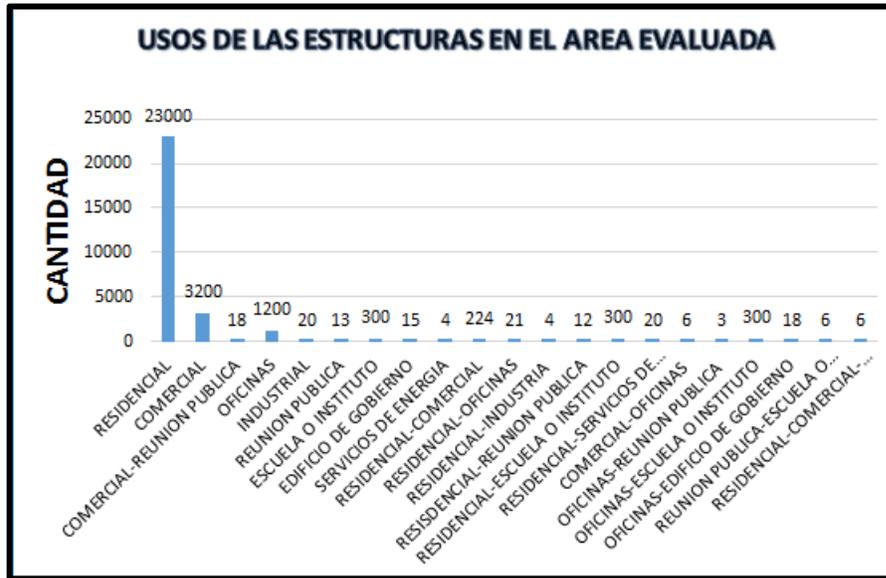
Es importante considerar este detalle, ya que, dependiendo de la función que se le asigne al inmueble, albergará mayor número de habitantes en diferentes horarios; por lo que es de suma importancia verificar la vulnerabilidad de las viviendas.

Tabla VIII. Estructuras existentes en el área evaluada

USOS DE LAS ESTRUCTURAS EN EL ÁREA EVALUADA		
USO	UNIDAD	PORCENTAJE
Residencial	23 000	80,17
Comercial	3 200	11,15
Comercial-reunión pública	18	0,06
Oficinas	1 200	4,18
Industrial	20	0,07
Reunión pública	13	0,05
Escuela o instituto	300	1,05
Edificio de gobierno	15	0,05
Servicios de energía	4	0,01
Residencial-comercial	224	0,78
Residencial-oficinas	21	0,07
Residencial-industria	4	0,01
Residencial-reunión pública	12	0,04
Residencial-escuela o instituto	300	1,05
Residencial-servicios de emergencia	20	0,07
Comercial-oficinas	6	0,02
Oficinas-reunión pública	3	0,01
Oficinas-escuela o instituto	300	1,05
Oficinas-edificio de gobierno	18	0,06
Reunión pública-escuela o instituto	6	0,02
Residencial-comercial-industrial	6	0,02
Total	28 690	100,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Uso de estructuras en el área evaluada**



Fuente: elaboración propia.

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

3.1.2. **Cálculo del índice de vulnerabilidad estructural en viviendas**

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

Tabla IX. **Calificación final y grado de vulnerabilidad**

Calificación Final C.F	Vulnerabilidad
$C.F. \leq 1,50$	Mínima: se esperan pérdidas materiales menores a un 5 % del área construida del edificio, y un potencial número de muertes y heridos menores al 10 % de los habitantes del edificio.
$0,25 \leq C.F. < 1,50$	Significativa: se esperan pérdidas materiales hasta del 33 % del área construida del edificio, un potencial número de muertes del 25 % de los habitantes de la estructura y un 25 % de heridos.
$-1,00 \leq C.F. < 0,25$	Alta: se esperan pérdidas materiales hasta del 66 % del área construida del edificio, un potencial número de muertes del 30 % de los habitantes de la estructura y un 30 % de heridos.
$C.F. < -1,00$	Muy alta: se esperan pérdidas materiales totales, un potencial número de muertes del 60 % de los habitantes de la estructura y un 20 % de heridos.

Fuente: elaboración propia.

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 o pérdida total. 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 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.

Se puede 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. Se puede apreciar que un 53,29 % de viviendas evaluadas representa un grado de vulnerabilidad mínima; sin embargo, se recuerda 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 X. **Índices de vulnerabilidad estructural**

ÍNDICES DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL PARA EL ÁREA EVALUADA DENTRO DEL SECTOR ESTUDIADO					
Vulnerabilidad Criterio	MUY ALTA	ALTA	SIGNIFICATIVA	MÍNIMA	TOTAL
Unidades estructurales	41 4,97 %	77 9,33%	249 30,8 %	458 55,52 %	825 100,00%
Área de construcción (m²)	8 200 4,97 %	15 400 9,33%	49 800 30,18 %	91 600 55,52 %	165 000 100,00%
Área construida (m²)	8 200 4,97 %	15 400 9,33%	49 800 30,18%	91 600 55,52 %	165 000 100%

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. 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.

En relación a la cuantificación de daños potenciales en elementos humanos se clasifican en dos tipos de 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.

En el caso de la cuantificación de daños potenciales 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 inciso 3.1.1 y se ubica la calificación final de la estructura dentro de uno de los rangos presentados en la tabla.
- 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 anterior, 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 siguiente tabla muestra los daños potenciales esperados en elementos humanos y materiales para el área evaluada dentro del sector de estudio.

Tabla XI. **Cuantificación de daños**

CUANTIFICACIÓN DE DAÑOS POTENCIALES	
Tipo de daño	CANTIDAD DE DAÑO
Muertos (personas)	489
Heridos (personas)	2446
Daños materiales	Q 756 600 000,00

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Mapeo

El presente estudio de ingeniería civil se realizó en la cabecera municipal de San Marcos, Guatemala. A continuación se presenta el área específica donde se realizó la investigación para determinar el índice de vulnerabilidad sísmica.

Figura 36. **Mapa del área evaluada**



Fuente: elaboración propia, con Adobe Photoshop.

3.1.5. Índice de vulnerabilidad en viviendas del sector

La tabla 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.

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, estas sean saqueadas durante la noche.

Tabla XII. **Índice de vulnerabilidad**

Índices de vulnerabilidad para el área evaluada dentro del sector en estudio			
Tipo de daño	Cantidad de daño	Elementos bajo riesgo	Índice de vulnerabilidad
Muertos (personas)	489	9782.6	5,00 %
Heridos (personas)	2446	14673.9	16,67 %
Daños materiales	Q 226 980 000,00	Q 529 620 000,00	42,86 %

Fuente: elaboración propia.

Para hacer un poco más sencilla la visualización de los índices indicadores de la vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica, comparar distintos sectores evaluados o desarrollar y priorizar planes de mitigación, es recomendable la realización de mapas algunos ejemplos de estos se muestran en castro y otros The situation of the city of Mendoza, Argentina, in a Seismic Emergency, 1994. En esta sección han sido adaptados algunos de los criterios utilizados en el estudio mencionado para ejemplificar las ventajas que puede tener presentar información en forma gráfica sobre la vulnerabilidad estructural.

La figura es un mapa del sector estudiado que ilustra las pérdidas potenciales en elementos humanos asociados a la vulnerabilidad estructural del sector estudiado para un sismo con aceleraciones del suelo iguales o mayores a 0,4 g en la componente horizontal.

3.2. Amenaza sísmica

El objetivo del trabajo ha sido el desarrollo de una metodología para estudios de amenaza sísmica de la cabecera municipal de San Marcos Guatemala, teniendo en cuenta el condicionante sismo tectónico de la región, lo que ha llevado a definir diferentes escenarios y a estimar la contribución de cada uno de ellos en la peligrosidad sísmica. Una aplicación práctica se ha llevado a cabo en la ciudad de Guatemala, donde se han estimado las aceleraciones máximas y los espectros de respuesta asociados a cada escenario, con el fin último de obtener resultados que puedan servir de base para la adopción de un código sismo resistente en el país.

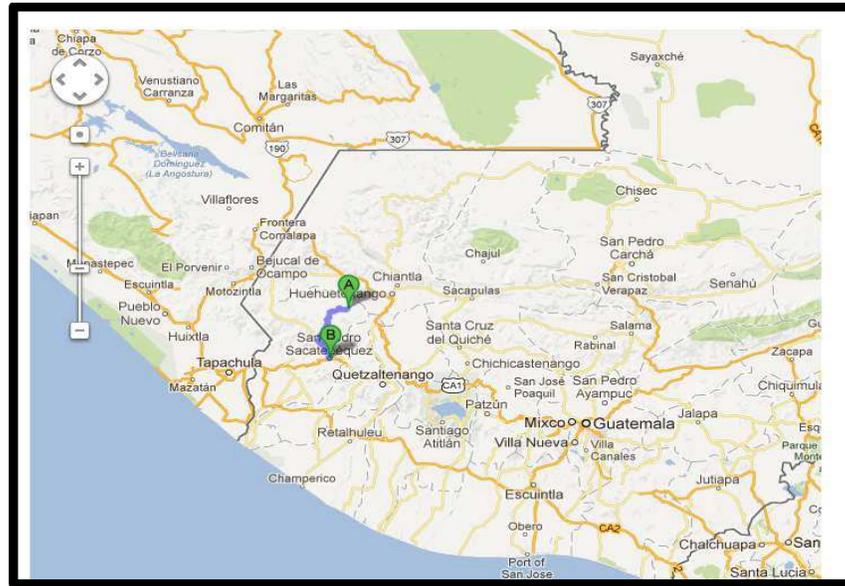
Los escenarios de peligrosidad sísmica se han definido considerando las principales fuentes sismo tectónicas en la región y las zonas sismo genéticas se han reagrupado, de modo que cada escenario incluye aquellas zonas que tienen características similares, y que generarían un mismo tipo de movimiento en el emplazamiento.

3.2.1. Actividad sísmica local

Es difícil estimar la intensidad real del sismo en las áreas afectadas, ya que se cuenta con muy pocos acelerógrafos en funcionamiento en todo el territorio guatemalteco. La mayoría están concentrados en la ciudad capital y aun así son insuficientes para la propia área metropolitana. Guatemala es un país donde no se ha comprendido a cabalidad la utilidad de los registros de aceleración de movimiento fuerte. Las redes de sismógrafos que registran desplazamientos de sismos cotidianos no pueden suplir, por densas que sean, la información que se requiere para fines de ingeniería estructural.

El acelerógrafo más cercano a la zona afectada, se encontraba 50 km al norte en la mina Marlin, en el mismo departamento de San Marcos: reportó una aceleración pico de 0,06 g. Tres acelerógrafos en ciudad Guatemala registraron aceleraciones pico que por la distancia resultan irrelevantes para fines de ingeniería.

Figura 37. Zona afectada

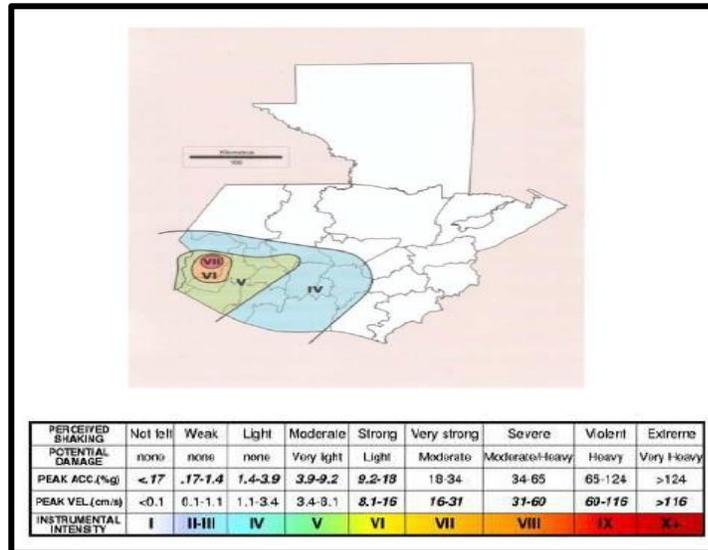


Fuente: informe AGIES 2013.

La figura 37, el punto A muestra la ubicación del acelerógrafo en el que se reportó una aceleración pico de 0,06 g -- El punto B muestra la ubicación del área afectada. Por lo anterior, no queda más remedio que juzgar la intensidad real por medio de observaciones empíricas. El daño en las edificaciones de mala calidad es temprano y puede resultar engañoso para estimar MMI con tendencia a sobre-estimarla.

Hay que recurrir entonces a observar lo que NO alcanzó a dañarse o tuvo daño incipiente. El consenso entre ingenieros estructurales ha sido que las aceleraciones pico difícilmente alcanzaron 0,20 g en las áreas de mayor intensidad. El rango de 0,15 g a 0,20 g es lo más probable. Consecuentemente la mayor MMI AGIES se ha considerado VII. El mapa en la figura 38 constituye una estimación razonable.

Figura 38. **Estimaciones de intensidad en el área afectada según H. Monzón, 2013**



Fuente: informe AGIES 2013.

Resulta entonces motivo de preocupación todo el daño que se produjo a niveles de aceleración pico que apenas alcanzaron de un tercio a un medio de las aceleraciones de diseño básico propuestas por consenso internacional para regiones de alta sismicidad como el sur y el centro de Guatemala: es decir, una aceleración pico de 0,40 g. De hecho las aceleraciones espectrales para edificaciones con período de vibración corto, como la vivienda de pocos pisos contempladas en la norma AGIES NSE 3-2010 son de 1,0 g (típicamente aplican factores de reducción de respuesta $2.5 \leq R \leq 4$). Esto corresponde a aceleraciones pico de 0,40 g con probabilidades de ocurrencia de 0,10 en un período de 50 años.

3.2.2. Educación sísmica local

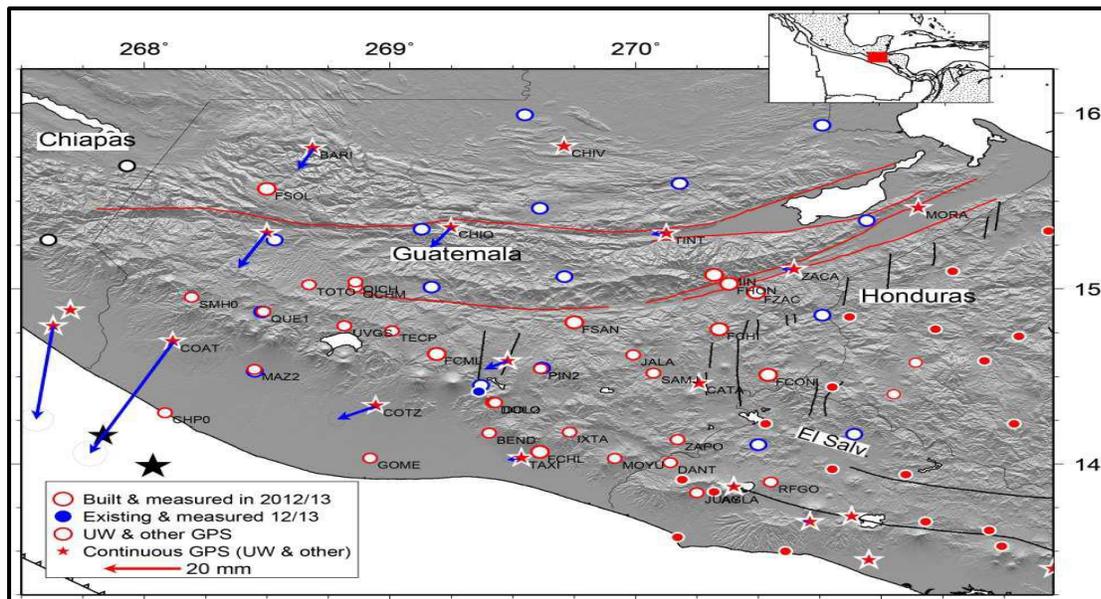
Investigaciones recientes del marco sismo-tectónico de la región (por ejemplo, Lyon-Caen et al., 2006¹²; Correa-Mora et al., 2009¹³) sugieren que el acoplamiento mecánico de la subducción en la Trinchera Mesoamericana al sur-este de Guatemala es débil (es decir, que no genera sismos compresivos de subducción como el del 7.11.2012); indican que más bien la mayor parte de la liberación de momento sísmico (al menos al sur-este) se da en eventos de mecanismo normal, que ocurren a profundidad intermedia ($h > 75-80$ km) en la placa subducente (esto sugiere sismos de subducción un tanto diferentes al del 7-11-2012, que pueden afectar áreas más extensas tierra adentro).

El sismo del 7-11-2012 vuelve a indicar que el acoplamiento débil al sur-este cambia su naturaleza en la parte occidental de Guatemala en vista que varios sismos de subducción con mecanismo compresivo han ocurrido recurrentemente en el sur de Chiapas, México y el occidente Guatemalteco, durante el último siglo. En el plazo mediano se atenderá mejor la amenaza de la subducción. Las fallas geológicas superficiales que plagan nuestra geografía generan sismos que pueden ser muy peligrosos; actualmente es muy difícil tratar de pronosticar esos sismos, no se diga su recurrencia sino también su posible ubicación. Esa sismicidad cortical somera en la región de la Placa Caribe representa un sistema tectónico complicado y como se dijo, potencialmente peligroso.

De hecho, los distintos sistemas neotectónicos activos incluyen accidentes geológicos de gran interés científico como los grábenes activos de extensión (valles de Guatemala y de Ipala), los fallamientos de cizalla y las estructuras geológicas de acomodamiento entre el frente volcánico y el prisma de acreción cuaternario (la costa y boca-costa de Guatemala).

Para los que viven sobre estas estructuras en movimiento debería ser obvio que deben ser estudiadas detalladamente para comprender con más precisión la amenaza sísmica en Guatemala. Sin embargo, de esas iniciativas no se tiene conocimiento en Guatemala. Estas iniciativas hay que incentivarlas para lograr utilidad pragmática en el mediano plazo.

Figura 39. **Compilación de mediciones GPS corticales de los últimos años**



Fuente: informe AGIES 2013.

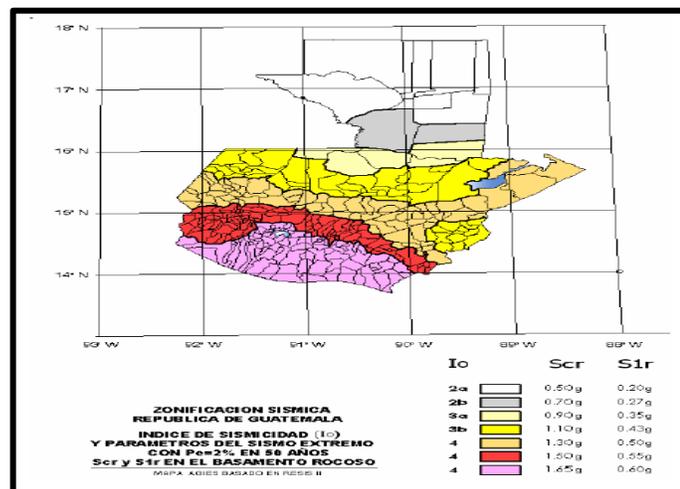
3.2.3. Implementación de parámetros sísmicos

La aceleración máxima del terreno que puede esperarse, como resultado del análisis probabilista en la cabecera municipal de San Marcos (emplazamiento genérico en roca) es de $PGA=0,16$ g (período de retorno de 50 años) y $PGA=0,40$ g (período de 500 años).

Partiendo de estos valores se han construido espectros de diseño con las formas espectrales de la Norma sismoresistente Española NCSE-94 y con la propuesta de Normativa redactada por la Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales (AGIES-1, 2010), para períodos de retorno de 50 años (sismo frecuente) y 500 años (sismo de diseño). Los espectros resultantes con ambas normativas cubren a los deducidos en el estudio para todos los escenarios, por lo que resultan conservadores.

