

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**



**“EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES DEL  
CENTRO HISTÓRICO DE SANTA ANA”**

PRESENTADO POR:

CARLOS ADALBERTO MORALES RUÍZ

JOSÉ IVÁN CRUZ LENARDUZZI

OSCAR WILFREDIS ROSALES CRUZ

PARA OPTAR AL GRADO DE:

**INGENIERO CIVIL**

SEPTIEMBRE DE 2014

SANTA ANA

EL SALVADOR

CENTRO AMERICA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

“EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES DEL  
CENTRO HISTÓRICO DE SANTA ANA”

PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

CARLOS ADALBERTO MORALES RUÍZ

JOSÉ IVÁN CRUZ LENARDUZZI

OSCAR WILFREDIS ROSALES CRUZ

**TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:**

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JOEL PANIAGUA TORRES

DOCENTE ASESOR:

LIC. BENANCIO HENRÍQUEZ MIRANDA

SANTA ANA, SEPTIEMBRE DE 2014

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

VICERRECTORA ACADÉMICO:

LIC. Y MASTER ANA MARIA GLOWER DE ALVARADO

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:

MAESTRO OSCAR NOÉ NAVARRETE

SECRETARÍA GENERAL:

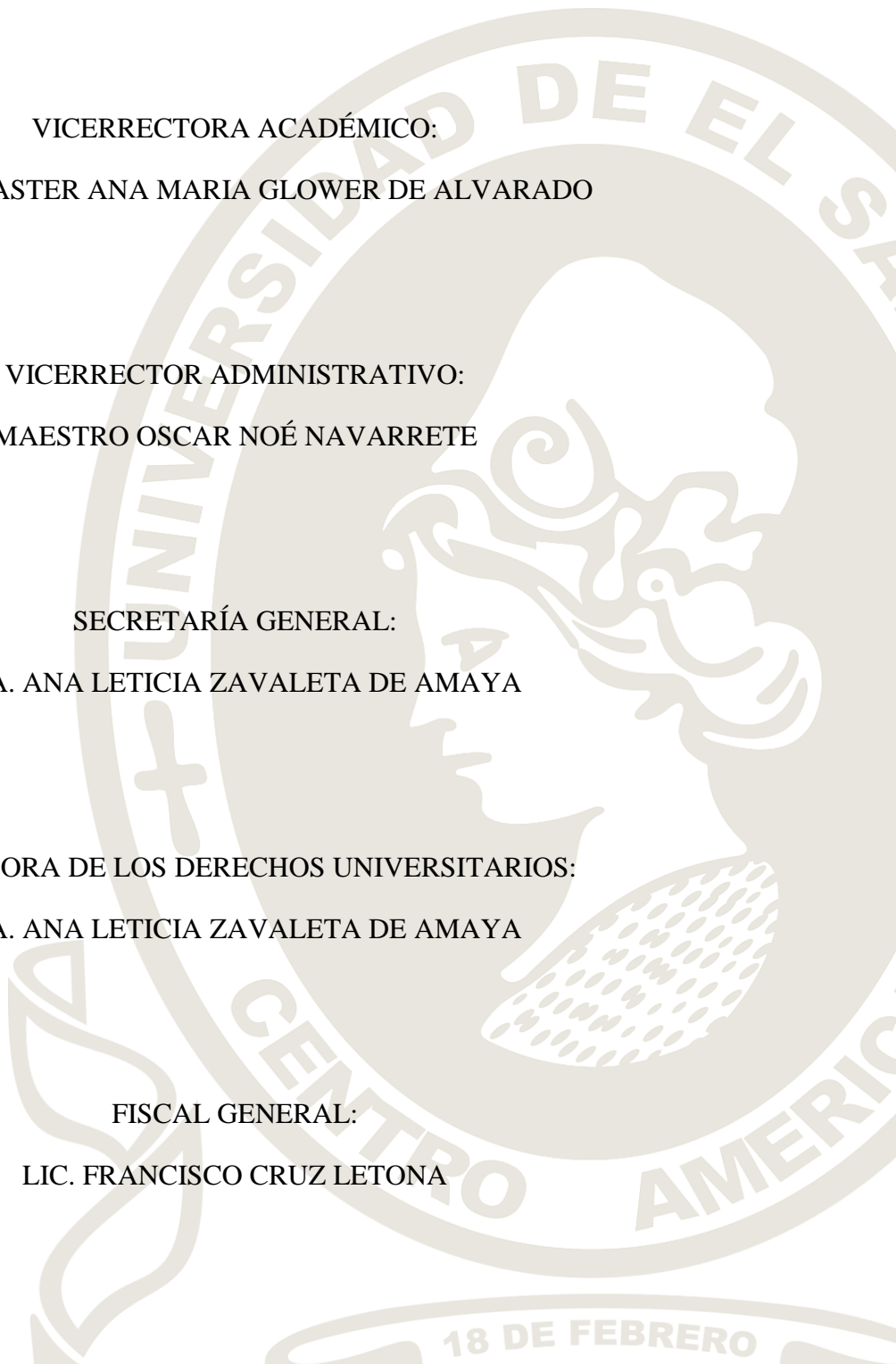
DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

DEFENSORA DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS:

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FISCAL GENERAL:

LIC. FRANCISCO CRUZ LETONA



## **FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**

DECANO:

LIC. RAUL ERNESTO AZCUNAGA LOPEZ

VICE - DECANO:

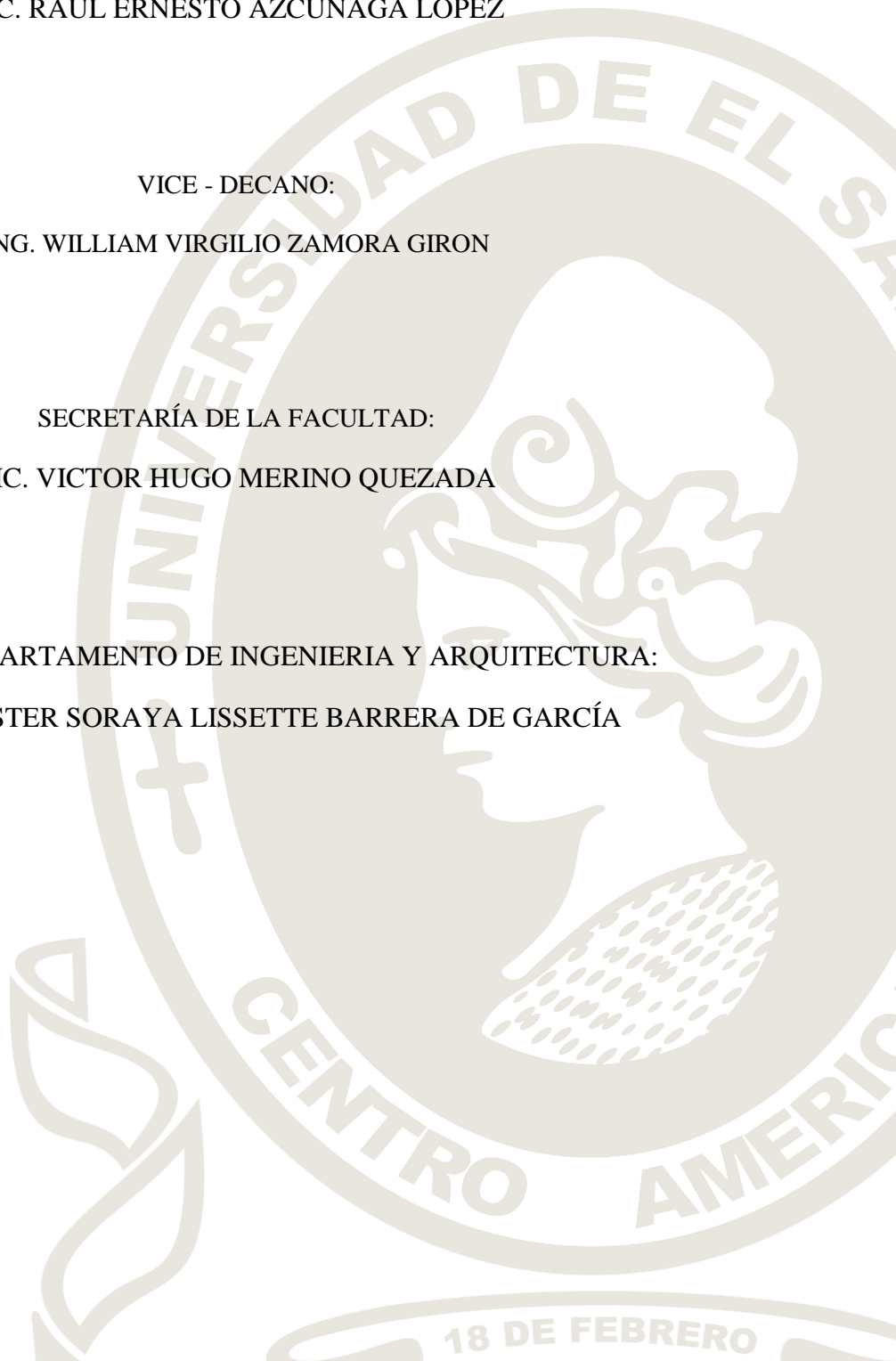
ING. WILLIAM VIRGILIO ZAMORA GIRON

SECRETARÍA DE LA FACULTAD:

LIC. VICTOR HUGO MERINO QUEZADA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA:

ING. Y MASTER SORAYA LISSETTE BARRERA DE GARCÍA





## **AGRADECIMIENTOS GENERALES**

### **A LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**

Por permitir nuestra formación profesional y ayudarnos a navegar en el mundo del saber.

### **A NUESTROS DOCENTES ASESOR Y DIRECTOR**

Por el apoyo y la dedicación en el desarrollo de nuestro trabajo de grado y permitir nuestra formación profesional la que ejerceremos con dedicación y esmero. Gracias Ingeniero Joel Paniagua Torres y Lic. Benancio Hernández Henríquez.

### **Y A TODOS LOS DOCENTES DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA:**

Gracias por instruirnos en nuestra formación académica.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios Todopoderoso**

Gracias a ti Señor Dios Padre por las bendiciones recibidas durante estos años de estudio, por regalarme la vida y cumplir este sueño, por estar siempre conmigo, guiarme e iluminar mi camino.

### **A mis abuelos y mamá.**

Eusebio Bárcenas (QDDG) y Francisca Juárez, infinitamente gracias por todo lo que me han dado, gracias por el apoyo, cariño y confianza que han puesto en mí, por todo el esfuerzo y sacrificio realizado durante toda mi vida para sacarme adelante, en especial a ti “MAMACHICA” a quien amo más que a nadie, infinitas gracias por su amor y comprensión, gracias a ti mamá Cristina Dinora Ruíz, por su apoyo, amor, comprensión y paciencia, que Dios las siga bendiciendo como hasta hoy.

### **A mi familia**

Gracias a todos mis familiares que de una u otra forma me apoyaron durante este tiempo; a mi papá, mis hermanos, gracias por su apoyo y sobre todo por el cariño.

### **A mis amigos y compañeros**

Gracias a mis mejores amigos con los que compartimos muchos momentos entre buenos y malos pero que siempre estuvieron ahí para brindar su ayuda, amigos los

quiero y le debo mucho, especialmente a Manuel de Jesús Pérez, por su apoyo incondicional y su amistad sincera. Gracias a todas las personas con las que a lo largo de mi carrera compartimos salones de clase, y que me brindaron su apoyo y sobre todo su valiosa amistad.

### **A mis compañeros de Trabajo de grado**

Gracias Wilfredis Rosales e Iván Lenarduzzi, por la amistad, comprensión y paciencia que me han brindado en estos años, en especial durante este periodo en que hemos trabajado juntos. Hemos pasado por muchas dificultades pero llegamos a la meta, he aquí el resultado de nuestros sacrificios y esfuerzos, ahora es momento de disfrutar del éxito. Gracias por todo.

### **Dedicatoria**

Este éxito lo dedico a Dios Todopoderoso, a Él sea toda la Gloria, a nuestra madre la Santísima Virgen María, a mi abuela y madre a quienes amo mucho y en especial a la persona que inspiro mi sueño, mi abuelo Eusebio de los Santos Bárcenas (QDDG), gracias totales.

Carlos Adalberto Morales Ruíz

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios Todopoderoso**

Un infinito agradecimiento a mi Señor Dios Padre Hijo y Espíritu Santo por las bendiciones recibidas y por darme la oportunidad de cumplir este sueño, por estar siempre conmigo, guiarme, cuidarme, iluminar y llenarme de fe en mi camino.

### **A mi familia**

Un especial agradecimiento a mi madre Ena Dorina Lenarduzzi Chiquillo, a mi abuela Rosa Coralia Chiquillo, a mis tres hermanas Dori, Iris y Wendy que siempre me apoyan en todo y un agradecimiento especial a mi esposa Alma Gabriela Martínez de Cruz y a su familia quienes en estos últimos meses me han apoyado. Gracias a todos por su confianza, paciencia y sobre todo por creer en mí.

### **A mis compañeros de Trabajo de Grado**

Gracias Wilfredis Rosales y Carlos Ruiz, por la amistad, comprensión y paciencia que me han brindado en estos años, en especial durante este periodo en que hemos trabajado juntos. Hemos pasado por muchas dificultades pero llegamos a la meta, gracias por todo colegas.

## **Dedicatoria**

Este éxito lo dedico a Dios Todopoderoso, a nuestra madre la Santísima Virgen María, a mi madre, a mi esposa, a mi abuela, hermanas y a mi hijo que viene en camino, los amo mucho, gracias por todo “Arigatou”.

José Iván Cruz Lenarduzzi

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios Todopoderoso**

Porque Jehová da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia.

Proverbios 2:6

Por cada día de bendiciones concedidas y la fuerza para poder terminarlo dandome en cada jornada paz y seguridad. A Él sea toda la gloria.

### **A mi familia**

El grupo de ingenieros que mejor he conocido dando apoyo en todo tiempo, sin cada uno de ellos no hubiese sido posible la finalización de este proyecto. Mis padres Oscar y Gloria que en todo tiempo han demostrado su respaldo; a mis hermanas Evelin, Ester, Vilma y Sandra que han aportado con su paciencia; a mis tesoros que en grupo se llaman “mis sobrinas” por ser fuente de imaginación y alegría. Bendecido por Dios por cada uno de ustedes.

### **A mis compañeros de Trabajo de Grado**

Por terminar el sueño que nos unió hace ya muchos años, espero lo mejor en los caminos que emprendan. Gracias Carlos y Lenarduzzi.

Oscar Wilfredis Rosales Cruz

# Índice General

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1    INTRODUCCIÓN.	2
1.2    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
1.2.1.    Formulación de hipótesis:	4
1.2.2.    Sistematización del problema	5
1.3    JUSTIFICACIÓN.	6
1.4    OBJETIVOS.	7
1.4.1.    Objetivo General.	7
1.4.2.    Objetivos Específicos.	8
1.5    LIMITANTES.	8
1.6    ALCANCES.	9
CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL	11
2.1    ANTECEDENTES.	12
2.1.1.    Evaluaciones de riesgo sísmico en El Salvador.	13
2.1.2.    Evaluación de Edificaciones en el Centro Histórico de Santa Ana.	15
2.2    GENERALIDADES DE UN SISMO.	16
2.2.1.    Sismo	16
2.2.2.    Tipos de Sismo	18
2.2.3.    Ondas Sísmicas	20
2.2.4.    Medición de un Sismo	24
<i>Magnitud Sísmica</i>	24
<i>Intensidad Sísmica</i>	26
2.2.5.    Amenaza Sísmica	28
2.2.6.    Vulnerabilidad Sísmica	29
2.2.7.    Riesgo Sísmico	31