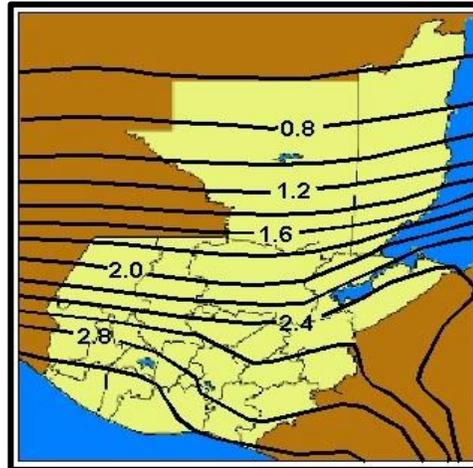
Todo lo anterior sumado al volcanismo del país incide en la formación de suelos de alta capacidad estática de carga; pero con comportamientos poco favorables a los efectos de influjos dinámicos produciendo grietas y desprendimientos (Armas Borja & Mejía Guillen, 1992). A continuación se muestran gráficas sobre la macro zonificación sísmica del país (figura 40) y esquema de aceleración del suelo (figura 41).

Figura 40. **Mapa base de macrozonificación sísmica**



Fuente: Adaptado de AGIES, *Normas estructurales de construcción recomendadas para la República de Guatemala NR 2-10, 2010.*

Figura 41. **Mapa de aceleración del suelo**



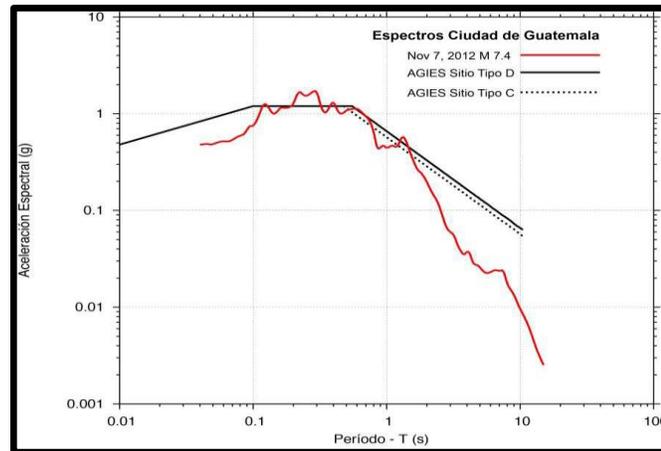
Fuente: Adaptado de Ligorria. *Seismic hazard for Guatemala, technical report No. 2-21*
NORSAR. 1995.

3.2.4. **Otros factores de importancia**

Los espectros de diseño planteados en la Norma NSE 2-2010, son los espectros del Standard ASCE 7-2010. De manera que siempre resulta un ejercicio importante comparar espectros de respuesta reales con los espectros de diseño en uso. Desafortunadamente no se obtuvieron registros con intensidades significativas a raíz del sismo del 7-11-2012 para contribuir a calibrar con más confianza los actuales espectros de la Norma NSE 2. Normalizar el espectro de un sismo de magnitud menor es menos significativo.

Para este ejercicio se ha anclado dicho espectro a una aceleración pico del suelo $PGA=0.48$ que corresponde al sismo severo a lo largo de la cordillera volcánica, incluyendo ciudad de Guatemala, Quetzaltenango y San Marcos-San Pedro. La comparación indica algo típico de esperar: el espectro de diseño para edificaciones altas excede al espectro real.

Figura 42. **Espectros de diseño AGIES NSE 2-2010**



Fuente: Adaptado de AGIES. *Normas estructurales de construcción recomendadas para la República de Guatemala NR 2-10, 2010.*

Espectros de diseño AGIES NSE 2-2010 comparados con un espectro de respuesta del 7-11-2012 normalizado al sismo severo sobre la cordillera volcánica de Guatemala. La misma coincidencia resulta al comparar el sismo ordinario en esa zona ya que simplemente es 20 % más bajo.

4. RESULTADOS ESPERADOS

En este capítulo se presentan los resultados sobre el estudio de riesgo sísmico de la cabecera del departamento de San Marcos. Específicamente el diagnóstico de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones públicas y las viviendas en general. Además se presentan mapas que indican los lugares que están más propensos a un evento sísmico.

4.1. Deficiencias estructurales observadas en el sector

El uso del adobe está extendido en el planeta; son bloques de suelo moldeado a mano, no son cocidos a alta temperatura como los ladrillos y generalmente el material se extrae del propio terreno donde se edifica; en su fabricación no intervienen cambios moleculares químicos sino únicamente cambios físicos, que son por lo tanto ambientalmente reversibles; el adobe requiere un alto mantenimiento.

4.1.1. Daños en edificaciones de adobe

La razón principal que el adobe local sea muy vulnerable es el tipo de material con que se fabrica la mayoría del adobe en Guatemala. A diferencia de otros países del mundo, la mayoría del adobe en Guatemala no se hace con arcilla que es cohesiva después de moldearla. En el terreno volcánico joven de Guatemala lo que hay es limo, producto de la intemperización primaria de la arena y la ceniza volcánica.

Las partículas de limo aún no han desarrollado las propiedades cohesivas de las arcillas, por lo tanto la argamasa de limo es simple lodo, los bloques tienen mínima cohesión, poca capacidad de carga y tienen tendencia a desmoronarse en el propio medio ambiente y no es necesario decir que tienden a desintegrarse ante cualquier movimiento del terreno. El material encasillado entre el reticulado de madera del bajareque no es superior y si bien las retículas retrasan la desintegración del lodo, no la evitan.

Figura 43. **Policía Nacional Civil estructura de adobe con daño severo con falla a corte**



Fuente: Policía Nacional Civil estructura de adobe con daño severo con falla a corte.

En el edificio de la Policía Nacional Civil que es de adobe sufrieron daños severos o que colapsaron, muestran las típicas fallas de las edificaciones construidas con este material y sistema constructivo:

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

Figura 44. **Mecanismos de falla en estructuras de adobe**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

Mecanismos de falla típicos observados en estructuras de adobe. Desplome y separación de pared (izq) y tracción diagonal. Fue evidente en el área central del departamento de San Marcos que inclusive las casas de adobe que quedaron en pie sin daño externo aparente y que fueron aprobadas por los inspectores, presentaban con frecuencia este tipo de fallas en forma incipiente, especialmente el agrietamiento y separación de los muros en las esquinas y la tendencia de los muros que apoyan los techos inclinados a desplomarse hacia afuera. Estas edificaciones, de no hacerse nada (que es lo probable), presentan un peligro incremental para sus habitantes debido a que pueden ser más fácilmente afectadas aún con un sismo de menor intensidad.

4.1.1.1. Pocas posibilidades de refuerzo del adobe

El adobe de limo tiene dos problemas estructurales fundamentales: despreciable resistencia compresiva y carencia casi absoluta de capacidad interna de tracción. La carencia de tracción interna trata de remediarse incluyendo en la masa fresca de lodo fibras vegetales (paja u hojas de gramíneas) - las cuales también se incorporan en el lodo para el bajareque; ése es un refuerzo “micro” interno. La figura 45 muestra en detalle las características típicas del adobe de limo.

Figura 45. **Características del adobe de limo**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

Adobe de limo con refuerzo vegetal incorporado. Las unidades al centro-izquierda solamente están apiladas. Del lado derecho se observa la mezcla terrosa utilizada como liga entre adobes. La resistencia de estos mampuestos es irremediablemente baja.

Evidentemente se necesitaría refuerzo externo confinante para mantener unidos entre sí los adobes en cada paño de pared y también para unir los paños de pared entre sí durante un sismo; pero la resistencia compresiva es tan escasa y el material tan deleznable que otros materiales, por ejemplo cordones de concreto con algún refuerzo son ineficaces; los constructores hacen intentos como el de la figura, pero el buen desempeño sísmico es poco probable dadas las propiedades mecánicas tan disímiles del adobe de limo y del concreto.

Ejemplo de construcción de adobe con refuerzo de concreto este es un caso poco común, los propietarios prefieren usar block si van a gastar recursos en refuerzo. Obsérvese el deterioro ambiental del adobe de limo en las primeras hiladas junto al suelo.

4.1.2. Daños en edificaciones de mampostería confinada

Los daños estructurales a las edificaciones de mampostería confinada se pueden atribuir a cinco factores principales:

- Deficiencia en los materiales, especialmente en la calidad del block.
- Configuración estructural inadecuada.
- Abuso de las capacidades del sistema.
- Efectos de sitio.
- Falta de detalles adecuados de confinamiento y anclaje de los elementos.
- Estructurales.

A pesar de que la mayoría de las fallas en las estructuras de mampostería confinada se debieron a una combinación de dos o más de los factores anteriormente descritos, la raíz inicial de estas fallas fue la pésima calidad del block utilizado. Adicionalmente la mala calidad de concreto contribuyó a que los muros se desintegrarán.

Figura 46. **Mala calidad del block y las mochetas y soleras**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

En la figura 46 se muestra el muro de block dañado pero además el concreto de las mochetas y soleras no tenía buena resistencia. Se evidencia el daño en el confinamiento horizontal y vertical.

Figura 47. **Daño por block de mala calidad**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

La figura 47, evidencia el daño por block de mala calidad combinado con problemas de configuración: los “muñecos” de pared angostos y altos no funcionan bien contra sismo (cuando no tienen el respaldo de muros más largos cercanos); en el frente de esta casa solo había “muñecos” y ni una pared larga (la casa completa se muestra en la figura 47); también había insertos y cajas eléctricas debilitantes en lugares inadecuados. Mal block y concreto deficiente en las mochetas de borde; además este muro quedó obligado el sólo a resistir gran parte de la carga sísmica en una edificación de 3 niveles; había muy poco refuerzo confinante en las mochetas para un muro tan importante en la casa; notar que la solera intermedia quedó deshecha pero parece haber evitado que el muro se desarmará todo.

Figura 48. **Concreto deficiente**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

Los datos obtenidos de un muestreo aleatorio realizado por el Instituto del Cemento y el Concreto de Guatemala, ICCG, en fábricas de block artesanales ubicadas en el área cercana de la cabecera departamental de San Marcos días después del terremoto, muestran no solo bajas resistencias sino una gran variación. La resistencia de los bloques de concreto liviano hechos con agregado de pómez fluctuó desde los 13 kg/cm^2 hasta los 32 kg/cm^2 (medidos sobre el área bruta de las unidades).

La mayor parte del block que se comercializa en esta región proviene de fábricas artesanales, ubicadas principalmente en los departamento de San Marcos y Quetzaltenango, que generalmente son operadas por una familia y que carecen de todo tipo de control de calidad durante todo el proceso de fabricación, por lo que es común que la resistencia del block tenga variaciones drásticas todos los días.

En el área también se comercializa, pero en menor volumen, block que proviene de fábricas industrializadas cuyos procesos permiten la obtención de blocks de mejor calidad y con menor variación de resistencia. No obstante, un problema radica en que la mayor parte de las ventas de las empresas industriales en el interior de la república, con el afán de competir en costos con las fábricas de block artesanales, son de un block de baja resistencia (25 kg/cm² sobre área bruta), que está actualmente fuera de la Norma Técnica Guatemalteca para bloques huecos de concreto, NTG 41054.

Figura 49. **Fábrica de block artesanal típica**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

Tabla XIII. **Resistencia promedio, departamento San Marcos**

No.	Correlativo fabricante	Municipio	Resistencia		Resistencia promedio	kg cemento / unidad	Tipo de cemento	Tipo de máquina *
			Kg/cm ²	Kg/cm ²				
1	Fábrica CF 1	San Marcos	40	34	37.00	1.06	5000	C
2	Fábrica CF 2	San Marcos	25	24	24.50	1.06	5000	C
		San Marcos	37	36	36.50	1.06	5000	C
3	Fábrica CF 3	San Marcos	35	36	35.50	1.25	5000	C
		San Marcos	31	40	35.50	1.25	5000	C
		San Marcos	34	31	32.50	1.25	CPC40	C
4	Fábrica CF 4	San Marcos	18	17	17.50	1.06	CPC40	C
5	Fábrica CF 5	San Marcos	13	11	12.00	1.06	5000	C
6	Fábrica CF 6	San Marcos	16	16	16.00	1.06	5000	C
		San Marcos	10	14	12.00	1.06	CPC40	C
		San Marcos	12	10	11.00	1.06	5000	C
7	Fábrica CF 7	San Pedro	44	42	43.00	1.18	5000	C
8	Fábrica CF 8	San Pedro	8.00	18	13.00	1.18	4000	C
* C		Máquina artesanal de cajón	Desviación estándar:		11.85			

Fuente: elaboración propia.

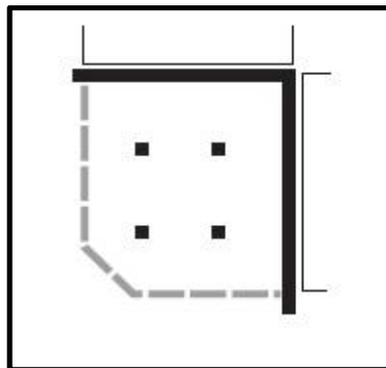
4.1.2.1. Configuración estructural deficiente

Otro factor importante que afectó el buen desempeño de las estructuras de mampostería confinada es una mala configuración estructural, derivada de la ausencia, en la mayoría de los casos, de un concepto estructural que resulte adecuado. Los problemas típicos de mala configuración estructural en el área afectada por el terremoto son los siguientes:

4.1.2.1.1. Casas de esquina

Este tipo de estructuras posee la mayor parte de los muros en los lados que dan hacia las vecindades, lo que ocasiona problemas de excentricidad que concentran los esfuerzos en los muros exteriores del perímetro debido a la rotación de la edificación que se genera. El problema se agrava cuando los muros de los niveles superiores no continúan en el primer nivel, en muchos casos de uso comercial, para tener ambientes amplios.

Figura 50. Esquema de la vista en planta



Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Edificación de esquina**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

Figura 52. **Configuración estructural inadecuada**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

En la figura 35 se aprecia una configuración estructural inadecuada, casa de esquina; mal block; mala proporción alto/ancho de los “muñecos” de pared en el costado de la casa; en las figuras anteriores se ve una configuración estructural inadecuada, casas de esquina; block que se desintegra en lugar de agrietarse. La figura 54, estructura de esquina, híbrida con marcos ordinarios de concreto y mampostería reforzada; grandes aberturas en la esquina; block que se desintegra; paredes poco resistentes en ejes con aberturas. Notar los agrietamientos generalizados en las paredes adentro y afuera.

Figura 53. **Estructura de esquina, híbrida**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

4.1.2.1.2. Estructuras tipo túnel

Tipo de estructuras tiene sus muros en una sola dirección predominante. La densidad de muros en la otra dirección es muy baja y se concentra en la parte trasera del edificio. El problema se agrava ya que muchas veces los muros de los niveles superiores no continúan en el primer nivel, en muchos casos por el uso comercial, para tener ambientes amplios.

Figura 54. Estructura tipo túnel



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

Figura 54, configuración estructural inadecuada, estructura tipo túnel. No tiene paredes transversales y ni una pared en el frente. Consejos para reducir los problemas sísmicos de “casas túnel” se ofrecen en el “Manual de Mampostería Reforzada para Maestros de la Construcción” Documento AGIES DSE 4-01.

4.1.2.1.3. Efectos de columna corta

Se pudieron observar varias instancias de fallas en elementos portantes debido a la concentración de esfuerzos causada por los efectos de columna corta. Las paredes literalmente cizallan las columnas demasiado esbeltas con las que estén en contacto. Esta deficiencia en la configuración estructural se presenta generalmente en las aberturas donde hay ventanas, especialmente si las ventanas son altas. Un ejemplo se presenta en la figura 56.

Figura 55. Edificación de cuatro niveles



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

Efectos de columna corta en la pared externa perpendicular del mismo edificio; la estructura no colapsó porque otros elementos estructurales interiores sostuvieron los pisos superiores cuando las columnas cortas fallaron.

Figura 56. **Pared externa perpendicular**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

El efecto de columna corta ocurre en dos formas: en estructuras de mampostería con sectores de columnas aisladas (por ejemplo la figura 57) y en edificios de marcos de concreto reforzado con rellenos de mampostería - este último caso es más peligroso porque cuando hay marcos las columnas solas resisten la carga y si se dañan, la edificación colapsa.

El tener columnas cortas en una estructura que tiene otros muros de mampostería que cargan, como las mostradas en las figuras anteriores, suele ser menos peligroso simplemente porque no son las columnas solas las que soportan el edificio. Pero de todos modos las consecuencias son graves. Por ejemplo, el centro de salud mostrado previamente tuvo daños severos por columna corta. Por la gravedad de estos y otros daños el edificio fue demolido.

Advertencias sobre columnas cortas se discuten en el *Manual de Mampostería Reforzada para Maestros de la Construcción* Documento AGIES DSE 4-01 (2013).

4.1.3. Daños en antiguas estructuras de mampostería confinada

La mampostería confinada se utiliza en Guatemala desde los años 1930. En esa época el material empleado era el ladrillo de arcilla cocida, macizo de fabricación artesanal. El sismo del 7 de noviembre ofreció dos casos interesantes de describir: una edificación de alrededor de 1940 y otra de los años 1960.

Figura 57. **Palacio Maya, San Marcos**



Fuente: Palacio Maya, Municipalidad de San Marcos.

En la figura 58 se aprecia el Palacio Maya, sede de la Municipalidad de San Marcos Recientemente remodelado arquitectónicamente aunque no estructuralmente; reportó daño severo y debió ser sacado de uso mientras se decide la reparación.

El llamado Palacio Maya fue construido con una estructura de mampostería confinada similar y contemporánea a la utilizada en edificios como la antigua Dirección de Sanidad pública y el edificio de Correos Nacionales en ciudad de Guatemala.

El daño no era aparente en el exterior pero era evidente en el interior donde los muros de mampostería de ladrillo confinada resistieron el sismo. El daño se observó principalmente en la desintegración del mortero de pega. Cabe la posibilidad que el mortero haya perdido resistencia por la alteración de la cal utilizada tras reaccionar con elementos ambientales, como el dióxido de carbono y la humedad. Importante hacer notar que el edificio había sido recientemente reacondicionado desde el punto de vista funcional y arquitectónico. No se consideró examinar la resistencia sísmica a la luz de criterios modernos (información verbal recabada en sitio). Se ha venido reacondicionando funcional y arquitectónicamente pero no se consideró una readecuación o al menos una revisión estructural (información verbal recabada en el sitio).

Estructura de 1960 que resultó con daño severo posiblemente agravado porque se le agregó un nivel adicional en el 2001 sin hacer previamente una revisión y refuerzo estructural tuvo que ser demolido. Un edificio para Centro de Salud con estructura mixta de mampostería confinada de ladrillo y concreto reforzado también fue afectado. El primer nivel del edificio databa de 1960.

Figura 58. **Centro de Salud, San Marcos**



Fuente: Centro de Salud, San Marcos

Figura 59. **Elemento intermedio de confinamiento vertical**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

En los muros de mampostería fue el mortero de pega el que falló predominantemente, figura 60; concurrentemente ocurrió una falla seria de varias columnas de concreto reforzado que estaban en condición cautiva (efecto de columna corta) como se ilustra en la figura. El edificio tenía muchos daños muy difíciles de reparar con el grado necesario de confiabilidad. Seguramente por esa razón se optó por demolerlo.

Figura 60. **Muro de mampostería de ladrillo dañado**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

Figura 61. **Mala calidad del mortero de pega en la mampostería de ladrillo confinado**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

En las figuras 61 y 62 se percibe la mala calidad del mortero de pega en la mampostería de ladrillo confinado (esta construcción data de 1960). Fue demolida por las columnas dañadas por efecto de columna corta o cautiva; el daño fue considerado irreparable posiblemente porque todo el segundo nivel rotó y se salió de plomo. Hay en este caso un factor importante a consignar: la estructura original era de un nivel.