2.2.8.	Efectos de los Sismos en Edificaciones	32
2.2.9.	Daños Estructurales más Comunes	33
	<i>Colapso Parcial o Total</i>	36
	<i>Incendios</i>	36
	<i>Daños en las Estructuras por Licuefacción del Suelo</i>	37
2.3	SISMICIDAD EN EL SALVADOR.	37
2.3.1.	Marco Sismo Tectónico de Centro América	38
2.3.2.	Amenaza Sísmica de El Salvador	39
2.3.3.	Historia Sísmica de El Salvador.	41
2.4	ÁREA DE ESTUDIO.	46
2.4.1.	Santa Ana.	46
2.4.2.	Centro Histórico de Santa Ana.	48
2.4.3.	Geología y Geomorfología del Municipio de Santa Ana	51
	<i>Geología General del Área de Estudio</i>	51
	<i>Regiones y Unidades Geomorfológicas del Municipio de Santa Ana</i>	53
2.4.4.	Geología Estructural y Principales Estructuras Geológicas del Área de Estudio.	54
2.5	MARCO LEGAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES SISMORESITENTES EN EL SALVADOR	56
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍAS Y ASPECTOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES.		57
3.1	INTRODUCCIÓN	58
3.2	EVALUACIÓN DE DAÑOS POR SISMO EN EDIFICACIONES	59
3.2.1.	Tipos de Evaluación	60
	<i>Evaluación Cualitativa y Cuantitativa:</i>	60
	<i>Periodos en que se Realiza una Evaluación.</i>	61
3.2.2.	Metodologías de Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica.	63
3.3	INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA EVALUACION	65
3.3.1.	Información Documentada	66
	<i>Información General</i>	66



	<i>Información Especializada</i>	67
3.3.2.	Información de Campo	67
3.4	METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL ESTUDIO DE VULNERABILIDAD	67
3.5	ASPECTOS A EVALUAR PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD SISMICA DE UNA EDIFICACIÓN.	68
3.5.1.	Aspecto Estructural	69
	<i>Fallas en Elementos Estructurales de Concreto Armado</i>	72
	<i>Muros de Mampostería y Muros de Carga o Portantes</i>	82
	<i>Edificaciones de madera</i>	84
	<i>Estructuras de Acero</i>	91
3.5.2.	Aspecto Geotécnico.	94
	<i>Elementos Estructurales de Cimentación</i>	95
	<i>Suelo de Cimentación</i>	105
3.5.3.	Aspecto Constructivo.	115
	<i>Construcción Tradicional.</i>	116
	<i>Construcción con Sistemas de Marcos de Concreto.</i>	118
	<i>Construcción con Sistemas de Marcos de Acero (Steel Frame)</i>	119
	<i>Deficiencias en la construcción con mampostería</i>	120
	<i>Deficiencias en la Construcción con Pórticos de Acero y Concreto</i>	121
3.5.4.	Aspecto Geométrico	122
	<i>Irregularidad en planta:</i>	122
	<i>Irregularidad en altura:</i>	123
3.5.5.	Aspecto de Entorno	124
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE SANTA ANA		128
4.1	INTRODUCCIÓN	129
4.2	ÁREA DE ESTUDIO	129
4.2.1.	Selección de la Muestra del Área de Estudio	132
4.3	RECURSOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.	133

4.3.1.	Grupo Evaluador	134
4.3.2.	Equipos y Herramientas de Evaluación	135
4.4	INSTRUMENTO PARA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	140
4.4.1.	Ficha de Evaluación Preliminar General	140
4.4.2.	Ficha de evaluación específica.	141
	<i>Metodología de Evaluación</i>	141
	<i>Formato de Ficha de Evaluación</i>	142
	<i>Validación de la Ficha de Evaluación</i>	165
	<i>Ponderaciones de Ficha de Evaluación</i>	166
	<i>Factores de Ajuste</i>	182
4.5	DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD	185
4.6	TECNICA DE EVALUACIÓN EN CAMPO.	186
4.6.1.	Procedimiento de Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones	186
4.6.2.	Bitácora.	188
	CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y ANÁLISIS	190
5.1	INTRODUCCIÓN	191
5.2	EVALUACIÓN GENERAL	192
5.2.1.	Generalidades del Área de estudio	193
	<i>Tipologías constructivas</i>	196
	<i>Usos</i>	198
	<i>Régimen de Propiedad</i>	200
	<i>Niveles Constructivos</i>	202
5.2.2.	Muestra del Área de Estudio	204
5.3	EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES	206
5.3.1.	Edificaciones Evaluadas	206
5.3.2.	Descripción General de Edificaciones Evaluadas.	214
	<i>Tipologías Constructivas</i>	217
	<i>Tipos de Mampostería</i>	222

	<i>Usos</i>	225
	<i>Niveles</i>	229
5.3.3.	Resultados de Evaluación	232
	<i>Edificaciones con Vulnerabilidad Baja</i>	241
	<i>Edificaciones con Vulnerabilidad Media</i>	250
	<i>Edificaciones con Vulnerabilidad Alta</i>	265
5.4	ESTUDIOS TÉCNICOS	279
5.4.1.	Estudio Topográfico	280
5.4.2.	Bases de Datos en ArcGIS	280
5.4.3.	Estudio de Suelos	280
5.5	DIAGNOSTICO DE VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE SANTA ANA	285
	CONCLUSIONES	287
	RECOMENDACIONES	290
	BIBLIOGRAFÍA	293
	ANEXOS	296

## Índice de Figuras

Figura 2.1:	Esquema de un sismo	17
Figura 2.2:	Propagación de ondas P	21
Figura 2.3:	Propagación de ondas S	22
Figura 2.4:	Propagación de ondas Love	23
Figura 2.5:	Propagación de ondas Rayleigh	23

Figura 2.6: Representación de un sismograma	25
Figura 2.7: Fuerza de inercia generada por la vibración de la estructura	33
Figura 2.8: Edificios dañados por el terremoto en El Salvador	36
Figura 2.9: Desprendimiento del suelo en la Cordillera del Bálsamo	37
Figura 2.10: Organigrama del Reglamento para la seguridad estructural	56
Figura 3.1: Fallas por flexión en vigas de concreto armado	73
Figura 3.2: Fallas por cortante en vigas de concreto armado	73
Figura 3.3: Fallas por Cortante en Vigas de Concreto Armado	74
Figura 3.4: Fallas por Torsión en Vigas de Concreto Armado.	74
Figura 3.5: Fallas por Cortante en Columnas de Concreto Armado.	75
Figura 3.6: Esquema de Fallas por el Efecto de Columna Corta.	76
Figura 3.7: Fallas por Flexo-compresión en Columnas.	77
Figura 3.8: Fallas por Falta de Confinamiento en Columnas.	78
Figura 3.9 Fallas por Adherencia en el Concreto.	79
Figura 3.10 Fallas por Torsión en Columnas.	80
Figura. 3.11 Fallas por Flexión en Losa Aligerada.	81
Figura 3.12 Fallas por Punzonamiento en Losas.	82
Figura 3.13 Fallas por Corte en muros.	83
Figura 3.14 Fallas por Volteo	84
Figura 3.15: Defectos de la madera	88
Figura 3.16: Ejemplo de madera con pudrición.	90
Figura 3.17: Elementos de madera con ataque de insectos.	91
Figura 3.18: Fractura en el cordón de soldadura	93
Figura 3.19: Ataques de corrosión en acero	94

Figura 3.20: Esquema de solera de fundación de concreto reforzado	97
Figura 3.21: Tipos de Zapatas	98
Figura 3.22: Tipos de pilotes más comunes	103
Figura 3.23: Tipos de pila perforada.	104
Figura 3.24: Modelo de Khristianovich.	108
Figura 3.25: Correspondencia de un cimiento con la balanza de Khristianovich.	109
Figura 3.26: Naturaleza de la falla en suelo por capacidad de carga.	110
Figura 3.27: Posibles causas de asentamientos en edificaciones.	112
Figura 3.28: Esquema de una masa de suelo con el fenómeno de licuación.	113
Figura 3.29: Diagrama de causa de deslizamiento de laderas.	114
Figura 3.30: Edificios con problemas geotécnicos	115
Figura 3.31: Mampostería de adobe sistema tradicional.	117
Figura 3.32. Esquema general de construcción de mampostería confinada	118
Figura.3.33 Construcción con marcos de concreto	119
Figura 3.34 Construcción con perfilería de acero.	120
Figura 3. 35 Esquemas de irregularidades en planta	122
Figura. 3.36 Disposición de paredes internas en edificaciones	123
Figura 3.37. Esquemas de identificación de irregularidades en altura	124
Figura 3.38. Efecto de edificaciones aledañas dañadas	125
Figura 3.39. Estructuras ajenas que pueden repercutir en un daño.	126
Figura 3. 40. Topografía del terreno.	126
Figura 3.41. Ejemplo de un elemento de contorno	127
Figura 4.1: Generalidades de la Ficha de Evaluación Definitiva.	145
Figura 4.2 a la Figura 4.8: Elementos que conforman la Ficha de Evaluación del	

Aspecto Estructural	147-155
Figura 4.9 y Figura 4.10: Elementos que conforman la Ficha de Evaluación del Aspecto Geotécnico.	156-157
Figura 4.11 y Figura 4.12: Elementos que conforman la Ficha de Evaluación del Aspecto Constructivo.	159
Figura 4.13 y Figura 4.15: Elementos que conforman la Ficha de Evaluación del Aspecto Geométrico.	160-162
Figura 4.16 y Figura 4.19: Elementos que conforman la Ficha de Evaluación del Aspecto de Entorno	163-165
Figura 4.20 Valores de los Factores de Ajuste de cada edificación evaluada	182
Figura 5.1 a Figura 5.5: Ejemplos de Edificaciones con grado de vulnerabilidad baja	246-249
Figura 5.6 a Figura 5.15: Ejemplos de Edificaciones con grado de vulnerabilidad media	256-263
Figura 5.16 a Figura 5.31: Ejemplos de Edificaciones con grado de vulnerabilidad alta	270-278

## Índice de Tablas

Tabla 2.1: Escala de intensidad Mercalli modificada	27
Tabla 2.2: Cronología de los sismos de El Salvador	42
Tabla 3.1: Resumen de clasificación de metodología	64
Tabla 3.2: Maderas utilizadas en la construcción y sus propiedades principales de uso ingenieril.	86
Tabla 3.3. Medidas de maderas usadas en El Salvador.	87
Tabla 4.1. Ponderaciones globales de los aspectos evaluativos de la ficha.	167
Tabla 4.2: Ponderaciones del aspecto estructural: generalidades estructurales.	169
Tabla 4.3. Ponderaciones del aspecto estructural: caso A	170