Hace aproximadamente una década se amplió el edificio agregando un segundo nivel. Sin embargo, no se le hizo ningún refuerzo y posiblemente no se analizó desde un punto de vista estructural la factibilidad de hacerlo.

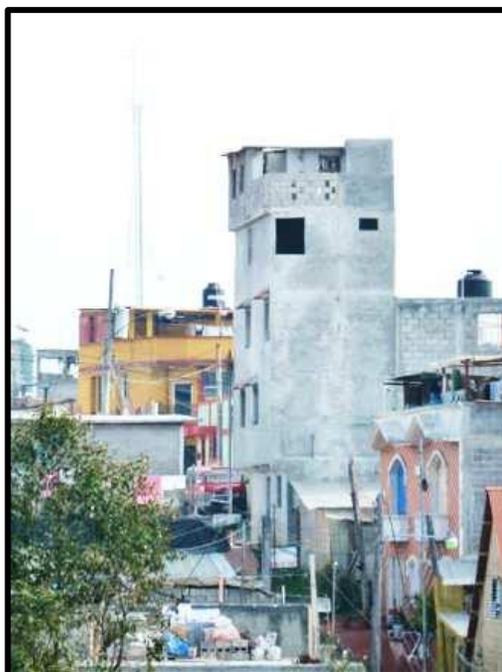
La tendencia de ampliar edificios de utilidad pública sin hacer consideraciones estructurales parece estar extendida. Por la experiencia sísmica previa puede decirse que el desempeño sísmico del sistema de mampostería confinada con las características locales ha sido satisfactorio. Esto presupone materiales de construcción de calidad razonable, esfuerzos internos en la mampostería reforzada suficientemente bajos y bien distribuidos sobre toda la edificación. Así queda suficiente reserva de capacidad para resistir sismos. Naturalmente un factor que no es posible apreciar de una fotografía es si los materiales son suficientemente buenos.

Además el sistema tiene indudablemente ventajas de confort y bajo mantenimiento que han inducido a la población a utilizarlo espontáneamente. Como bajo condiciones normales de carga de gravedad el sistema se desempeña bien se ha creado una aureola de confiabilidad que hace que cada vez se demande más del sistema. Véanse las edificaciones de 4 y 5 plantas que han proliferado en numerosas poblaciones.

Pero un análisis numérico 22 efectuado sobre casos reales indica que con un block de baja resistencia (25 kg/cm^2 sobre área bruta) 4 y 5 niveles resisten carga de gravedad pero ya no hay reserva de capacidad suficiente para resistir sismos de intensidad significativa. En consecuencia se está abusando del sistema constructivo. Claro, utilizar el término “abusar” es ilustrativo pero no del todo justo ya que no hay material publicado y distribuido a la fecha en Guatemala donde se indique cuáles son los límites del sistema. O cuándo se puede utilizar y para qué no funciona.

El proceso constructivo de una vivienda en el área rural generalmente se hace por fases, dependiendo de los recursos que la familia tenga disponibles en el momento. Muchas veces se empieza construyendo los cimientos y las paredes del primer nivel y se utiliza lámina para el techo. En esta etapa generalmente se compra el block más barato que tiende a ser de menor calidad. Cuando la familia tiene acceso a más recursos se le quita el techo de lámina y se le construye un techo de concreto a lo que sigue la construcción de uno o más pisos adicionales. Al final de todo el proceso se tienen edificaciones de mampostería confinada de 4 a 5 niveles, altamente vulnerables que frecuentemente resultan construidas con materiales de pobre calidad y sin ningún tipo de diseño y control.

Figura 62. **Edificación altamente vulnerable**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

Ejemplo de construcción con capacidad sísmica incierta. El problema se agrava cuando las municipalidades, que por su autonomía son las únicas con la potestad de regular la construcción en sus municipios, no ejercen ningún tipo de control, ni establecen limitantes a los constructores y dueños de los distintos proyectos.

4.1.4. Daños en estructuras de concreto reforzado

Los edificios medianos fuera de las áreas metropolitanas, las edificaciones porticadas con marcos de columnas y vigas que resisten las cargas verticales y horizontales, son comúnmente de tamaño intermedio de 2 a 6 niveles. Generalmente los marcos se combinan de alguna forma con elementos de mampostería que resultan participando estructuralmente en el conjunto, algunas veces aportando, otras en detrimento de la estructura principal.

Figura 63. Estación de Bomberos Municipales, San Marcos



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

La estructura estuvo a punto de colapsar debido a malos detalles de unión viga-columna además de una configuración estructural que lo hizo rotar en planta durante el sismo. La pared de mampostería “no-estructural” que se ve al fondo causó la rotación pero es muy probable que esa misma mampostería lo haya mantenido en pie. Observar que las columnas están dañadas justo antes del entrepiso - esta es una secuencia de falla incorrecta (las vigas deben fallar primero para prevenir colapso) las columnas con insuficiente tamaño de sección son una tendencia común de la edificaciones medianas en Guatemala.

Figura 64. **Organismo Judicial de San Marcos**



Fuente: Organismo Judicial de San Marcos.

El edificio del Organismo Judicial de San Marcos sufrió daños de consideración debido a efectos de columna corta y problemas de rotación en planta de los pisos superiores. El edificio resultó reparable ya que la calidad original de los materiales era aceptable y los responsables del mantenimiento tomaron medidas adecuadas.

4.1.5. Daños en estructuras medianas

Corriendo el riesgo de generalizar, puede decirse que hay un problema endémico en Guatemala con la edificación con marcos de concreto reforzado que se está denominando “mediana”. El problema es la proporción viga-columna. Hay una “timidez” de darle una sección adecuada a las columnas. El tamaño de la sección de columna tiende a verse como una función de la altura del edificio y la sección de 45 x 45 cm es muy frecuente; no se repara en que el tamaño de la sección de columna depende en gran medida del tamaño de la viga para poder generar un mecanismo de columna fuerte versus viga cedente en caso de sismo; por lo tanto es común ver nudos con vigas de mucho mayor tamaño que la columna. Este problema se observa en la figura 66 que corresponde a un nudo dentro del edificio mostrado en la figura 65.

Figura 65. **Nudo viga-columna**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

Figura 6 -3 - nudo viga-columna donde hay una mala proporción entre el tamaño de la columna y el tamaño de las vigas concurrentes la columna es muy pequeña y si hay sobre-esfuerzo esta falla primero lo que no es deseable. Las columnas en un marco deben imponerse a las vigas. Ya que el aumento de los esfuerzos en la base de las columnas debido principalmente a los enormes momentos de volteo que probablemente no resistieron la unión.

En el edificio mostrado en las figuras anteriores, el mencionado problema de la columna de poca sección se agrava porque el sillar de ventana esta rígidamente conectado con la pequeña columna; en estos casos lo recomendable es que los sillares pasen por delante de la columna; de la misma manera resulta recomendable que los cerramientos de mampostería del perímetro de los edificios pasen por fuera de las columnas.

Figura 66. **Edificio de la Gobernación Departamental de San Marcos**



Fuente: edificio de la Gobernación Departamental de San Marcos

Estructura reciente de 3 niveles incluido sótano, con problemas de unión viga columna y una retícula no-ordenada que fue modificada entre el primer y segundo nivel durante la construcción. El edificio tuvo que ser desalojado debido a los daños severos que sufrió. Se desconoce a la fecha si será o no reparado. El daño desde afuera no se aprecia y se concentra en las uniones viga columna entre niveles 1 y 2.

En cuanto a los tabiques de mampostería, los libros, manuales y cursos académicos suelen recomendar reiteradamente la separación de tabiques de la estructura; esto es más fácil decirlo que hacerlo: si los tabiques quedan sueltos requieren sellos de humedad y juntas relativamente elaboradas; el resultado es que los tabiques tienden a volcarse o en el mejor de los casos, se salen de plomo, es más eficiente sacarlos de eje de estructura principal especialmente de eje de columna y sujetarlos a la losa superior; si la estructura principal es adecuadamente rígida, los tabiques sufrirán poco daño pero no constituirán un peligro para los ocupantes.

Figura 67. **Tabiques de mampostería dañados**



Fuente: cabecera del departamento de San Marcos.

No hay suficiente detalle y tecnología actualizada incorporados al diseño y construcción. La conclusión general acerca de la edificación mediana de marcos de concreto reforzado en el medio local, es que deben robustecerse las estructuras, especialmente las columnas y que hay que limitar más eficientemente los desplazamientos horizontales sísmicos. Esta mejora resultaría automática solo con seguir de cerca los requerimientos de las normativas recientes vigentes que hacen énfasis en limitar desplazamientos sísmicos laterales.

4.2. Trabajos realizados por CONRED, dedicados al riesgo sísmico

Es imprescindible afirmar que en varios sectores de la construcción en Guatemala el rumbo ya viene derecho. Especialmente en la construcción de edificación de altura y edificación menor construida en serie. En 2010 después de los terremotos de Haití y Chile, la Coordinadora para la Reducción de Desastres CONRED emitió su Acuerdo 03-2010 reiterado por medio de su Acuerdo 05-2011. Ambos acuerdos contienen los elementos esenciales para romper esos círculos viciosos en los que no ha habido previsiones concretas para reducir desastres porque nadie exige normativas y nadie las exige porque no hay conciencia exacta que debería haber normativas específicas.

Los acuerdos mencionados avalan normativas de construcción que han estado disponibles en una u otra forma en el medio. Por ejemplo la Norma CONRED NRD-1 avala las Normas Recomendadas de Diseño y Construcción de AGIES, que desde su edición 2010 se han denominado Normas de Seguridad Estructural AGIES-NSE-2010.

Estas a su vez recogen normativas internacionales que se han utilizado espontáneamente en el medio profesional por largo tiempo. Ya está disponible la Norma NRD-2 sobre salidas de emergencia y rutas de evacuación. Recientemente se creó la Norma CONRED NRD-3 que avala las Normas Técnicas Guatemaltecas COGUANOR promovidas por el Instituto del Cemento y el Concreto de Guatemala sobre la calidad de materiales de construcción. Sin embargo, aunque los acuerdos de CONRED incluyen la edificación de uso público, tanto estatal como privado, hay poca palanca coercitiva.

En 2012 la Municipalidad de Guatemala tomó la determinación de requerir la aplicación de las normas de CONRED para otorgar licencias de construcción; esto fue un paso importante para allanar el camino hacia la adopción obligatoria de normas uniformes en la construcción privada. Claro, los profesionales responsables siempre han recurrido a alguna normativa, generalmente estadounidense, para basar la planificación de obras; la diferencia importante es que haya una referencia uniforme que el usuario pueda exigir y a la que el profesional pueda acogerse para su propia protección legal.

Falta ahora que más municipalidades del país se decidan a acordar normativas, sean estas las de CONRED (que sería lo más práctico) u otras. Por supuesto las cosas no son perfectas todavía. La actualización de las normas AGIES viene con cierto rezago, sobre todo para adaptarlas mejor al medio local. En especial, falta aún una normativa actualizada y también manual apropiada para efectuar la construcción menor usualmente llevada a cabo por constructores empíricos. AGIES planea tener literatura disponible a corto plazo. Por ahora, la mayoría de municipalidades no tienen aún las herramientas apropiadas para tratar de mejorar la construcción en sus jurisdicciones.

Finalmente, debe puntualizarse que la Norma NRD-1 de CONRED incluye un aspecto muy importante: una calendarización para revisar estructuralmente la edificación pública existente. Sin embargo, la calendarización está por vencer y nadie ha tomado acción alguna, que se sepa, para cumplir con las evaluaciones estructurales, que está sobradamente demostrado que son indispensables.

Problema aparte es que en realidad no hay recursos económicos, ni hay tampoco suficientes profesionales verdaderamente capacitados para llevarlas a cabo en el corto plazo. De más está repetir que en el sector privado es relativamente poco lo que se ha hecho para investigar los riesgos de la edificación más antigua. Las universidades necesitan aportar un esfuerzo académico significativo en sus programas de estudio para mejorar la situación.

4.3. Mapa de grado de vulnerabilidad estructural del sector estudiado

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

Tabla XIV. **Colores según la vulnerabilidad**

VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	COLOR ASOCIADO
Muy alta	ROJO
Alta	ANARANJADO
Significativa	AMARILLO
Mínima	VERDE

Fuente: elaboración propia.

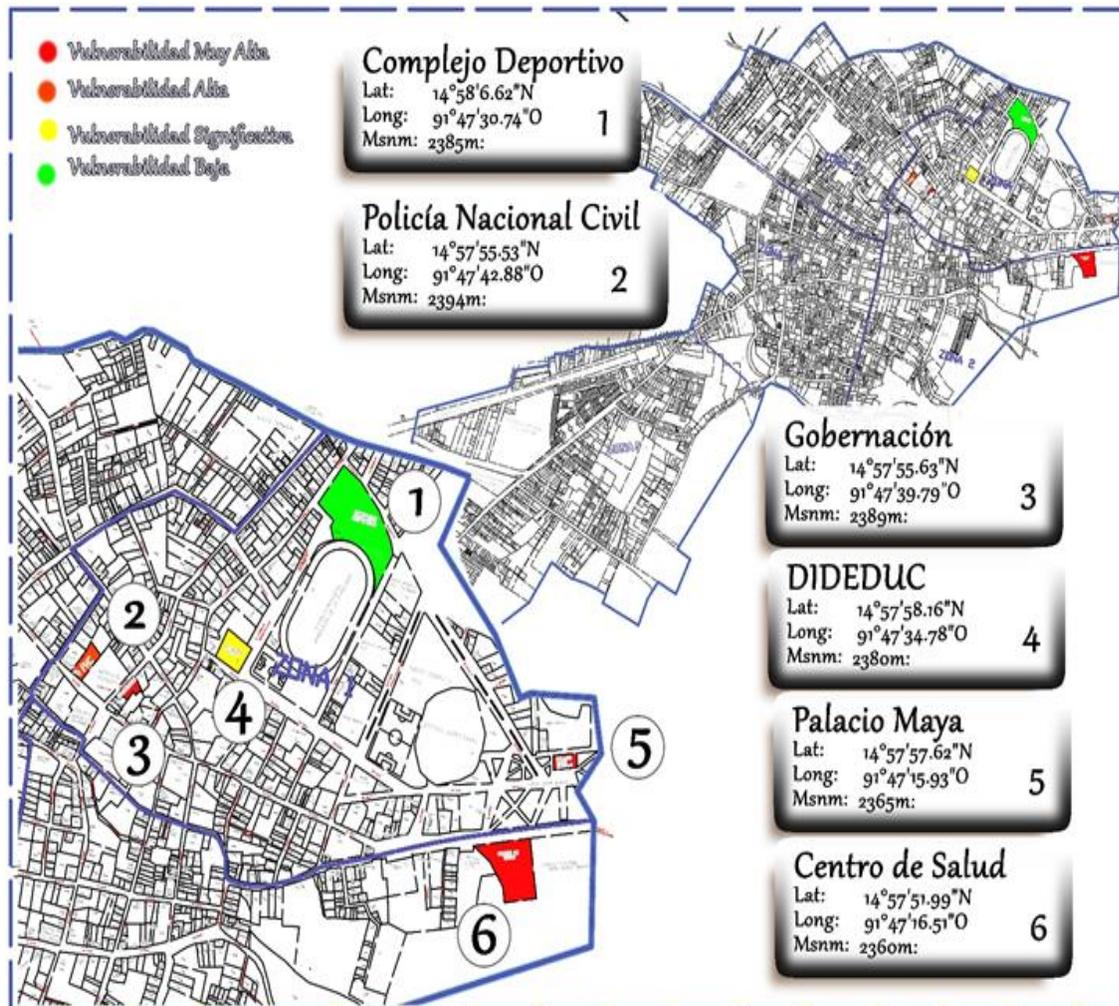
La figura 69 ilustra un mapa en el que se identificó con un color cada lote del sector evaluado, según su grado de vulnerabilidad estructural de acuerdo a los resultados obtenidos de la calificación final del método ATC-21, y con el criterio utilizado en la tabla XIV. Su propósito es facilitar la identificación de las estructuras más vulnerables para poder priorizar planes de mitigación.

Figura 68. **Mapa de grado de vulnerabilidad sísmica**



Fuente: elaboración propia, con Adobe Photoshop.

Figura 69. Mapa de vulnerabilidad sísmica de edificios públicos



Fuente: elaboración propia, con Adobe Photoshop.

La figura 70 ilustra un mapa en el que se muestra la vulnerabilidad sísmica de las principales edificaciones públicas de la cabecera municipal de San Marcos. Los cuales son: Palacio Maya, Complejo Deportivo, Policía Nacional Civil, Centro de Salud, Dirección Departamental de Educación.

4.4. Calificación dada a los edificios según su funcionalidad

Es la calificación inicial que se le otorga a cada estructura en función de su seguridad, comportamiento sísmico y amenaza sísmica (Applied Technology Council), 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.

- 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. Si se tiene duda acerca del tipo estructural del edificio y no es posible confirmarlo de manera sencilla, se debe seleccionar los más probables, evaluar para los seleccionados, y tomar el que presente la calificación estructural más baja con el objeto de determinar la situación más crítica que pueda presentar la estructura.

- Calificación básica

Es la calificación inicial que se le otorga a cada estructura en función de su seguridad, comportamiento sísmico y amenaza sísmica.

- 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. En la siguiente tabla se describen los factores que fueron empleados en este estudio.

Tabla XV. **Factores modificadores del comportamiento sísmico**

Modificador	Criterio
Gran altura	Para edificios de madera (M), estructura de acero liviano (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	Danos visibles, corrosión, fisuras, pudrición, elementos expuestos a danos por intemperie, etcétera.
Irregularidad vertical	Edificios con elevaciones de forma 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, con discontinuidad en los muros de corte.
Torsión	Rigidez estructural excéntrica o asimétrica evidenciada por asimetría en la configuración de los elementos estructurales ya sea horizontal o verticalmente.
Colisión entre edificios	Separación entre edificios adyacentes menor a 10 centímetros por niveles del edificio más bajo, y edificio más bajo, y edificios con poca separación en los que no coinciden las alturas de las losas. Este aspecto se observa en las edificaciones ubicadas en las laderas del barranco. Ya que debido a la inclinación del terreno alguna construcciones esta debajo de otras, muy probablemente con sus cimientos en plataformas distintas.

Continuación de la tabla XV.

Panales pesados en fachada	Paneles pesados de concreto, vidrio u otras materiales pesados utilizados como cerramiento.
Columnas cortas	Columnas restringidas por soleras o vigas de acople, o por muros bajos, o aquellas cuyas 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.
Código de diseño sísmico	Estructuras que han sido diseñadas con requerimientos y códigos sísmicos.
Suelo rígido, firme y estable, blando	Suelo rígido: Suelo tipo B Suelo firme y estable: Suelo tipo C Suelo blando
Otro modificador aplicable	Construcción empírica-1.0, edificaciones 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, edificaciones de mampostería no reforzada, de adobe u otro material, los que han sido reforzadas con técnicas no adecuadas, en general, los que atentan contra la vida de sus habitantes. El uso de block de alta resistencia en edificaciones de mampostería media, podría implicar un factor positivo, pues el edificio es más resistente.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Confiabilidad de los datos de evaluación**

Confiabilidad	Criterio
Alta	Certeza de que los datos son reales en más de un 95 %, porque se ha tenido acceso a fuentes confiables como estadísticas, planos, entrevistas y son fácilmente comprobables.
Media	Los datos son estimados ciertos arriba del 75 %, puesto que son evidentes y estimables según el criterio del inspector, aunque no se haya tenido acceso a fuentes de información.
Baja	Los datos son estimados ciertos en un 60 % o menos, se tiene duda, pero se ha considerado en la evaluación distintas situaciones y se ha elegido la más crítica.