Tabla 4.4. Ponderaciones del aspecto estructural: caso B	172
Tabla 4.5. Ponderaciones del aspecto estructural: caso C	174
Tabla 4.6. Ponderaciones del Aspecto Geotécnico.	178
Tabla 4.7. Ponderaciones del Aspecto Constructivo.	179
Tabla 4.8. Ponderaciones del Aspecto Geométrico.	179
Tabla 4.9. Ponderaciones del Aspecto de Entorno.	181
Tabla 5.1: Cantidad de edificaciones por zona. Evaluación preliminar general.	194
Tabla 5.2: Cantidad de edificaciones por tipología. Evaluación preliminar general.	195
Tabla 5.3: Uso actual. Evaluación preliminar general.	197
Tabla 5.4: Regímenes de propiedad. Evaluación preliminar general.	200
Tabla 5.5: Niveles constructivos. Evaluación preliminar general.	202
Tabla 5.6: Lista de Edificaciones de la Evaluación Definitiva.	206
Tabla 5.7: Cantidades de edificaciones por manzana y otros datos	209
Tabla 5.8 Características generales de las edificaciones evaluadas.	213
Tabla 5.9 Tipologías constructivas. Evaluación definitiva.	216
Tabla 5.10: Tipos de Mampostería. Evaluación definitiva.	221
Tabla 5.11: Usos de edificaciones. Evaluación definitiva.	224
Tabla 5.12: Niveles constructivos. Evaluación definitiva.	228
Tabla 5.13: Caracterización de la Vulnerabilidad.	231
Tabla 5.14: Edificaciones evaluadas y su grado de vulnerabilidad.	232
Tabla 5.15: Grados de Vulnerabilidad general de las edificaciones evaluadas.	236
Tabla 5.16: Edificaciones evaluadas con grado de vulnerabilidad baja.	241
Tabla 5.17 a 5.20: Características de edificaciones evaluadas con vulnerabilidad baja.	242
Tabla 5.21: Edificaciones evaluadas con grado de vulnerabilidad media.	250

Tabla 5.22 a 5.25: Características de edificaciones evaluadas con vulnerabilidad media.	252
Tabla 5.26: Edificaciones evaluadas con grado de vulnerabilidad alta.	265
Tabla 5.27 a 5.30: Características de edificaciones evaluadas con vulnerabilidad alta.	265
Tabla 5.31: Puntos de SPT del Área de Estudio.	282
Tabla 5.32: Edificaciones evaluadas con ponderaciones de rangos de 10%	284

## **Índice de Mapas**

Mapa 2.1: Mapa tectónico de Centroamérica	38
Mapa 2.2: Trinchera centroamericana y cordillera volcánica de El Salvador	40
Mapa 2.3: Mapa de amenaza sísmica de El Salvador	41
Mapa 2.4: Formaciones geológicas y Geología principal del Municipio de Santa Ana.	52
Mapa 2.5: Unidades geomorfológicas del municipio de Santa Ana	54
Mapa 2.6: Estructuras geológicas con influencia en el municipio de Santa Ana	55
Mapa 4.1: Ubicación del Centro Histórico de Santa Ana	131
Mapa 5.1: Zonificación del Área de Estudio	193
Mapa 5.2: Ubicación geográfica de Edificaciones Evaluadas.	212
Mapa 5.3: Tipologías constructivas de Edificaciones Evaluadas.	220
Mapa 5.4: Tipos de Mampostería de Edificaciones Evaluadas.	223
Mapa 5.5: Usos principales de Edificaciones Evaluadas.	227
Mapa 5.6: Niveles constructivos de Edificaciones Evaluadas.	230
Mapa 5.7: Mapa de Grado de Vulnerabilidad.	239
Mapa 5.8: Puntos de Estudios de suelo con SPT	283



## Índice de Gráficos

Gráfico 5.1: Porcentaje de edificaciones por zona	195
Gráfico 5.2: Porcentaje de tipologías constructivas. Evaluación preliminar general.	196
Gráfico 5.3: Tipologías constructivas por zona	197
Gráfico 5.4: Porcentaje de usos de edificaciones. Evaluación preliminar general.	198
Gráfico 5.5: Usos de edificaciones por zona	199
Gráfico 5.6: Porcentajes de Regímenes de propiedad. Evaluación preliminar general.	200
Gráfico 5.7: Regímenes de propiedad de edificaciones por zona	201
Gráfico 5.8: Porcentajes por niveles constructivos. Evaluación preliminar general.	202
Gráfico 5.9: Niveles constructivos por zona.	203
Gráfico 5.10 Porcentajes de cada una de las áreas de las zonas de estudio	209
Gráfico 5.11 Porcentajes de la cantidad de edificaciones evaluadas por zona.	210
Gráfico 5.12 Porcentajes por tipologías. Evaluación definitiva.	217
Gráfico 5.13 Tipologías por zona. Evaluación definitiva.	219
Gráfico 5.14 Porcentajes por tipos de mampostería. Evaluación definitiva.	221
Gráfico 5.15 Tipos de mampostería por zona. Evaluación definitiva.	222
Gráfico 5.16 Porcentajes por usos. Evaluación definitiva.	224
Gráfico 5.17 Usos de edificaciones por zona. Evaluación definitiva.	226
Gráfico 5.18 Porcentajes de niveles constructivos. Evaluación definitiva.	228
Gráfico 5.19 Niveles constructivos por zona. Evaluación definitiva.	229
Gráfico 5.20 Porcentajes obtenidos por grado de vulnerabilidad.	237
Gráfico 5.21 Grados de vulnerabilidad por zona.	237
Gráfico 5.22 a 5.25: Características de edificaciones con vulnerabilidad baja	243-245
Gráfico 5.26 a 5.29: Características de edificaciones con vulnerabilidad media	253-255

Gráfico 5.30 a 5.33: Características de edificaciones evaluadas con vulnerabilidad alta 266-268

## Índice de Anexos

Anexo 1. Organización territorial del Municipio de Santa Ana.	296
Anexo 2. Ficha Preliminar General.	297
Anexo 3. Ficha de Evaluación Definitiva.	298
Anexo 4. Plano del Casco Urbano de la Ciudad de Santa Ana. PLAMADUR	301
Anexo 5. Reporte de Ensayo de Pruebas SPT.	302

CAPÍTULO 1:  
GENERALIDADES

## **1.1 INTRODUCCIÓN.**

Santa Ana siendo una de las principales ciudades de El Salvador, atrae a algunos investigadores, turistas, artistas y de todos aquellos que se maravillan al ver el Centro Histórico que posee este municipio.

Sin embargo en los últimos años Santa Ana a percibido el impacto debido a amenazas naturales y ha dejado al descubierto la compleja situación de vulnerabilidad que presentan actualmente, hoy en día no solo las amenazas naturales son un peligro o las responsables del aumento de la vulnerabilidad, el mal control y manejo del territorio nacional, el deterioro ambiental, el irresponsable manejo de los recursos naturales y la pobre educación cultural-ecológica de la población, han provocado que las principales ciudades del país aumente su vulnerabilidad ante cualquier desastre.

Las grandes ciudades de El Salvador se han vuelto altamente vulnerables a desastres, tanto naturales como antropogénicas, debido a que millones de salvadoreños en búsqueda de un lugar donde vivir han ocupado de manera desesperada pero informal zonas inundables, bordes de los ríos, laderas de los cerros y pendientes altas, todo esto en zonas no habitables y/o periferias de las principales ciudades del país; esto como consecuencia del centralismo urbano, la usencia de oportunidades y la violencia.

Tanto la actividad sísmica, el cambio climático, la ocupación de zonas inapropiadas para vivir, el poco conocimiento técnico para realizar viviendas y la falta de acción de las autoridades gubernamentales, han provocado que los riesgos no disminuyan en la región salvadoreña.

Es por esta razón que se plantea la evaluación de la vulnerabilidad a riesgo sísmico del Centro Histórico de Santa Ana, para diagnosticar la reacción que éste presenta actualmente ante un fenómeno sísmico de gran magnitud. Dicha evaluación consiste en evaluar los aspectos geométricos, constructivos, estructurales, de cimentación y de entorno, que afectan la vulnerabilidad sísmica en edificaciones del Centro Histórico de Santa Ana.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El Salvador se encuentra en una región de intensa actividad sísmica, generada por el proceso de subducción de la placa de Cocos bajo la del Caribe y por la activación de las fallas geológicas, tanto locales como de los países vecinos, Guatemala y Honduras.

La amenaza sísmica es algo propio de la región, por lo que es necesario el estudio de la respuesta sísmica que poseen las edificaciones. A pesar que El Salvador es un país vulnerable a desastres sísmicos, se han realizado pocos estudios sobre las respuestas sísmicas de la región, y los pocos estudios que existen únicamente están enfocados al Área

Metropolitana de San Salvador debido a su enorme incremento poblacional. Estos estudios se han realizado con el fin de minimizar y evitar situaciones de desastres ocasionados por acciones de terremotos en las aéreas urbanas, pero dichos estudios han tenido características muy generales, por lo que no se han podido crear herramientas que ayuden a la formulación de un plan de desarrollo urbano nacional eficaz.

En el año 2001 el país sufrió los estragos del último terremoto, el 13 de enero en la Ciudad de Santa Ana, edificaciones con valor histórico fueron altamente afectadas por dicho suceso, provocando parcialmente la destrucción del templo El Calvario, un daño significativo a la Catedral, El Teatro Nacional de Santa Ana resulto dañado, El edificio Casa del Niño fue declarado inhabitable y hasta la fecha no se ha obtenido ninguna resolución de rehabilitación, y otras edificación del Centro Histórico fueron dañadas en un menor grado.

Por esta razón, se hace necesario investigar y analizar el grado de vulnerabilidad sísmica que presenta el Centro Histórico de Santa Ana, con el fin de aportar un diagnóstico de las condiciones en que se encuentran actualmente.

### **1.2.1. Formulación de hipótesis:**

Debido a las diferentes tipologías de edificación y al valor histórico que presentan la mayoría de las edificaciones que se encuentran en el Centro Histórico de Santa Ana, puede

decir que: El Centro Histórico de Santa Ana no está preparado para una amenaza sísmica que pueda presentarse en un futuro próximo.