Fuente: elaboración propia.

Las edificaciones públicas son instalaciones de algunos de estos están en buenas condiciones haciéndolos menos vulnerables ante un evento sísmico; pero otros no cuentan con construcciones adecuadas para utilizar los 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.

Las edificaciones públicas ubicadas dentro de la cabecera municipal de San Marcos para cada uno de estos se describen los resultados de la evaluación producto de la aplicación del método visual rápido propuesto en el inciso 3.1 y tomando en cuenta los criterios que antes mencionados.

Figura 71. Evaluación Palacio Maya

METODO DE EVALUACION VISUAL RAPIDO															
Dirección:															
Identificación:		Código postal:													
Número de pisos:		Área en m ² :													
Uso original:		Año de construcción:													
Inspector:		Fecha de inspección:													
Número de ocupantes 0-10 11-100 >100 TIPO Residencial Comercial Oficinas Industrial Reunión pública Esc. Anst. Edif. de Gob. Serv. emergencia Edificio histórico															
Peligro en colindancias SI <input checked="" type="checkbox"/>		ESQUEMA													
Otros peligros SI <input checked="" type="checkbox"/>		CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACIÓN													
Tipo de estructura Calificación básica		M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR
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	<input checked="" type="checkbox"/>	-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 SI <input checked="" type="checkbox"/>		Columnas cortas mediana rigidez Columnas aisladas < 0.30*0.30 cm Código de diseño sísmico Otro modificador aplicable													
Confiabledad de los datos Alta <input checked="" type="checkbox"/> Media <input checked="" type="checkbox"/> Baja		Suelo rígido (edificios altos) Suelo rígido (edificios bajos) Suelo firme y estable Suelos blandos Suelos blandos (edificios altos)													
Calificación final															
Observaciones:		Se sugiere evaluación detallada SI <input checked="" type="checkbox"/>													

Fuente: elaboración propia.

Figura 70. Evaluación Centro de Salud

METODO DE EVALUACION VISUAL RAPIDO																
Dirección:																
Identificación:										Código postal:						
Número de pisos:										Área en m ² :						
Uso original:										Año de construcción:						
Inspector:										Fecha de inspección:						
Número de ocupantes 0-10 11-100 >100 TIPO Residencial Comercial Oficinas Industrial Reunión pública Esc. Inst. Edif. de Gob. Serv. emergencia Edificio histórico																
Peligro en colindancias SI <input checked="" type="checkbox"/>		ESQUEMA														
CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACIÓN																
Otros peligros		Tipo de estructura	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR
		Calificación básica	4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	1.5	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	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	<input checked="" type="checkbox"/>	-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	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
Peligro no estructural SI <input checked="" type="checkbox"/>		Columnas cortas 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 < 0.30*0.30 cm	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
		Código de diseño sísmico														
		Otro modificador aplicable														
Confiabilidad de los datos Alta <input checked="" type="checkbox"/> Media Baja		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
		Suelos blandos	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
		Suelos blandos (edificios altos)	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
		Calificación final														
Observaciones:										Se sugiere evaluación detallada						
										SI <input checked="" type="checkbox"/>						

Fuente: elaboración propia.

Figura 71. Evaluación Dirección Departamental de Educación

METODO DE EVALUACION VISUAL RAPIDO																
Dirección:																
Identificación:										Código postal:						
Número de pisos:										Área en m ² :						
Uso original:										Año de construcción:						
Inspector:										Fecha de inspección:						
Número de ocupantes 0-10 11-100 >100 TIPO Residencial Comercial Oficinas Industrial Reunion pública Esc./Inst. Edif. de Gob. Serv. emergencia Edificio Histórico																
Peligro en colindancias SI <input checked="" type="checkbox"/>		ESQUEMA														
CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACIÓN																
Otros peligros		Tipo de estructura	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR
		Calificación básica	4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	1.5	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	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	<input checked="" type="checkbox"/>	-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
SI <input checked="" type="checkbox"/>		Código de diseño sísmico														
		Otro modificador aplicable														
Confiable		Suelo rígido (edificios altos)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
de los datos		Suelo rígido (edificios bajos)	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
		Suelo firme y estable	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Alta		Suelos blandos	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Media <input checked="" type="checkbox"/>		Suelos blandos (edificios altos)	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
Baja		Calificación final														
Observaciones:										Se sugiere evaluación detallada						
										SI <input checked="" type="checkbox"/>						

Fuente: elaboración propia.

Figura 72. Evaluación Policía Nacional Civil

METODO DE EVALUACION VISUAL RAPIDO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Dirección:										Código postal:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Identificación:										Área en m ² :																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Número de pisos:										Año de construcción:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Uso original:										Fecha de inspección:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Inspector:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Número de ocupantes																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
0-10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
11-100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
>100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
TIPO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Residencial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Comercial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Oficinas																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Industrial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Reunión pública																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Esc. Anst.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Edif. de Gob.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Serv. emergencia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Edificio histórico																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Peligro en colindancias		ESQUEMA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
SI <input checked="" type="checkbox"/>		CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Otros peligros		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de estructura</th> <th>M</th> <th>A1</th> <th>A2</th> <th>A3</th> <th>A4</th> <th>A5</th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> <th>CC</th> <th>CP</th> <th>MS</th> <th>MM</th> <th>MNR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calificación básica</td> <td>4.5</td> <td>4.5</td> <td>3.0</td> <td>5.5</td> <td>3.5</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td>1.5</td> <td>3.0</td> <td>2.5</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Gran altura</td> <td>N/A</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> <td>N/A</td> <td>-1.0</td> <td>-0.5</td> <td>-1.0</td> <td>-1.0</td> <td>-0.5</td> <td>N/A</td> <td>-0.5</td> <td>-1.0</td> <td>-1.0</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Mal mantenimiento</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad vertical >40%</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad vertical 20%-40%</td> <td>-0.3</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad vertical 10%-20%</td> <td>-0.2</td> </tr> <tr> <td>Nivel suave</td> <td>-1.0</td> <td>-2.5</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>-1.0</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> <td>-2.0</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> <td>-1.0</td> <td>-2.0</td> <td>-2.0</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> </tr> <tr> <td>Torsión</td> <td>-0.8</td> <td>-1.6</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad en planta >40%</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad en planta 20%-40%</td> <td>-0.3</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad en planta 10%-20%</td> <td>-0.2</td> </tr> <tr> <td>Colisión entre edificios</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Paneles pesados en fachada</td> <td>N/A</td> <td>-1.5</td> <td>-1.5</td> <td>-1.5</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-1.0</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-1.0</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Columnas cortas alta rigidez</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>Columnas cortas mediana rigidez</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>N/A</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> </tr> <tr> <td>Columnas aisladas < 0.30*0.30 cm</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>N/A</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> </tr> <tr> <td>Peligro no estructural</td> <td colspan="14">SI <input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Confianza de los datos</td> <td colspan="14"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Confianza de los datos</th> <th>M</th> <th>A1</th> <th>A2</th> <th>A3</th> <th>A4</th> <th>A5</th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> <th>CC</th> <th>CP</th> <th>MS</th> <th>MM</th> <th>MNR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Suelo rígido (edificios altos)</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Suelo rígido (edificios bajos)</td> <td>-1.0</td> </tr> <tr> <td>Suelo firme y estable</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Suelos blandos</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td>Suelos blandos (edificios altos)</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>Calificación final</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="2">Observaciones:</td> <td colspan="14">Se sugiere evaluación detallada</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="14">SI <input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>														Tipo de estructura	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR	Calificación básica	4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	1.5	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	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	<input checked="" type="checkbox"/>	-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	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	Columnas cortas 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 < 0.30*0.30 cm	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	Peligro no estructural	SI <input checked="" type="checkbox"/>														Confianza de los datos		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Confianza de los datos</th> <th>M</th> <th>A1</th> <th>A2</th> <th>A3</th> <th>A4</th> <th>A5</th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> <th>CC</th> <th>CP</th> <th>MS</th> <th>MM</th> <th>MNR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Suelo rígido (edificios altos)</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Suelo rígido (edificios bajos)</td> <td>-1.0</td> </tr> <tr> <td>Suelo firme y estable</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Suelos blandos</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td>Suelos blandos (edificios altos)</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>Calificación final</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>														Confianza de los datos	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR	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	Suelos blandos	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	Suelos blandos (edificios altos)	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	Calificación final															Observaciones:		Se sugiere evaluación detallada																SI <input checked="" type="checkbox"/>													
Tipo de estructura	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Calificación básica	4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	1.5	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	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	<input checked="" type="checkbox"/>	-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	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Columnas cortas 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 < 0.30*0.30 cm	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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Peligro no estructural	SI <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Confianza de los datos		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Confianza de los datos</th> <th>M</th> <th>A1</th> <th>A2</th> <th>A3</th> <th>A4</th> <th>A5</th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> <th>CC</th> <th>CP</th> <th>MS</th> <th>MM</th> <th>MNR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Suelo rígido (edificios altos)</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Suelo rígido (edificios bajos)</td> <td>-1.0</td> </tr> <tr> <td>Suelo firme y estable</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Suelos blandos</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td>Suelos blandos (edificios altos)</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>Calificación final</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>														Confianza de los datos	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR	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	Suelos blandos	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	Suelos blandos (edificios altos)	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	Calificación final																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Confianza de los datos	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Suelos blandos	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Suelos blandos (edificios altos)	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Calificación final																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Observaciones:		Se sugiere evaluación detallada																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
		SI <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

Fuente: elaboración propia.

Figura 73. Evaluación Complejo Deportivo

METODO DE EVALUACION VISUAL RAPIDO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Dirección:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Identificación:								Código postal:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Número de pisos:								Área en m ² :																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Uso original:								Año de construcción:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Inspector:								Fecha de inspección:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Número de ocupantes																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
0-10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
11-100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
>100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
TIPO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Residencial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Comercial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Oficinas																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Industrial																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Reunión pública																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Esc. Inst.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Edif. de Gob.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Serv. emergencia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Edificio histórico																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Peligro en colindancias		ESQUEMA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
SI <input checked="" type="checkbox"/>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="16">CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACIÓN</th> </tr> <tr> <th>Otros peligros</th> <th>Tipo de estructura</th> <th>M</th> <th>A1</th> <th>A2</th> <th>A3</th> <th>A4</th> <th>A5</th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> <th>CC</th> <th>CP</th> <th>MS</th> <th>MM</th> <th>MNR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Calificación básica</td> <td>4.5</td> <td>4.5</td> <td>3.0</td> <td>5.5</td> <td>3.5</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td>1.5</td> <td>3.0</td> <td>2.5</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Gran altura</td> <td>N/A</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> <td>N/A</td> <td>-1.0</td> <td>-0.5</td> <td>-1.0</td> <td>-1.0</td> <td>-0.5</td> <td>N/A</td> <td>-0.5</td> <td>-1.0</td> <td>-1.0</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mal mantenimiento</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Irregularidad vertical >40%</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Irregularidad vertical 20%-40%</td> <td>-0.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Irregularidad vertical 10%-20%</td> <td>-0.2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Nivel suave</td> <td>-1.0</td> <td>-2.5</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>-1.0</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> <td>-2.0</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> <td>-1.0</td> <td>-2.0</td> <td>-2.0</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Torsión</td> <td>-0.8</td> <td>-1.6</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Irregularidad en planta >40%</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Irregularidad en planta 20%-40%</td> <td>-0.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Irregularidad en planta 10%-20%</td> <td>-0.2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Colisión entre edificios</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Paneles pesados en fachada</td> <td>N/A</td> <td>-1.5</td> <td>-1.5</td> <td>-1.5</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-1.0</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-1.0</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Columnas cortas alta rigidez</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Columnas cortas mediana rigidez</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>N/A</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Columnas aisladas < 0.30*0.30 cm</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>N/A</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Código de diseño sísmico</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Otro modificador aplicable</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Confiable</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>de los datos</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Alta</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Media</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Baja</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Calificación final</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>														CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACIÓN																Otros peligros	Tipo de estructura	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR		Calificación básica	4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	1.5	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	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	<input checked="" type="checkbox"/>	-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		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		Código de diseño sísmico																Otro modificador aplicable																Confiable																de los datos																Alta																Media																Baja																Calificación final														
CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Otros peligros	Tipo de estructura	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	Calificación básica	4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	1.5	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	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	<input checked="" type="checkbox"/>	-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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	Código de diseño sísmico																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	Otro modificador aplicable																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	Confiable																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	de los datos																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	Alta																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	Media																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	Baja																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	Calificación final																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Observaciones:								Se sugiere evaluación detallada																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
								SI <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

Fuente: elaboración propia.

Figura 74. Evaluación edificio de Gobernación

METODO DE EVALUACION VISUAL RAPIDO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Dirección:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Identificación:										Código postal:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Número de pisos:										Área en m ² :																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Uso original:										Año de construcción:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Inspector:										Fecha de inspección:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
<table border="1"> <tr> <td>Número de ocupantes</td> <td>0-10</td> <td>11-100</td> <td>>100</td> </tr> <tr> <td>TIPO</td> <td>Residencial</td> <td>Comercial</td> <td>Oficinas</td> <td>Industrial</td> <td>Reunión pública</td> <td>Esc./Inst.</td> <td>Edif. de Gob.</td> <td>Serv. emergencia</td> <td>Edificio histórico</td> </tr> <tr> <td>Peligro en colindancias</td> <td colspan="14">SI <input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>															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	SI <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
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	SI <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
ESQUEMA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FACTORES DE MODIFICACIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Otros peligros</th> <th>Tipo de estructura</th> <th>M</th> <th>A1</th> <th>A2</th> <th>A3</th> <th>A4</th> <th>A5</th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> <th>CC</th> <th>CP</th> <th>MS</th> <th>MM</th> <th>MNR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calificación básica</td> <td></td> <td>4.5</td> <td>4.5</td> <td>3.0</td> <td>5.5</td> <td>3.5</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> <td>1.5</td> <td>3.0</td> <td>2.5</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Gran altura</td> <td></td> <td>N/A</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> <td>N/A</td> <td>-1.0</td> <td>-0.5</td> <td>-1.0</td> <td>-1.0</td> <td>-0.5</td> <td>N/A</td> <td>-0.5</td> <td>-1.0</td> <td>-1.0</td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Mal mantenimiento</td> <td></td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad vertical >40%</td> <td></td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad vertical 20%-40%</td> <td></td> <td>-0.3</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad vertical 10%-20%</td> <td></td> <td>-0.2</td> </tr> <tr> <td>Nivel suave</td> <td></td> <td>-1.0</td> <td>-2.5</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>-1.0</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> <td>-2.0</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> <td>-1.0</td> <td>-2.0</td> <td>-2.0</td> <td>-2.0</td> <td>-1.0</td> </tr> <tr> <td>Torsión</td> <td></td> <td>-0.8</td> <td>-1.6</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad en planta >40%</td> <td></td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad en planta 20%-40%</td> <td></td> <td>-0.3</td> </tr> <tr> <td>Irregularidad en planta 10%-20%</td> <td></td> <td>-0.2</td> </tr> <tr> <td>Colisión entre edificios</td> <td></td> <td>-0.5</td> </tr> <tr> <td>Paneles pesados en fachada</td> <td></td> <td>N/A</td> <td>-1.5</td> <td>-1.5</td> <td>-1.5</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-1.0</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-1.0</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Columnas cortas alta rigidez</td> <td></td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>Columnas cortas mediana rigidez</td> <td></td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>N/A</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> </tr> <tr> <td>Columnas aisladas < 0.30*0.30 cm</td> <td></td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>N/A</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> <td>-0.1</td> </tr> <tr> <td>Peligro no estructural</td> <td>Código de diseño sísmico</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SI <input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Otro modificador aplicable</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Confiabilidad de los datos</td> <td>Suelo rígido (edificios altos)</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>Alta</td> <td>Suelo rígido (edificios bajos)</td> <td>-1.0</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>Suelo firme y estable</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Baja</td> <td>Suelos blandos</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Suelos blandos (edificios altos)</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>N/A</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Calificación final</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>															Otros peligros	Tipo de estructura	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR	Calificación básica		4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	1.5	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	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	<input checked="" type="checkbox"/>	-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	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	Peligro no estructural	Código de diseño sísmico															SI <input checked="" type="checkbox"/>	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	Alta	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	Media	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	Baja	Suelos blandos	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6		Suelos blandos (edificios altos)	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8		Calificación final														
Otros peligros	Tipo de estructura	M	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	CC	CP	MS	MM	MNR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Calificación básica		4.5	4.5	3.0	5.5	3.5	1.5	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	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	<input checked="" type="checkbox"/>	-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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Peligro no estructural	Código de diseño sísmico																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
SI <input checked="" type="checkbox"/>	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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Alta	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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Media	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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Baja	Suelos blandos	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	Suelos blandos (edificios altos)	N/A	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	N/A	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	Calificación final																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Observaciones:										Se sugiere evaluación detallada																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
										SI <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Resultado Palacio Maya**

RESULTADOS DE EVALUACIÓN	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Calificación final	-2,5
Vulnerabilidad	Muy alta
No. de muertes esperadas	30
No. de heridos esperados	53
Daños materiales	Q10 000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultado Centro de Salud**

RESULTADOS DE EVALUACIÓN	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Calificación final	-1.5
Vulnerabilidad	Muy Alta
No. de muertes esperadas	78
No. de heridos esperados	102
Daños materiales	Q8,456,765.10

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Resultado Dirección Departamental de Educación**

RESULTADOS DE EVALUACIÓN	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Calificación final	2,5
Vulnerabilidad	Mínima
No. de muertes esperadas	3
No. de heridos esperados	9
Daños materiales	Q0.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultado Policía Nacional Civil**

RESULTADOS DE EVALUACIÓN	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Calificación final	1
Vulnerabilidad	Significativa
No. de muertes esperadas	13
No. de heridos esperados	18
Daños materiales	Q 972 205,10

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resultado Complejo Nacional**

RESULTADOS DE EVALUACIÓN	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Calificación final	2.5
Vulnerabilidad	Mínima
No. de muertes esperadas	1
No. de heridos esperados	3
Daños materiales	Q0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resultado Edificio de Gobernación**

RESULTADOS DE EVALUACIÓN	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Calificación final	-2
Vulnerabilidad	Muy Alta
No. de muertes esperadas	26
No. de heridos esperados	35
Daños materiales	Q5,230,600.10

Fuente: elaboración propia.

4.5. Riesgo sísmico determinado según importancia local

No todo sismo de magnitud significativa tiene por qué generar consecuencias negativas en las construcciones como, el colapso o daños severos. La destrucción que puede causar un sismo es en buena medida una cuestión de vulnerabilidad generada por la manera de construir.

Por mismo, actualmente Guatemala ha sido un país que ha padecido terremotos cuando podría ser simplemente un país con sismos. Hay muchos casos como: Cuenca del Motagua (Ms 7.5 -1976), Uspantán (M=5.5 - 1985), Pochuta (M=5.5 - 1991), Río Dulce (Ms 6.0 - 1999), Cuilapa (M=5.0 - 2011). Estos son datos de los últimos treinta y siete años de sismos que han causado destrucción, muertes y penurias en algún punto del territorio guatemalteco y por lo tanto se consideran como terremotos.

El sismo ocurrido el 7 de noviembre de 2012 en el occidente de Guatemala dejó como consecuencia: destrucción, muertes y numerosos damnificados. Ante tal evento fue imposible la reparación de todo lo dañado y el reemplazo inmediato de lo destruido, por lo mismo se generó una virtual situación de desplazados y entidades de servicio público muy afectadas.

En contraste, un sismo también sacudió la región de Guanacaste en Costa Rica en septiembre de 2012. Tuvo el mismo origen costa afuera que el ocurrido en Guatemala, liberó 20 a 25 por ciento más energía sísmica (Ms 7,6 vs. Ms 7,4), fue más superficial (15 km vs. 25 km) y desarrolló similares intensidades de vibración (Mercalli VI a VII) pero sobre un área mayor. Sin embargo, solo hubo dos fallecidos y no media centena. Por supuesto hubo daños en la infraestructura, escuelas, hospitales y viviendas, pero no se dio el grado de destrucción ocurrido en Guatemala.

Es impresionante el hecho que haya diferencias en las consecuencias, considerando que las características del fenómeno telúrico fueron similares y en ambos sitios había la misma categoría de edificaciones. En Costa Rica los costos de reparación o de reemplazo de escuelas, centros de salud y otros edificios fueron significativamente menores, y el Estado no se vio políticamente orillado a tratar de reemplazar en forma perentoria gran número de viviendas, costeadas del fondo común. Posiblemente en Guatemala haya muchos factores políticos y sociales que no permiten que se tenga una cultura de previsión y prevención.

4.5.1. Construcción menor

En las zonas sujetas a mayor intensidad de vibración colapsaron las viviendas de adobe de limo; en un área más amplia sujeta a intensidades menores, este tipo de construcción se agrietó. La edificación de block liviano de cemento con refuerzo confinante de acero tuvo un comportamiento notablemente mejor, especialmente en el área de intensidad media.

La población, en general, ha comprendido las ventajas de este sistema desde que vio su mejor desempeño durante el terremoto del Motagua en 1976. La familia que tiene algún recurso económico, por modesto que sea, ya no construye con adobe de limo. Poblaciones enteras se han venido reemplazando espontáneamente, tal vez más por cuestión de status social y confort que por previsión sísmica.

En los centros urbanos, aún en los pequeños, es simplemente más fácil y práctico construir con block que con el viejo sistema. Sin embargo, se vio en Cuilapa en 2011 y ahora en San Marcos, que la antigua edificación peligrosa no se reemplaza al ritmo deseable.

Y es esa edificación, cuando falla, la que genera destrucción y muchos de los problemas pos sismo; el resto de las edificaciones, menos afectadas, permiten la actividad comercial continuada, aún al día siguiente del evento como se evidenció en San Marcos. Debe entonces incrementarse la conciencia pública del peligro y la previsión, y ofrecer políticas de reemplazo de la edificación peligrosa, por ejemplo con créditos blandos, para los que se encuentren en mayor riesgo. Es más fácil decirlo que poder hacerlo, pero esa es una de las rutas para la reducción de vulnerabilidad sísmica y ambiental.

4.5.1.1. Mampostería con refuerzo

Anteriormente se mencionaron las efectivas ventajas sísmicas de este sistema constructivo, le pese a quien le pese, porque hay quien añora todavía el techito rojizo de tejas con la pared de adobe encalada. Pero si la seguridad asequible es de color gris con aristas duras, como las casas de block con refuerzo confinante, bienvenida sea. Y se dice seguridad “asequible” porque actualmente es más fácil para el constructor empírico obtenerla con el block reforzado que con otros sistemas. Si el block reforzado no fuera práctico no tendría el empuje espontáneo que tiene en el país.

Pero no todo es dorado en el ámbito constructivo del block con refuerzo de acero. Durante el evento del 7 de noviembre, el sistema sí tuvo fallas, algunas significativas en las zonas sujetas a mayor intensidad sísmica en el área central de San Marcos. Las razones principales fueron dos: la mala calidad de los materiales empleados y una configuración estructural deficiente de la edificación. Hay que agregar el abuso que se hace del sistema empírico, que puede funcionar bien en dos y hasta tres niveles, pero que ha sido llevado a cuatro y cinco niveles en algunas poblaciones y esto está definitivamente más allá de la capacidad de la construcción tradicional.

No existe una cultura del usuario de exigir una calidad adecuada, el artículo más barato comúnmente se impone, normalmente a costa de la calidad. Se utiliza el mismo block para construir una casa de uno o cinco niveles. Pero la verdad es que tampoco sabe el público cuál es la calidad que debe requerirse. Se habla del abuso del sistema constructivo, pero nadie ha establecido formalmente cuáles son los límites. Se critica a las municipalidades porque no reglamentan la construcción. Si bien ha estado disponible la Norma AGIES NSE-4, falta el material didáctico y técnico complementario para ponerla al alcance de los constructores empíricos del interior de Guatemala. No se han propuesto hasta ahora en el país herramientas prácticas y efectivas al efecto. Ni técnicas ni legales coercitivas.

AGIES tiene en su programa de trabajo actual contribuir a reducir esta carencia de bibliografía y falta de material técnico que aplique al sistema constructivo vernáculo; también contribuir a diseminar conceptos y técnicas apropiadas. El WB está apoyando el programa de AGIES por medio del contrato que auspicia este informe.

4.5.2. Construcción antigua basada en técnicas obsoletas

Ocurrieron algunos casos de edificaciones que incorporaban detalles constructivos obsoletos que causaron daños importantes en San Marcos. También ocurrieron algunos casos de edificios centenarios con daños incipientes (quedaron en estado de daño incipiente porque la intensidad sísmica en fue mediana). El sismo de noviembre puso de manifiesto lo que de hecho ya se conoce: que muchos edificios construidos en épocas anteriores requieren ser reforzados.

4.5.2.1. Refuerzo preventivo

Existen técnicas de refuerzo desarrolladas en las últimas décadas que no se está aplicando en Guatemala, en parte porque los propietarios tienden a tener una confianza desmedida en estas edificaciones de “comprobada” resistencia y en parte porque el problema latente no se ha divulgado lo suficiente. Además, se requiere de inversión y el proceso de readecuación produce molestias en el funcionamiento de las instalaciones. Por lo tanto, aunque se reconozca el problema, hay tendencia a soslayarlo. Total, el próximo sismo nunca es mañana.

4.5.3. Construcción nueva diseñada inadecuadamente

Este es un aspecto importante que ocurre frecuentemente en edificaciones medianas de pocos pisos. Probablemente se considera que el tamaño de la edificación no es trascendente y al final resultan diseñados con criterios y detalles constructivos poco adecuados. Al menos dos casos se dieron en el área más afectada por el sismo de noviembre: una estación de bomberos y un edificio gubernamental. A la larga, cabe la posibilidad que sean reparados de la misma forma que fueron diseñados: aplicando técnicas que no necesariamente son las más apropiadas. En este sentido falta camino por recorrer en Guatemala: la edificación mediana debe tratarse tan seriamente como las edificaciones de gran tamaño.

5. PROPUESTA DE MEJORAS

Con base en el estudio de vulnerabilidad sísmica realizado en la cabecera de San Marcos, se muestran sugerencias para mitigar riesgos sísmicos. Se presentan planes de diseño estructural en función de varios aspectos como: daños en infraestructura, información y conocimiento del riesgo sísmico y códigos de construcción.

5.1. Plan de mitigación para el diseño estructural en edificaciones

Para la propuesta de mejoras en las edificaciones públicas ha de considerarse el diseño estructural evitando problemas de arquitectura que afectan directamente la configuración estructural. En general los aspectos a considerar pueden dividirse en dos áreas 1) por su naturaleza, las edificaciones públicas tienden a ser de gran envergadura y complejidad, lo que conduce a que en muchos casos presenten esquemas de configuración complejos y 2) por configuración se refiere al tipo, disposición, fragmentación, resistencia y geometría de la estructura de la edificación, relación de la cual se derivan ciertos problemas de respuesta estructural ante sismos.

En el planeamiento de un edificio para uso público es necesario tener en cuenta que históricamente una de las mayores causas de daños en edificaciones ha sido en el uso de esquemas de configuración arquitectónico /estructural nocivos. Puede decirse de manera general que el alejamiento de formas y esquemas estructurales simples es castigado fuertemente por los sismos. Y con frecuencia los métodos de análisis sísmicos no logran cuantificar adecuadamente la mayoría de estos problemas.

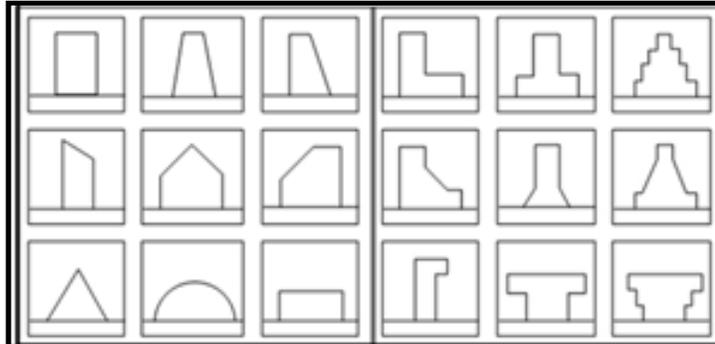
Debido a la naturaleza errática de los sismos, así como la posibilidad de que se exceda el nivel de diseño, es aconsejable evitar el planteamiento de configuraciones riesgosas, independientemente del grado de sofisticación que sea posible lograr en el análisis de cada caso. Debido a su complejidad y a su estrecha relación con el planteamiento de espacio y forma de la construcción, los problemas de configuración deben ser enfrentados básicamente desde la etapa de definición del esquema espacial del edificio y en toda la etapa de diseño.

5.1.1. Configuración en planta y elevación

Problemas de configuración en planta con frecuencia son referentes a la disposición de la estructura en el plano horizontal, en relación con la forma y distribución del espacio arquitectónico. Los problemas de configuración en planta se presentan cuando las plantas son continuas, algunas de las plantas que a simple vista se pueden percibir como complejas y que cuentan con las respectivas juntas de dilatación sísmicas no presentan problemas para el comportamiento frente a sismos.

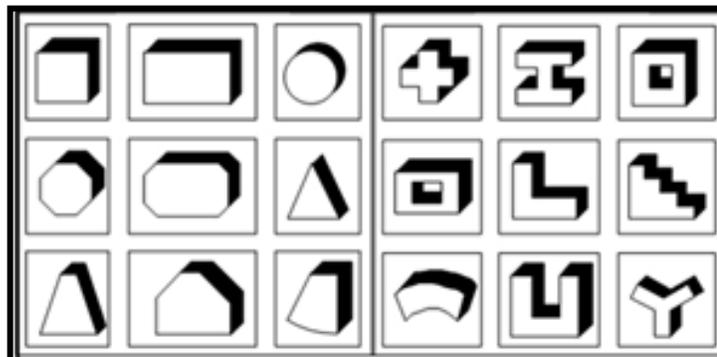
La longitud en planta de una construcción influye en la respuesta estructural de la misma de una manera que no es fácil determinar por medio de los métodos usuales de análisis. En el movimiento del terreno consiste en una transmisión de ondas a velocidad que depende de las características de masa y rigidez del suelo de soporte, la excitación que se da en un punto de apoyo del edificio en un momento dado difiere de la que se da en otro, diferencia que es mayor en la medida en que sea mayor la longitud del edificio en la dirección de las ondas. Los edificios cortos se acomodan más fácilmente a las ondas que los edificios largos.

Figura 75. **Formas sencillas y complejas en elevaciones**



Fuente: ARNOLD, Christopher; REITHERMAN, Robert. *Configuración y diseño sísmico de edificios*. p. 239.

Figura 76. **Formas sencillas y complejas en plantas**

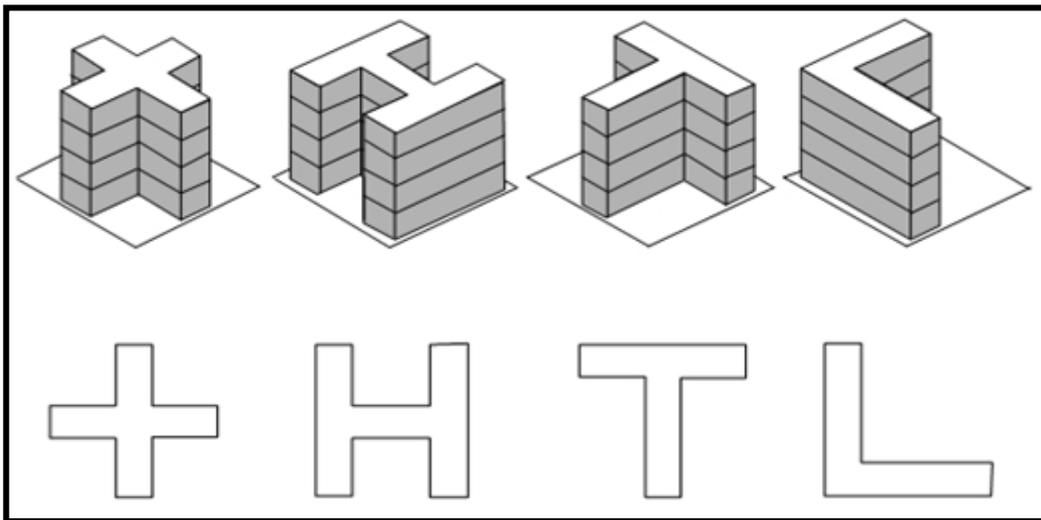


Fuente: ARNOLD, Christopher; REITHERMAN, Robert. *Configuración y diseño sísmico de edificios*. p. 239.

El correctivo usual para el problema de longitud excesiva de edificios es la partición de la estructura en bloques por medio de la inserción de juntas de dilatación sísmica, de tal manera que cada uno de ellos pueda ser considerado como corto.

Estas juntas deben ser diseñadas de manera tal que permitan un adecuado movimiento de cada bloque sin peligro de golpeteo o choque entre los diferentes cuerpos o bloques que componen la edificación. Los edificios largos son más sensibles a las componentes torsionales de los movimientos del terreno, puesto que las diferencias de movimientos transversales y longitudinales del terreno de apoyo, de las que depende dicha rotación son mayores. Concentración de esfuerzos debido a plantas complejas, es muy común en edificaciones con bastante afluencia de personas como los públicos. Se define como planta compleja a aquella en la cual la línea de unión de dos de sus puntos suficientemente alejados hace su recorrido en buena parte fuera de la planta. Esto se da cuando la planta está compuesta de alas de tamaño significativo orientadas en diferentes direcciones (formas en H, U, L, entre otros).

Figura 77. **Formas de plantas**

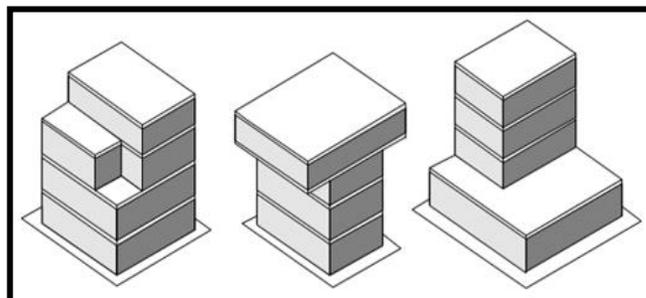


Fuente: ARNOLD, Christopher; REITHERMAN, Robert. *Configuración y diseño sísmico de edificios*. p. 239.

En las plantas irregulares, las alas pueden asimilarse a un voladizo empotrado en el cuerpo restante del edificio, sitio en el cual sufriría menores deformaciones laterales que en el resto del ala, por esta razón aparecen grandes esfuerzos en la zona de transición, los cuales producen con frecuencia daños en los elementos no estructurales, en la estructura vertical y aun en el diafragma de la planta.

La solución consiste en la introducción de juntas de dilatación sísmica, como las mencionadas para el caso de los edificios largos. Estas juntas permiten que cada bloque tenga su propio movimiento sin estar atado al resto del edificio, con lo cual se rompe el esquema de trabajo en voladizo de cada ala. Los problemas en escalonamientos en los volúmenes del edificio se presentan habitualmente por exigencias urbanísticas de iluminación, proporción, etc., y desde el punto de vista sísmico, son causa de cambios bruscos de rigidez y de masa y traen consigo la concentración de fuerzas que producen daño en los pisos aledaños a la zona del cambio brusco, lo ideal es buscar que las transiciones sean lo más suave posible con el fin de evitar dicha concentración.

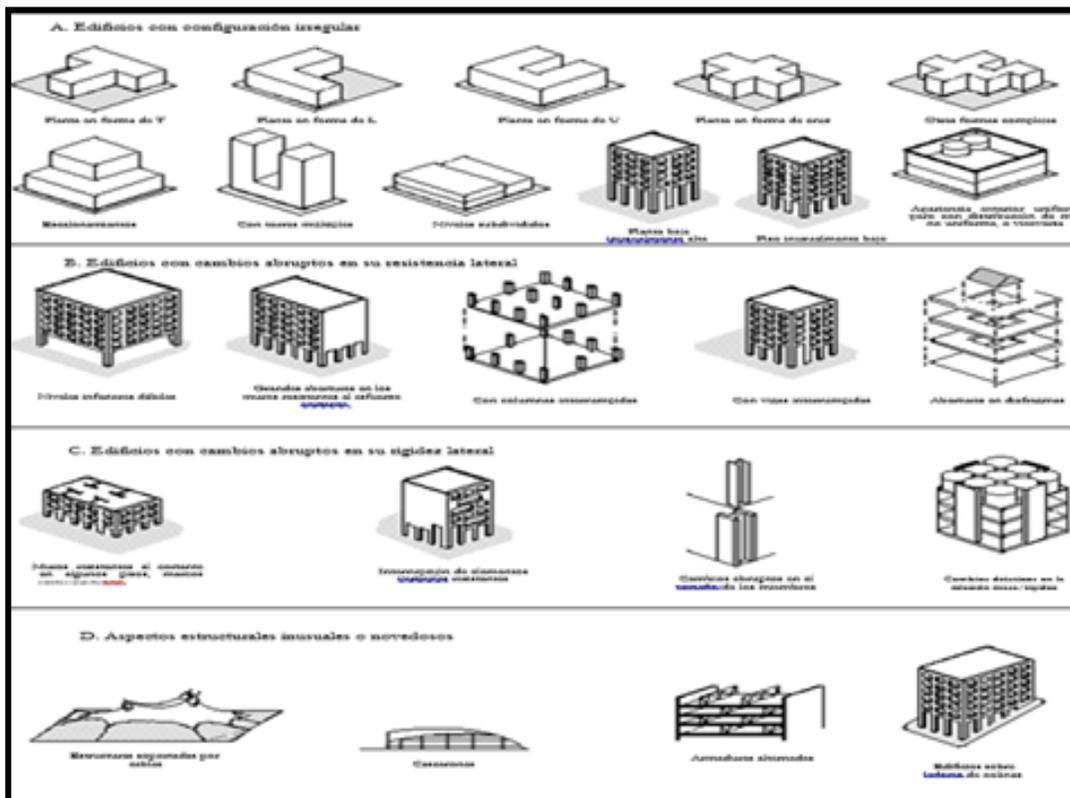
Figura 78. **Formas irregulares de altura**



Fuente: ARNOLD, Christopher; REITHERMAN, Robert. *Configuración y diseño sísmico de edificios*. p. 239.

A continuación se muestran algunas características de configuración para edificaciones que deben ser evitadas en instalaciones públicas, debido al comportamiento inadecuado que han experimentado en caso de sismos.

Figura 79. Irregularidades en estructuras



Fuente: Interpretación gráfica de "irregularidades en estructuras o en sistemas de marcos", del Comentario al SEAOC (Recommended Lateral Force Requirements and Commentary). Tomado de: ARNOLD, Christopher; REITHERMAN, Robert. *Configuración y diseño sísmico de edificios*.

5.1.2. Concentración de masa

En la configuración estructural, lo más común son las concentraciones de masa y el problema es ocasionado por altas concentraciones de la masa en algún nivel determinado del edificio que se puede deber a la disposición en él de elementos pesados, tales como equipos, tanques, bodegas, archivos, entre otros, es mayor en la medida en que dicho nivel pesado se ubica a mayor altura, con lo cual se tiene una mayor fuerza sísmica de respuesta allí y por ende una mayor posibilidad de volcamiento del equipo.

Figura 80. Concentraciones de masa



Fuente: Asistente para el diseño de estructuras sismoresistente.
<www.civil.cicloides.com>. [Consulta: mayo de 2014].

En el diseño arquitectónico es recomendable disponer los espacios que representen pesos inusuales en sótanos o en construcciones aisladas aledañas al cuerpo principal del edificio. En casos en los que por razones topográficas se deba tener almacenamientos de agua elevados, debe preferirse construir torres independientes para ese fin.

Las columnas dentro de una estructura tienen la vital importancia de ser los elementos que transmiten las cargas a las cimentaciones y mantienen en pie a la estructura, razón por la cual cualquier daño en este tipo de elementos puede provocar una redistribución de cargas entre los elementos de la estructura y traer consigo el colapso parcial o total de una edificación.

Figura 81. **Columnas débiles**



Fuente: <https://www.google.com.gt/search?q=columnas+debiles>. [Consulta: mayo de 2014].

El diseño sísmico de pórticos (estructuras formadas preferentemente por vigas y columnas) busca que el daño producido por sismos intensos se produzca en vigas y no en columnas, debido al mayor riesgo de colapso del edificio por el de daño en columnas. Sin embargo, muchos edificios diseñados según códigos de sismo resistencia han fallado por esta causa. Estas fallas pueden agruparse en dos clases:

- Columnas de menor resistencia que las vigas
- Columnas cortas

Varias son las causas de que el valor de la longitud libre se reduzca drásticamente y se considere que se presenta una columna corta: confinamiento lateral parcialmente en la altura de la columna por muros divisorios, muros de fachada, muros de contención, entre otros.

Disposición de losas en niveles intermedios y la ubicación del edificio en terrenos inclinados. Las columnas cortas son causa de serias fallas en edificios bajo excitaciones sísmicas debido a que su mecanismo de falla es frágil.

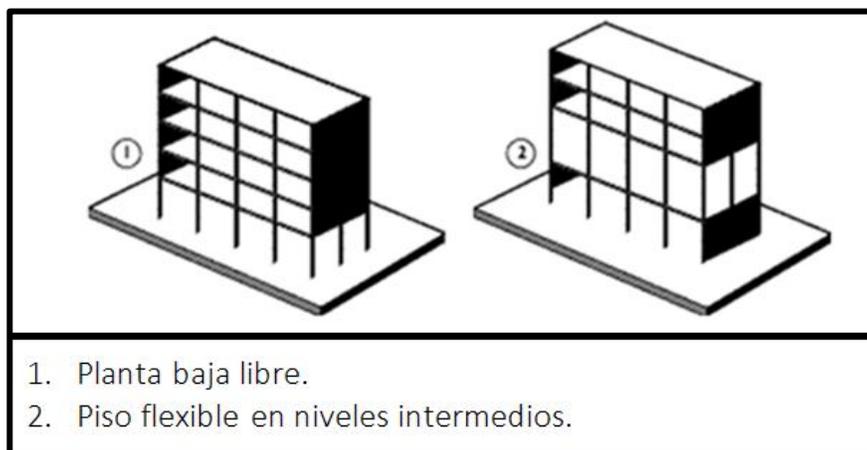
5.1.3. Pisos suaves

Varios tipos de esquemas arquitectónicos y estructurales conducen a la formación de los llamados pisos débiles o suaves, es decir, pisos que son más vulnerables al daño sísmico que los restantes, debido a que tienen menor rigidez, menor resistencia o ambas cosas. La interrupción de elementos verticales de la estructura ha probado ser la causa de múltiples colapsos parciales o totales en edificios sometidos a sismos, sobre todo cuando la interrupción de los elementos verticales resistentes (muros y columnas) se presenta en los pisos inferiores. La razón del deslizamiento del piso recae en que el nivel en que se interrumpen los elementos es más flexible que los restantes, con lo que aumenta el problema de estabilidad, pero además porque se origina un cambio brusco de rigidez que ocasiona una mayor acumulación de energía en el piso más débil.

Los casos más usuales de interrupción de elementos verticales, que ocurre generalmente por razones espaciales, formales o estéticas, son los siguientes: Interrupción de las columnas, interrupción de muros estructurales (muros de cortante) e interrupción de muros divisorios, concebidos erróneamente como no estructurales, alineados con pórticos.

La presencia de pisos suaves se puede atribuir a la diferencia de altura entre pisos y la interrupción de elementos estructurales verticales en el piso.

Figura 82. **Pisos suaves (vista estructura)**



Fuente: Asistente para el diseño de estructuras sismoresistente. <www.civil.cicloides.com>

[Consulta: mayo de 2014].

La falta de redundancia es otro problema que se experimenta con frecuencia en la construcción de edificaciones públicas. El diseño estructural sismo resistente contempla la posibilidad de daño de los elementos estructurales para los sismos más intensos.

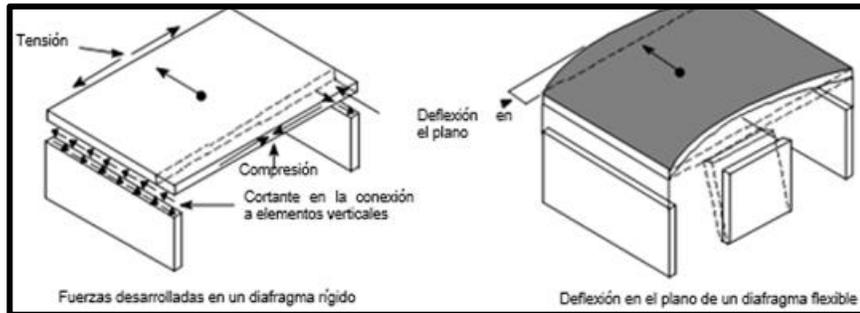
Desde este punto de vista, el diseño de la estructura debe buscar que la resistencia a las fuerzas sísmicas dependa de un número importante de elementos, puesto que cuando se cuenta con un número reducido de elementos (poca redundancia) la falla de alguno de ellos puede tener como consecuencia el colapso parcial o total durante el sismo. En este sentido, debe buscarse que la resistencia a las fuerzas sísmicas se distribuya entre el mayor número de elementos estructurales posibles.

5.1.4. Diafragmas flexibles

La excesiva flexibilidad de la edificación ante cargas sísmicas puede definirse como la susceptibilidad a sufrir grandes deformaciones laterales entre los diferentes pisos, conocidas como derivas.

Las principales causas de este problema residen en la excesiva distancia entre los elementos de soporte, las alturas libres y la rigidez de los mismos. Dependiendo de su grado, la flexibilidad puede traer como consecuencias: los daños en los elementos no estructurales adosados a niveles contiguos, la inestabilidad del o los pisos flexibles, o del edificio en general y el no aprovechamiento de la ductilidad disponible. Cuando los edificios manifiestan un comportamiento excesivamente flexible del diafragma de piso implica la posibilidad de formaciones laterales no uniformes, las cuales son en principio perjudiciales para los elementos no estructurales adosados al diafragma. Adicionalmente, la distribución de fuerzas laterales no se hará de acuerdo a la rigidez de los elementos verticales.

Figura 83. **Demasiada flexibilidad en el diafragma**



Fuente: Asistente para el diseño de estructuras sismoresistente. <www.civil.cicloides.com>

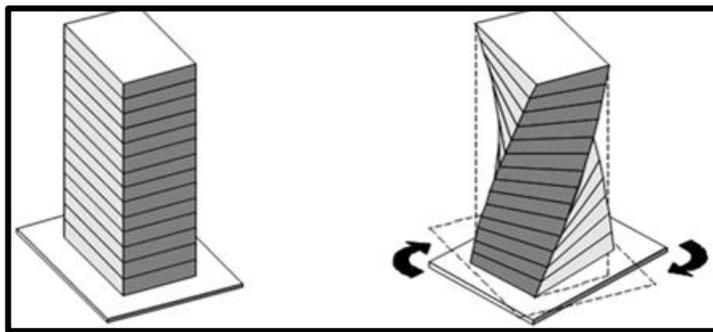
[Consulta: mayo de 2014].

Son varias las razones por las cuales puede darse este tipo de comportamiento flexible. Entre ellas se encuentran las siguientes: flexibilidad del material del diafragma, relación de aspecto (largo/ancho) del diafragma. Por tratarse de un trabajo a flexión de este tipo de elementos, mientras mayor sea la relación largo/ancho del diafragma, mayores pueden ser sus deformaciones laterales. En general, los diafragmas con relaciones de aspecto superiores a 5 pueden considerarse flexibles. Rigidez de la estructura vertical.

La flexibilidad del diafragma debe juzgarse también de acuerdo con la distribución en planta de la rigidez de los elementos verticales. En el caso extremo de un diafragma en el que todos los elementos verticales tengan igual rigidez, es de esperarse un mejor comportamiento del diafragma que en el caso en el cual tengan grandes diferencias en este punto. Las aberturas de gran tamaño practicadas en el diafragma para efectos de iluminación, ventilación y relación visual entre los pisos, ocasionan la aparición de zonas flexibles dentro del diafragma, las cuales impiden el ensamblaje rígido de las estructuras verticales.

Las soluciones al problema de excesiva flexibilidad del diafragma son múltiples, y dependen de la causa que la haya ocasionado. Las grandes aberturas en el diafragma deben estudiarse con cuidado, con el fin de proveer mecanismo de haga rígido o si esto no es posible, la segmentación del edificio en bloques. En los elementos más comunes causantes de daños también se encuentra la torsión en edificios públicos sometidos a sismos intensos, que van desde la distorsión a veces visible de la estructura hasta el colapso estructural.

Figura 84. **Torsión en la base**



Fuente: Asistente para el diseño de estructuras sismoresistente. <www.civil.cicloides.com>

[Consulta: mayo de 2014].

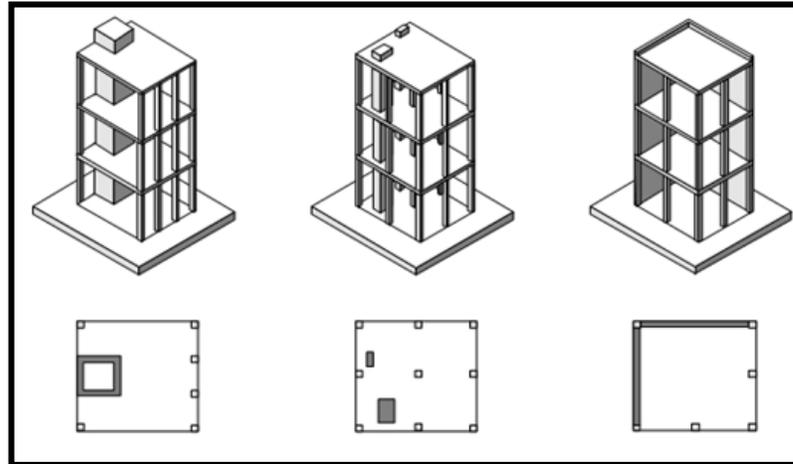
La torsión se produce por la excentricidad existente entre el centro de masa y el centro de rigidez. Algunos de los casos que pueden dar lugar a dicha situación en planta son: posición de elementos rígidos de manera asimétrica con respecto al centro de gravedad del piso, colocación de grandes masas en forma asimétrica con respecto a la rigidez y la combinación de las dos situaciones anteriores.

Puede considerarse que una excentricidad entre el centro de la masa y de rigidez es grande cuando supera el 10 % de la dimensión en planta bajo análisis. Si se contempla además la situación en altura, el panorama de la torsión puede complicarse aún más cuando hay irregularidades verticales, como los escalonamientos. En efecto, la parte superior del edificio transmite a la inferior un cortante excéntrico, lo cual provoca torsión del nivel de transición hacia abajo, independientemente de la simetría o asimetría estructural de los pisos superiores e inferiores.

5.1.5. Centro de masa y rigidez

Como todos los problemas de configuración, el de la torsión debe ser enfrentado desde la etapa de diseño espacial y de forma de la edificación. Los correctivos necesarios para el problema de la torsión pueden resumirse en general en los siguientes aspectos: las torsiones deben ser consideradas inevitables, debido a la naturaleza del fenómeno y a las características de la estructura. A efectos del control de la torsión, debe estudiarse con cuidado el planteamiento de la estructura en planta y en altura, así como la presencia y la necesidad de aislamiento de los muros divisorios no estructurales que puedan intervenir estructuralmente en el momento de un sismo y el objetivo debe ser proveer a la estructura con la mayor simetría posible de la rigidez con respecto a la masa.

Figura 85. **Centro de masa y rigidez**



Fuente: Asistente para el diseño de estructuras sismoresistente. <www.civil.cicloides.com>
[Consulta: mayo de 2014].

El diseño sísmo resistente de estructuras posee un nivel de complejidad superior al que caracteriza el diseño para cargas estáticas de gravedad, debido a los factores que se deben tener en cuenta en él. Entre estos se encuentran los siguientes:

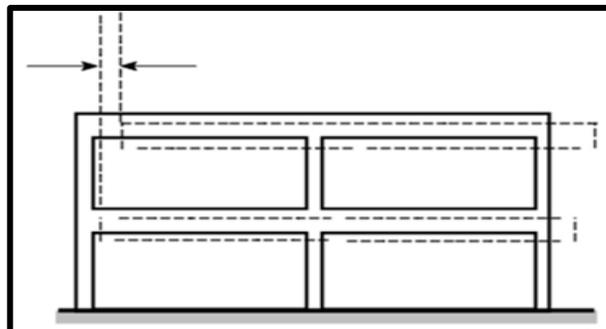
- La naturaleza azarosa de las características del sismo.
- La incertidumbre sobre la respuesta de la estructura, debida a la heterogeneidad de la calidad de los materiales, la interacción con los elementos no estructurales, la variación de las cargas de servicio, las variaciones presentadas en la construcción, entre otros.
- Los mecanismos de falla y disipación de energía que impliquen el menor riesgo para la vida humana y sus propiedades.
- El costo social asociado a la falla de edificios, especialmente en el caso en que sean esenciales para la atención de un desastre.

Los códigos de diseño enmarcan algunos de estos problemas por medio de fórmulas cuantitativas sobre seguridad global o local. El seguimiento irreflexivo de estas normas en el diseño habitual de estructuras, hace que el contenido de fondo de tales simplificaciones sea frecuentemente desconocido u olvidado. Sin embargo, en el diseño de cualquier edificio y en el de aquellos que deban permanecer en el mejor estado posible después de un sismo, deben tenerse presentes las implicaciones de cada decisión importante de acuerdo con los principios y avances de la ingeniería sísmica, y bajo la óptica de la presencia de la construcción en un medio social.

5.1.6. Derivas

Las implicaciones en el diseño sísmico de los aspectos mencionados se muestran a continuación: derivas (desplazamiento relativo entre pisos). En principio, los grandes desplazamientos laterales ponen en peligro la seguridad de la construcción en su totalidad, debido al daño que pueden representar para los elementos no estructurales en general. Sin embargo, cuando son aún mayores traen consigo el riesgo de colapso parcial o total de la edificación.

Figura 86. Derivas



Fuente: Asistente para el diseño de estructuras sismoresistente. <www.civil.cicloides.com>

[Consulta: mayo de 2014].

Se ha establecido que no son deseables valores de la deriva que superen el 1 o el 1,5 por mil de la altura libre entre los dos niveles. Para un análisis adecuado de los problemas de derivas y estabilidad resulta de gran importancia el cálculo de unos valores adecuados de desplazamiento inelástico. Ser conservador en este aspecto es más conveniente en el caso de hospitales que en el de otras construcciones, debido a las implicaciones que los daños en elementos no estructurales y estructurales tienen para los ocupantes y la comunidad en general.

La intervención y reducción de la vulnerabilidad estructural para los establecimientos públicos en grados variables a daños por fuerzas sísmicas, fuerzas de vientos huracanados u otras amenazas naturales. Muchas edificaciones públicas no cumplen con los requisitos técnicos necesarios para asegurar su funcionamiento con posterioridad a desastres naturales. Esto significa que su vulnerabilidad a ciertas amenazas naturales puede ser tan alta que su riesgo puede exceder ampliamente los niveles aceptados actualmente. Por lo tanto, deben llevarse a cabo medidas de mitigación de acuerdo con los requisitos ingenieriles actuales de cada país, asegurándose de que consideren las características de ocupación de la edificación a fin de reducir el riesgo y garantizar un comportamiento adecuado.

La ejecución de un proyecto de reestructuración debe obedecer a un programa de trabajo detallado que involucre aspectos que aseguren el menor impacto en el normal funcionamiento de edificaciones de obras públicas en cada etapa del proceso, para lo cual debe definirse una debida coordinación con el personal administrativo, de atención médica y de mantenimiento. La reducción debe ser obligatoria para edificios públicos esenciales para la atención de emergencias derivadas de sismos.

El análisis y el diseño del modelo estructural, así como la construcción del refuerzo, deben realizarse considerando los aspectos físicos y funcionales, el sistema de refuerzo no debe afectar la operatividad del edificio, los aspectos de seguridad estructural para reducir la vulnerabilidad a niveles aceptables que permitan el funcionamiento del hospital con posterioridad a un sismo, los sistemas constructivos.

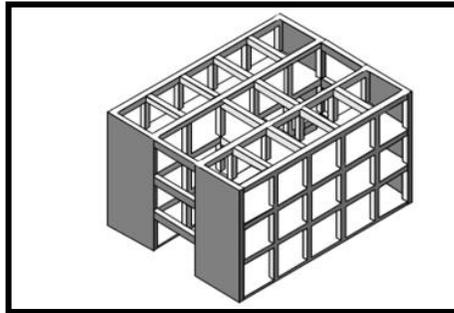
Todo sistema de refuerzo debe considerar la utilización de sistemas constructivos que tengan el menor impacto en el funcionamiento normal del hospital, ya que este se ejecuta por lo general en un hospital que se encuentra en operación. Los costos de intervención son variables y como prioridad se debe buscar la reducción de la vulnerabilidad existente, atendiendo a los problemas de comportamiento existentes.

La reestructuración estructural como mínimo debe lograr:

- Aumento de resistencia.
- Aumento de rigidez y por lo tanto una disminución de los desplazamientos.
- Aumento de la ductilidad.
- Lograr una distribución adecuada de las fuerzas entre los diferentes elementos resistentes, tanto en planta como altura.

Los muros en el exterior del edificio han sido una solución se emplea generalmente cuando las limitaciones de espacio y de continuidad de uso del edificio hacen preferible el trabajo en la periferia. Para asegurar la transmisión de esfuerzos por medio del diafragma a los muros se emplean vigas colectoras en los bordes de la losa. No es recomendable para edificios muy largos.

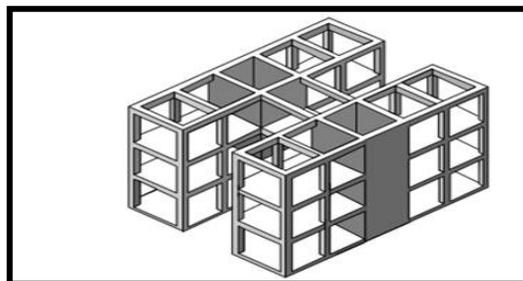
Figura 87. **Muros estructurales en la periferia**



Fuente: Asistente para el diseño de estructuras sismoresistente. <www.civil.cicloides.com>
[Consulta: mayo de 2014].

Muros en el interior del edificio, cuando las posibilidades de trabajo en el interior del edificio lo permitan, son una alternativa de necesaria consideración en edificios largos, en los cuales la flexibilidad del diafragma deba ser reducida. Se insertan generalmente por medio de perforaciones en los diafragmas, a través de las cuales pasan las barras de refuerzo.

Figura 88. **Muros estructurales en interior**



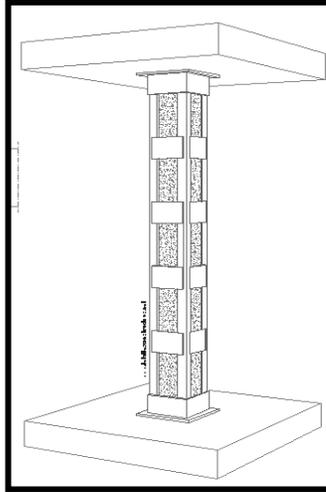
Fuente: Asistente para el diseño de estructuras sismoresistente. <www.civil.cicloides.com>
[Consulta: mayo de 2014].

Otra forma de reforzar es en el interior como en el exterior de edificios el relleno de vanos de pórticos con muros de concreto o de mampostería reforzada.

Debido a la unión con la columna, los esfuerzos en estas cambiarán sustancialmente. Si el refuerzo de la columna es suficiente para el nuevo estado, la unión con el muro podrá realizarse solamente por medio de pasadores soldados. En caso contrario, se debe construir un encamisado de la columna, monolítico con el muro.

Los pórticos contrafuertes son otra opción y a diferencia de los elementos anteriores, su colocación es perpendicular a la cara del edificio. Además de aportar rigidez, son útiles para tomar el momento de vuelco en edificios esbeltos. Otra solución frecuente consiste en incluir varios pórticos de acero con diagonales anclados fuertemente a los diafragmas, como sustituto de los muros de rigidez. El encamisado de columnas y vigas es empleado para sistemas de pórtico, este sistema se realiza generalmente sobre una gran parte de las columnas y vigas de un edificio, con el fin de aumentar tanto su rigidez como su resistencia y ductilidad.

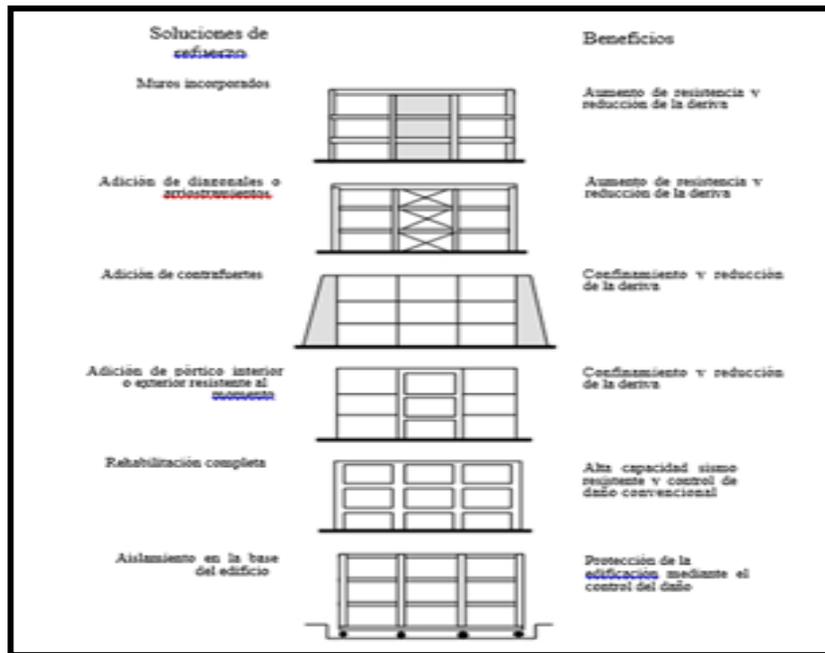
Figura 89. **Encamisado**



Fuente: Asistente para el diseño de estructuras sismoresistente. <www.civil.cicloides.com>
[Consulta: mayo de 2014].

La construcción de un nuevo sistema aporticado combina con la incorporación de muros estructurales internos perpendiculares al sentido longitudinal de los pórticos existentes.

Figura 90. **Soluciones conceptuales**



Fuente: Asistente para el diseño de estructuras sísmoresistente. <www.civil.cicloides.com>

[Consulta: mayo de 2014].

La intervención de la vulnerabilidad sísmica de la estructura de una edificación es una tarea usualmente más compleja que la que se puede realizar en otro tipo de edificaciones. Varios son los aspectos. Entre ellos se pueden destacar que normalmente la edificación no se puede desocupar a efectos de llevar a cabo el refuerzo. Se debe prever que habrá un amplio número de labores imprevistas debido a la dificultad de identificar con precisión detalles del proceso constructivo con anterioridad a la iniciación de los trabajos. Deben conocerse los elementos no estructurales y los efectos sobre los acabados arquitectónicos, previamente al inicio de la intervención estructural.

Por lo anterior, el desarrollo de una reestructuración debe obedecer a un programa de trabajo muy detallado que involucre aspectos relativos a la función de los servicios en cada etapa del proceso. En la temática se considera la mitigación de daños en elementos arquitectónicos por su aporte en la mitigación de riesgos. De su estabilidad depende que no se conviertan en un peligro para las personas que habitan el edificio en caso de un sismo. Este aspecto es muy importante, dado que no se trata simplemente de que el hospital no falle estructuralmente, sino que sus acabados, muros, puertas, ventanas, cielos rasos, entre otros, puedan permanecer en su sitio evitando convertirse en un peligro para la vida u obstaculicen los movimientos en caso de desastre.

La decisión sobre aislamiento de la mampostería de la estructura debe tomarse con cuidado, debido a la necesidad de asegurar un adecuado anclaje de la misma para compensar su independencia y prevenir su colapso. Generalmente, es recomendable aislar la mampostería de la estructura en los siguientes casos:

- Cuando su disposición en planta tienda a causar fuertes excentricidades de la rigidez y, por ello, grandes pares de torsión.
- Cuando tienda a producir excesiva rigidez de uno o varios pisos en relación con los restantes, los cuales en tal caso pasarían a ser pisos débiles.

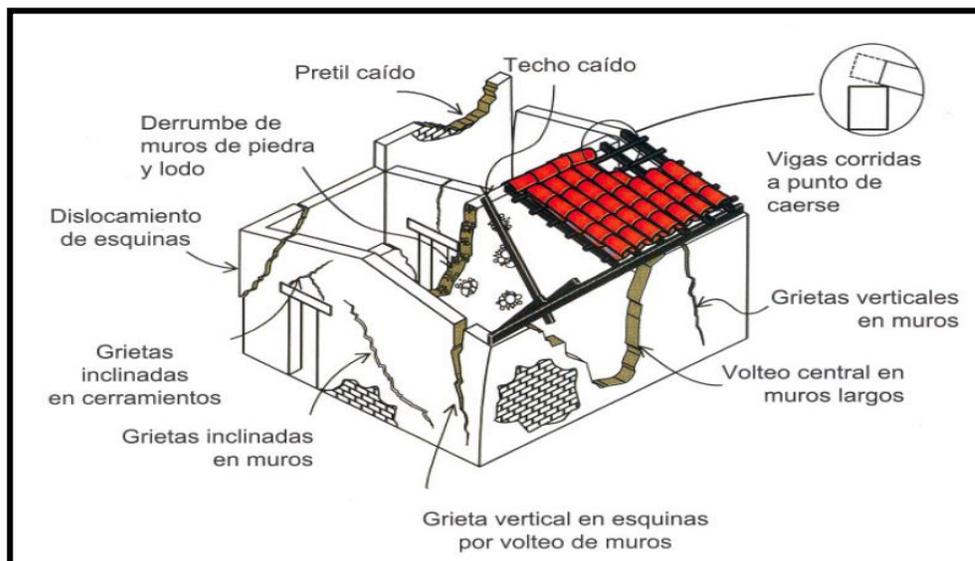
5.2. Plan de mitigación en función de daños en infraestructura

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.

5.2.1. Estructuras de mampostería no reforzada

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).

Figura 91. Estructura de mampostería no reforzada

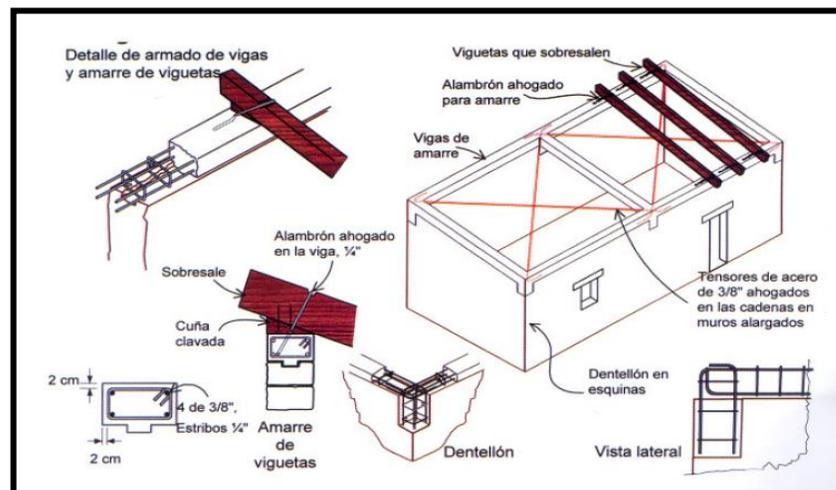


Fuente: elaboración propia, con Adobe Photoshop.

La capacidad de la vivienda de adobe de transmitir energía y ser dúctil, puede ser incrementada con sistemas de refuerzo en los que se utilizan materiales de bajo costo y puede ser realizada por los habitantes y autoconstructores. Encamisados de alambre: se recomienda su uso cuando no se tiene 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 esta caigan si se llegara a fracturar. No se recomienda esta técnica si se construye sobre muros de adobe o si son muy altos. Es importante lograr el amarre adecuado entre las vigas y los dentellones, sin dejar de lado el techo.

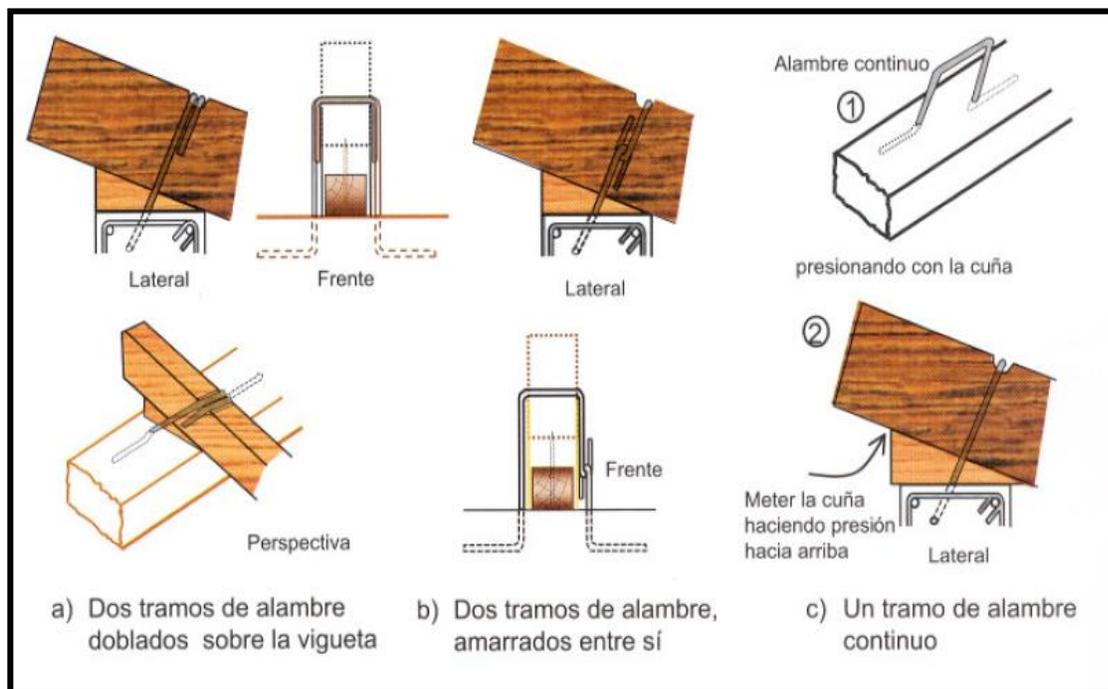
Figura 92. Encamisados de alambre



Fuente: elaboración propia, con Adobe Illustrator.

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. En el encamisado con fibras se sugiere amarrar los elementos del techo para darle ductilidad. 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.

Figura 93. Encamisados con fibras

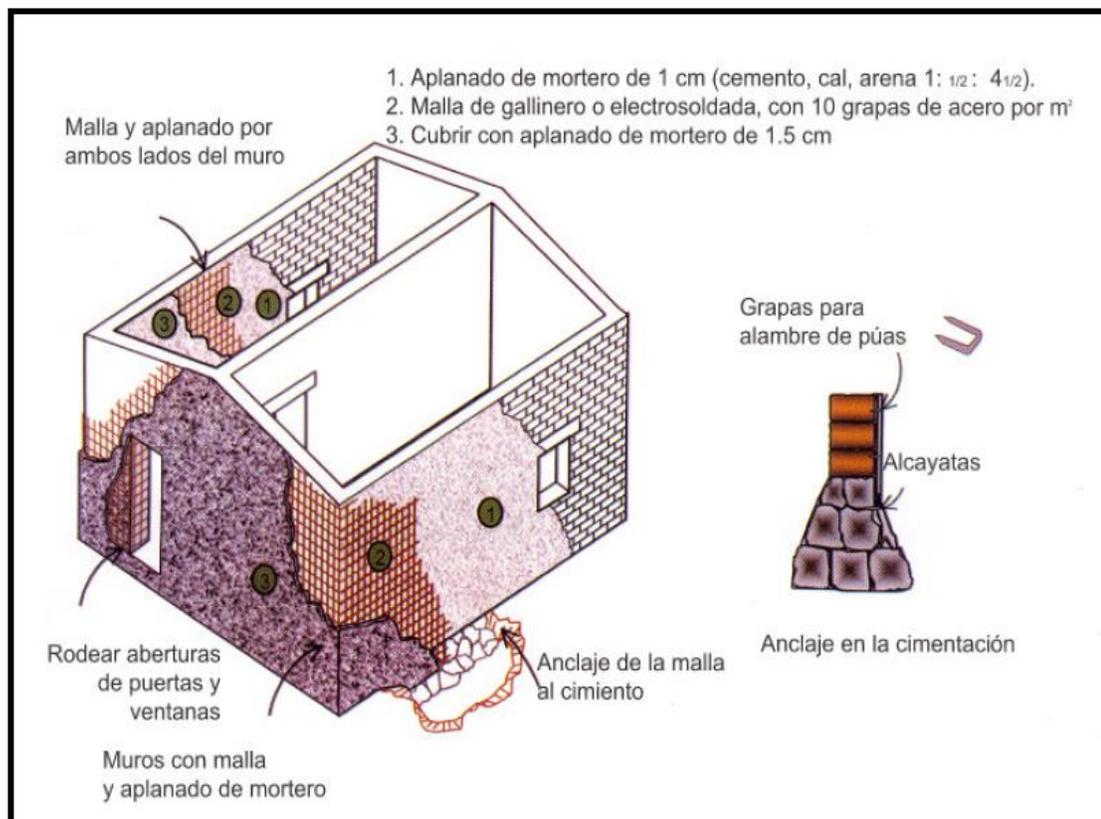


Fuente: elaboración propia, con Adobe Illustrator.

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, solo es importante reforzar los dinteles de puertas y ventanas, y reforzar las esquinas de los vanos con varillas o mallas colocadas diagonalmente.

Figura 94. **Recubrimiento con acero**

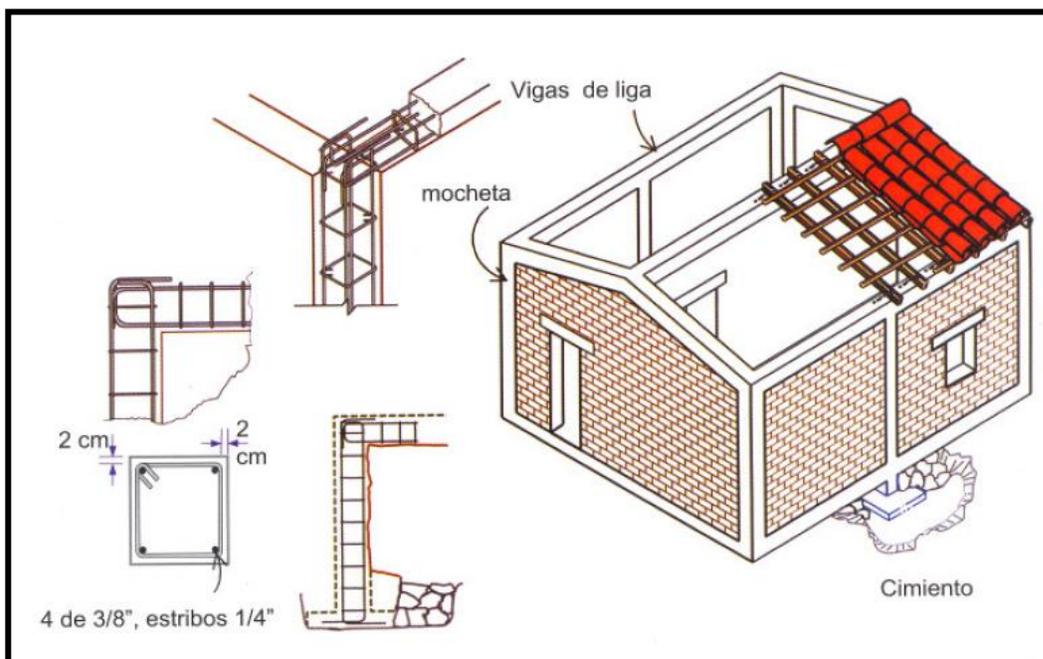


Fuente: elaboración propia, con Adobe Illustrator.

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. El éxito de esta técnica depende de colocar 10 grapas de acero por metro cuadrado, la malla debe estar estrechamente unida al muro y del cubrimiento del 100 % del área por dentro y por fuera.

Refuerzo con mochetas y soleras, es un método funcional en el cual las mochetas deben tener cemento propio y las uniones entre las mochetas y soleras deben ser continuas. Las mochetas se colocan en las esquinas y zonas intermedias de muros largos.

Figura 95. **Refuerzo con mochetas y soleras**



Fuente: elaboración propia, con Adobe Illustrator.

5.2.2. 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.

Entre las medidas de mitigación es muy importante que se puedan 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. No deben construirse viviendas en las siguientes situaciones:

- Lugares con pendientes pronunciadas o al pie de un talud
- Evitar suelos arenosos y cercanos a grandes cuerpos de agua
- No abusar de los sistemas estructurales
- Evitar construir en suelos formados por rellenos

Figura 96. **Construcción en suelo de relleno**



Fuente: cabecera municipal de San Marcos.

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 alberque propuestos según estudio, motivándolos a hacer simulacros preventivos de una situación de desastre.

Para prevenir un desastre 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.

Figura 97. **Demolición**



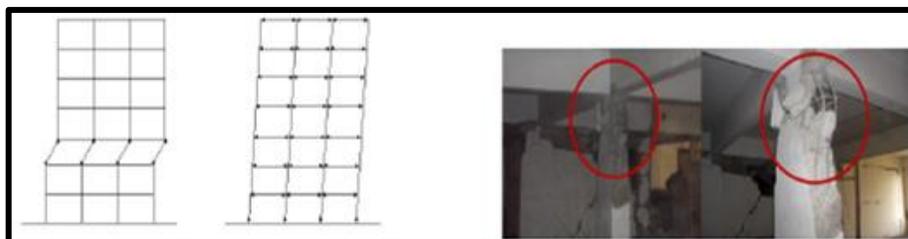
Fuente: <https://www.google.com.gt/search?q=demolicion>. [Consulta: mayo de 2014].

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. 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, debido a la variedad de situaciones y configuraciones en este tipo de estructuras que hacen difícil proponer una técnica general de readecuación.

5.2.3. Estructuras de concreto

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 variedad de situaciones y configuraciones distintas en este tipo de estructuras se hace difícil proponer una técnica general de readecuación.

Figura 98. **Viga fuerte con columna débil**



Fuente: elaboración propia.

5.2.4. Estructuras de madera

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.

Figura 99. **Mantenimiento de estructura de madera**



Fuente: estructura de madera.

Una medida importante a considerar 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.

5.3. Plan de mitigación en función de la información y conocimiento del riesgo sísmico determinado

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.

En todo el mundo se manifiesta la existencia de deficiencias y retos particulares en las esferas siguientes:

- Gobierno, marcos institucionales, jurídicos y normativos.
- Identificación, evaluación y vigilancia de los riesgos y alertas tempranas.
- Gestión de los conocimientos y la educación.
- Reducción de los factores de riesgo subyacentes.
- Preparación para dar respuesta eficaz, eficiente y recuperación efectiva de las poblaciones afectadas.

Es importante hacer notar que la cultura guatemalteca carece de características preventivas, se prefieren los bajos costos a la calidad; hay autosuficiencia y poca delegación de trabajos especializados, por lo que un cambio en materia de mitigación de vulnerabilidad debería tener impacto en la

sociedad en el ámbito cultural, económico, político y social. 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. En la utilización de los conocimientos, las innovaciones y la educación para crear y promover una cultura de seguridad y de resiliencia a todo nivel se requieren las siguientes actividades: gestión e intercambio de información, enseñanza y formación, investigación y concientización pública.

Para la reducción de los factores de riesgo, se requiere: gestión del ambiente y los recursos naturales; prácticas de desarrollo social y económico y planificación del uso de la tierra y otras medidas técnicas.

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 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).

El Marco de Acción de Hyogo para 2005 – 2015 busca el aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, abarca los desastres causados por amenazas de origen natural y los desastres y riesgos ambientales y tecnológicos conexos. Prevé las amenazas múltiples y la posible relación entre ellas.

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

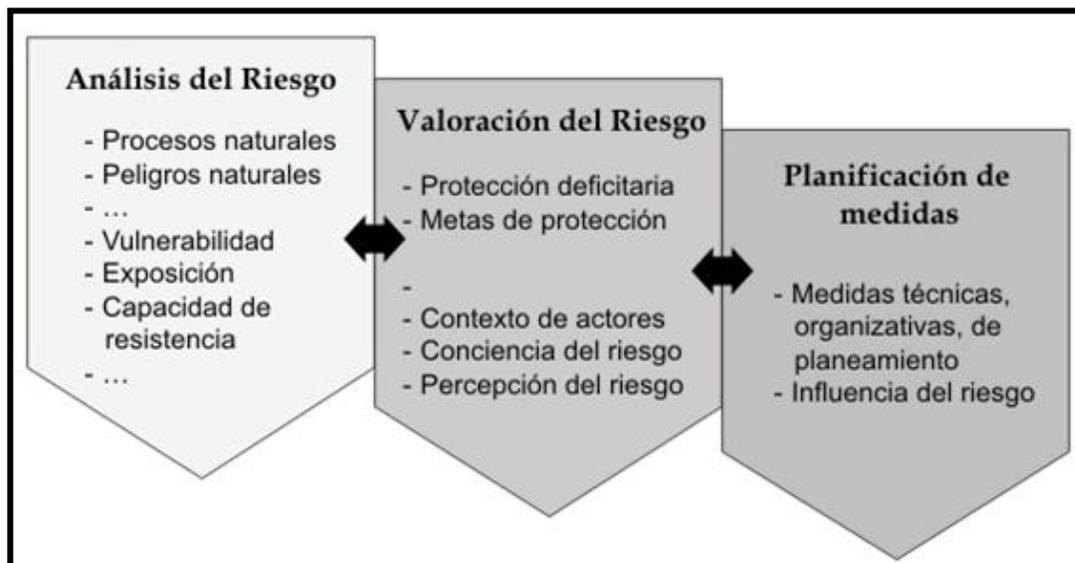
- Lograr que la reducción del riesgo de desastres sea una prioridad por medio de toma de decisiones en sectores políticos y públicos conscientes de las pérdidas que ocasionan los desastres.
- Conocer el riesgo y tomar medidas por medio de la comprensión precisa de que será necesario invertir en las capacidades científicas, técnicas e institucionales para observar, registrar, investigar, analizar, predecir, modelar y elaborar mapas de las amenazas.
- 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.
- Reducir el riesgo por medio de la aplicación de normas relevantes de construcción para proteger infraestructuras vitales, tales como escuelas, hospitales y hogares.
- 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 30 000 personas murieron y otras 30 000 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 aún 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. En la 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 esta se detecte la misma se puede reducir.

Figura 100. **Desarrollo de cultura de riesgo**



Fuente: elaboración propia.

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 esta 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 serían la única opción para que algunos de estos planes se puedan llevar a cabo.

5.4. Plan de mitigación en función a códigos de construcción sismo resistente

En la ciudad, la construcción es normada y regulada por la Municipalidad de Guatemala generalmente, basándose en el Reglamento de Construcción del Plan regulador de la ciudad, 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.

5.4.1. Códigos, normas y reglamentaciones de edificaciones

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

- “Recommended Lateral Force Requirements and Comentary” de la Sociedad de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC) para la determinación de cargas sísmicas.
- Para el diseño de estructuras, el Reglamento vigente de las construcciones de Concreto Reforzado del Instituto Americano del Concreto (ACI).
- El Código vigente del Instituto Americano para Construcciones de Acero (AISC).
- (UBC) para el diseño de estructuras de mampostería.
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES)

Normas estructurales de diseño y construcción recomendadas para la República de Guatemala.

- Reglamento General y Reglamentos Específicos de Construcción, Departamento de Control de la Construcción Urbana, Municipalidad de Guatemala.
- 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 está 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 microzonificación 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 NSE-1-2010 desarrollada por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES, 2010).

Esta había enfrentado 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.

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 NSE-4, NSE, NSE-6 y NSE-7.5. que actualmente son base para garantizar las condiciones mínimas de seguridad estructural.

5.4.2. 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, 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 esta 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 porque 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.

5.4.3. Discusión sobre Normas NSE-4 y NSE-6

La Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) ha desarrollado una propuesta de normas estructurales de diseño y construcción recomendadas para la República de Guatemala, una de ellas es la Norma NSE-6 que trata sobre la evaluación de estructuras posismo, la evaluación del riesgo sísmico y la rehabilitación de estructuras.

La evaluación posismo implica un proceso que comprende tres fases; la primera es una evaluación visual rápida de seguridad en donde se determina si la edificación es evidentemente insegura, aparentemente segura o si se requiere evaluación especial; la segunda es una evaluación visual detallada orientada a aquellas situaciones cuestionables con el fin de determinar si necesita evaluación ingenieril; y la tercera como ya se mencionó es una evaluación ingenieril que involucra planos de construcción si los hubiera, datos de daños y nuevos cálculos estructurales, con el propósito de determinar las reparaciones necesarias o la demolición de la edificación. Se cuenta con cuatro colores para clasificar la edificación después del movimiento sísmico; verde indica: habitable, amarillo indica: entrada limitada, rojo indica: inseguro y un área acordonada con listón de color anaranjado indica: área insegura.

La evaluación del riesgo sísmico está orientada a determinar las posibles fallas potenciales de una estructura que se pueden dar debido a un evento futuro (sismo), este procedimiento es similar al método de Evaluación Visual Rápido empleado en este estudio, pero con la diferencia de que si la calificación final de una estructura es menor de 1,5 se tendrá que desarrollar una evaluación analítica tomando en cuenta parámetros de diseño sismo-resistente para determinar la capacidad de carga lateral y la capacidad de desplazamiento lateral para cada tipo de estructura.

Luego se tiene la rehabilitación de las edificaciones incluyendo un reconocimiento minucioso, cálculos estructurales, localización y evaluación de los daños de la estructura con el plan de reparación de emergencia para habilitar la estructura. Considerando que en la República de Guatemala se carece de normas de diseño estructural, teniendo la Municipalidad capitalina en su Reglamento de Construcción únicamente aspectos arquitectónicos y legales, la AGIES desarrolló la norma recomendada NSE-4, que da a conocer lineamientos mínimos para obras dedicadas al uso de viviendas de interés social, normalmente de 1 nivel y con áreas de construcción no mayores de 50 m² y viviendas de tamaño mediano que poseen áreas de construcción entre 50 y 100 m² por nivel, estas últimas pueden ser de 1 o 2 niveles (AGIES NR-6).

Los anteriores lineamientos se han planteado en base a tendencias modernas para que el diseño y construcción de edificaciones se haga con el objetivo general de solucionar las necesidades psicofisiológicas de los núcleos familiares o personas individuales, quienes requieren una vivienda funcional que les brinde tranquilidad, descanso y comodidad. Las especificaciones se dan como lineamientos que pueden ser aplicados por autoconstructores, albañiles, maestros de obra y técnicos de construcción. Abarcando aspectos de

escogencia del sitio, tipología, materiales de construcción, cimentación, paredes, techos, y recomendaciones de construcción en laderas, las cuales en la actualidad son abundantes, no solo en este sector estudiado de la cabecera de San Marcos (Arrecis Sosa, Francisco; 2002), sino también en la mayoría de lugares donde se hace inevitable la ocupación de estas áreas.

En relación a edificaciones de mayor envergadura, los reglamentos de diseño para estructuras de concreto, antes de la década de 1970, no exigían detalles para proveer ductilidad. De esta manera, es muy probable que edificaciones diseñadas anteriores a esos años tengan problemas con anclajes, discontinuidades en refuerzos, falta de confinamiento en columnas y nudos (Villagrán Herrera, 1992).

Como resultado de las experiencias y los avances de conocimientos de países desarrollados, la AGIES también ha creado las Normas NSE-1 Bases generales de diseño y construcción, NSE-3 Diseño estructural de edificaciones, NSE-7 Acero estructural, tratando en lo posible de hacer adaptaciones a las prácticas de construcción, materiales guatemaltecos y naturaleza de la sismicidad del país. En este sentido mientras se vaya contando con más datos a nivel local el grado de afinamiento irá perfeccionando.

5.4.4. Discusión sobre códigos de construcción existentes en Guatemala

En Guatemala, las construcciones son normadas y reguladas por la municipalidad, generalmente basándose en el Reglamento de Construcción del Plan regulador de la ciudad de Guatemala, sin embargo, 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 a Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto 68-86, según las disposiciones del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

El Reglamento Municipal de la 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.

La legislación del centro histórico se orienta principalmente en la protección y preservación del patrimonio cultural y de los conjuntos históricos de la ciudad. La Ley de Aviación Civil interviene en relación a velar que las construcciones no sobrepasen el espacio de las superficies limitadoras de obstáculos alrededor de los aeródromos para proteger la seguridad de la navegación aérea. La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente delimita los casos cuando es necesaria la realización de estudios de impacto ambiental, que pueden ser 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 dueños.

Una excepción, son los proyectos desarrollados según el sistema del FHA, en cuyas normas se contemplan casos proyectados para edificaciones de mampostería confinada hasta de dos niveles, y se hace referencia a normas internacionales para proyectos que sobrepasa las consideraciones de dichas normas.

Hasta la fecha no existe en Guatemala un código oficial de diseño sísmico, 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, lo más próximo a ello es la norma recomendada AGIES NSE-1-10 desarrollada por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica AGIES, 2010. Esta ha encontrado escollo para su publicación, al grado que se ha publicado como norma recomendada.

Un estudio de zonificación sísmica urbana para Guatemala se encuentra en la primera fase, el cual consiste en identificar las unidades geológicas y su respuesta sísmica analítica, desarrollado por el centro de estudios superiores en energía y minias (Flores y otros, 2001), pendiente de publicación y divulgación. Algunos mapas con información topográfica y geológica del país se han desarrollado por instituciones como el Instituto Geográfico Nacional.

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 ingenieros civiles que diseñan estructuras de mediano tamaño 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 imprescindible mencionar el trabajo que realiza la secretaria de coordinación ejecutiva de la presidencia por medio 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 sísmica. También organiza estudios para evaluar la vulnerabilidad de los edificios del Estado, principalmente hospitales, que son 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.

5.4.5. Filosofías modernas del diseño sismo resistente

Actualmente las obras de ingeniería civil se desarrollan de manera multidisciplinaria con el propósito de satisfacer las necesidades sociales de manera funcional, económica y segura. En cuanto a la seguridad, uno de los peligros más significativos 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 sísmico 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 ha comprendido aspectos del planeta en relación a los sismos, inverosímiles, que hasta principios del siglo pasado parecían

inconcebibles 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; se desarrollan 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.

Todavía falta mucho por investigar, Guatemala aún necesita desarrollo en materia de estudios y normas en las áreas que competen a la ingeniería estructural sísmica, a pesar de ser uno de los países con mayor riesgo sísmico, por encontrarse en la unión de tres placas tectónicas, las diversas condiciones económicas, políticas, culturales y sociales que han existido a lo largo de la historia han servido para limitar muchos aspectos, y la investigación y desarrollo en temas de sismología no ha sido la excepción.

Con la globalización y competitividad se hace imprescindible 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. Actualmente, países desarrollados han logrado minimizar su pérdida de tal manera que después de un terremoto fuerte, pueden volver a la normalidad en tiempos breves, sin sufrir mayores pérdidas económicas, materiales ni humanas.

Las actuales tendencias del diseño sísmo resistente se enfocan, principalmente, en los siguientes aspectos:

- Conocer detalladamente la amenaza natural a la que se está expuesto, con el propósito de evitar que se coloque una estructura en riesgo hasta donde sea posible.
- Conocer la respuesta del sitio para correlacionar la información que proporciona la geología y la simología en cuanto a amplificación de ondas y respuesta del suelo a excitaciones sísmicas con el cálculo y el diseño estructural.
- Diseñar de la forma más económica posible las estructuras, de tal manera que puedan soportar los fenómenos sísmicos de magnitud máxima, más probables durante el período de vida útil y de funcionamiento de la estructura sin que esta colapse o sufra daños considerables.
- Diseñar las estructuras de manera que si se presenta un fenómeno sísmico por arriba de la magnitud de diseño esperado, 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.
- 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 sub diseño de algunas estructuras según su ubicación y amenaza. Esto se comprobará con el tiempo, ya sea porque 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.

- La sociedad guatemalteca, 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 una región típica de la ciudad. Sin no se aplican 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 factible que se faciliten 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. Por lo tanto, lo prudente es enfocar el esfuerzo y los recursos a los aspectos que se pueden controlar y prevenir eficazmente.

CONCLUSIONES

1. Se estima que un total de 95 708,32 m² del área construida en el sector evaluado, que representa al 28,53 % del total del área construida, sufrirá daños por un fenómeno sísmico con aceleraciones del suelo del orden de 0,4g = 3,92 m/seg². La probabilidad de ocurrencia es de al menos una vez en cincuenta años, con un costo esperado de reposición equivalente a Q 756 600 000,00.
2. De cada cien estructuras existentes en el área evaluada, veinticuatro de ellas, son propensas a sufrir daños, en más del 66 % de su área construida, lo que equivale a 242 estructuras con posibilidad de daños severos en un total de 2 860 estructuras evaluadas en el sector.
3. Se estiman las siguientes pérdidas.

Elemento	Máximo	Esperado
No. de muertes	1 545	489
No. de heridos	1 540	2446
Pérdidas materiales	Q 770 962 318,70	Q 756 600 000,00

4. De un total de 28 690 estructuras evaluadas, 553 son aún de mampostería no reforzada, equivalente al 1,95 % del total de estructuras.
5. Los índices de vulnerabilidad estructural en unidades estructurales en el área evaluada son los siguientes: mínima 55,52 %, significativa 30,18 %, alta 9,33 %, muy alta 4,97 %.

RECOMENDACIONES

Las estructuras analizadas responden a problemas actuales y comunes que afectan en distinto grado, a la mayor parte de la cabecera de San Marcos, Guatemala. Se considera que los resultados obtenidos son lógicos y realistas, necesarios para formular planes que permitan la mitigación de riesgo sísmico y a la vez, que faciliten controlar el procedimiento constructivo de toda edificación.

Desde esta perspectiva, las recomendaciones que aparecen en esta tesis, van dirigidas, fundamentalmente, a las siguientes instituciones.

A instituciones del Estado

- La propuesta de normas de diseño estructural, planes de mitigación de riesgo sísmico y equipo de supervisión para controlar que las construcciones cumplan con las normas establecidas.
- Las organizaciones encargadas de ejecutar programas de vivienda, a cualquier nivel, deben considerar la amenaza sísmica en el proceso de diseño urbano.

A instituciones socioeconómicas

- Los programas de financiamiento deberían contemplar recursos para reforzamiento mínimo de las edificaciones públicas existentes que presenten vulnerabilidad crítica.

A instituciones de docencia e investigación

- Incentivar el seguimiento de este tipo de trabajo en otros sectores con características similares a las encontradas en este estudio.
- Incluir en el Pensum de estudios de la Facultad de Ingeniería, cursos respecto de prevención, mitigación y atención de eventos sísmicos.
- Es necesario que las instituciones públicas pertinentes, adopten y hagan cumplir, a través de una supervisión adecuada durante todo el proceso de diseño y construcción de las edificaciones, las normas técnicas, especificaciones y códigos de construcción recomendados por las organizaciones autorizadas.
- Es imprescindible que los colegios profesionales, las asociaciones gremiales y las universidades promuevan, fomenten y elaboren normas técnicas, especificaciones y reglamentos que hagan más seguro el diseño de las construcciones.
- Es necesario que en el proceso de reparación de estructuras históricas dañadas por eventos sísmicos, se tomen en cuenta criterios estructurales y no solo funcionales y estéticos.
- Es necesario que se hagan diseños estructurales de edificios históricos para mejorar su comportamiento estructural y evitar daños severos o colapsos durante un sismo de gran intensidad.

- Debido a los múltiples daños observados en edificios públicos, es necesario que tanto el Gobierno y sus municipalidades, hagan una evaluación estructural de sus instalaciones y revisen el proceso de la contratación de sus edificios, de manera que se pueda asegurar que están preparados para que queden en funcionamiento después de un sismo de gran intensidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas estructurales de construcción recomendadas para la República de Guatemala*. NSE 1, NSE 2, NSE 3, NSE 7-1, NSE 7-3. Guatemala: AGIES, 2010.
2. _____. NSE 4, NSE 5, NSE 6, NSE 7. Guatemala: AGIES, 2010.
3. Applied Technology Council. *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation*. ATC 21-1. California: ATC, 1988. 137 p.
4. ARRECIS SOSA, Francisco Eduardo. *Vulnerabilidad sísmica estructural en un sector de la zona 3 de la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002. 114 p.
5. CERESO, R. *Ensayo de evaluación de las repercusiones económicas generales del terremoto en una de las áreas más afectadas. Simposio internacional sobre el terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción*. Guatemala, 1978. 816 p.
6. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. *Informe del terremoto de grado 7.2 noviembre del año 2012*. Guatemala: CONRED, 2012. 20 p.

7. JEREZ, Margarita. *Manual de evaluación visual rápida*. Guatemala: Secretaria de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia, 2000.
8. MONZÓN DESPANG, Héctor. *La construcción y el uso del terreno en Guatemala. XX Aniversario del terremoto de 1976*. Guatemala, 1996. 136 p.
9. QUIÑONEZ, Javier. *Vulnerabilidad de viviendas construidas con mampostería no reforzada en Guatemala. XX Aniversario del terremoto 1976*. Guatemala, 1996. 137 p.