### **1.2.2. Sistematización del problema**

La evaluación de riesgo sísmico es una herramienta que sirve para evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones y su entorno ante una amenaza sísmica. Cuando ésta información se maneja con acertado criterio ingenieril (que se forma por una base teórica actualizada, la práctica de esta teoría y la continua comunicación con profesionales especialistas en las áreas a fines), se toman en cuenta los aspectos que afectan la vulnerabilidad y las lecciones aprendidas del comportamiento estructural observado en terremotos pasados, se hace entonces posible el logro del objetivo básico de la ingeniería sísmica; “Reducir el Riesgo Sísmico en un Área Urbana”.

Tomando en cuenta la información obtenida de los criterios ingenieriles ¿Qué tipología de edificación presenta mayor vulnerabilidad sísmica según los aspectos (geométricos, constructivos, estructurales, geotécnicos y de entorno) a evaluar?

Al tener una base de datos que cuente con una muestra representativa de edificaciones ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad que presenta actualmente el Centro Histórico de Santa Ana?

Con un escenario que se pueda repetir ¿Qué daños tendrían las edificaciones del Centro Histórico de Santa Ana ante un fenómeno sísmico similar al ocurrido en el 2001 en el país?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

Las interrogantes que surgen luego de un desastre son: ¿Cuántos millones de dólares en daños materiales se han perdido?, ¿Cuántas vidas humanas se han perdido?, ¿Porque hay más daños en una zona que en otra?, ¿A cuánto ascienden las pérdidas provocadas por la inadecuada ocupación del territorio nacional?

Por ejemplo el más reciente terremoto que sucedió el 13 de enero de 2001 en El Salvador, el cual provocó un desprendimiento de tierra en la cordillera del Bálsamo sepultando parte de la colonia Las Colinas en Santa Tecla, departamento de La Libertad, derrumbes de taludes de tierra en carretera panamericana a la altura del “Turicentro los Chorros” principal vía de acceso que conduce del occidente hacia la capital salvadoreña, la destrucción parcial del templo El Calvario (patrimonio cultural) de Santa Ana, pérdidas millonarias en infraestructura tanto gubernamental como privadas, con un alto número de personas muertas, damnificadas y heridos, así como también gran impacto ambiental y cultural, convirtiéndose este desastre en símbolo de tragedia sísmica a nivel nacional e internacional.



Ante esta realidad El Salvador, por estar ubicado en una zona altamente sísmica a adoptado políticas nacionales para la reducción de riesgos con el fin de lograr que los cascos urbanos posean un nivel de protección que garantice su capacidad de seguir funcionando en situaciones de desastre, pero las municipalidades y los entes encargados de la emisión de permisos de construcción han tenido un manejo inadecuado de la resoluciones del ordenamiento territorial, provocando que las principales ciudades del país, sean altamente vulnerables a desastres, debido a la concentración habitacional y a la inadecuada infraestructura de viviendas.

La ciudad de Santa Ana es una de las principales ciudades de El Salvador, la cual no cuenta con un registro de estudios de evaluación, prevención y mitigación de riesgos a pesar de conservar edificaciones que son patrimonio cultural nacional, por esta razón se vuelve objeto de estudio, el evaluar la vulnerabilidad ante un riesgo sísmico de las edificaciones que posee el Centro Histórico, para proporcionar a la Alcaldía Municipal de Santa Ana una herramienta que le ayude a intervenir en la prevención y mitigación de riesgos.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Analizar la vulnerabilidad sísmica actual de las edificaciones del Centro Histórico del Municipio de Santa Ana.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

1. Analizar los aspectos para evaluar la vulnerabilidad sísmica en una edificación:  
Aspectos estructural, geotécnicos, constructivos, geométrico y de entorno.
2. Elaborar fichas técnicas para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, basadas en las fichas elaboradas en el PLAMADUR del 2001 en el Municipio de Santa Ana.
3. Determinar el grado de vulnerabilidad de las condiciones actuales de 60 a 80 edificaciones del Centro Histórico del Municipio de Santa Ana.

#### **1.5 LIMITANTES.**

1. Las edificaciones en estudio se evaluarán en las condiciones actuales que se encuentran, no se harán modelaciones ante futuros sismos, pero si se tomarán en cuenta todos los estudios que se hayan realizado en el pasado a fin de enriquecer la información técnica de la edificación en estudio.
2. Según la zonificación adoptada por la Oficina Municipal del Centro Histórico de la Alcaldía Municipal de Santa Ana, son 14 zonas en las que se divide el Centro

Histórico actual, por lo cual se estudiaran solamente 10 zonas que representan el Centro Histórico antiguo.

3. No se cuenta con información técnica documentada de antecedentes de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones realizadas en el Centro Histórico de Santa Ana, por lo que será necesario acudir a estudios afines al tema de proyectos de trabajo de grado realizados por otras instituciones y/o empresas privadas.
4. No se cuenta con un equipo adecuado para la realización del análisis completo del comportamiento mecánico de los elementos estructurales de las edificaciones, dado que estos equipos (pachómetros, extractor de núcleos, acelerómetros, entre otros) son muy escasos en el país y las pocas empresas que lo poseen tienen un alto costo de arrendamiento, pero se hará una evaluación no destructiva de los elementos estructurales mediante una inspección visual para la identificación de fallas.

## **1.6 ALCANCES.**

Lo que se pretende alcanzar con el desarrollo de esta investigación es lo siguiente:

1. Fortalecer de información técnica a la Alcaldía Municipal de Santa Ana en evaluación de la vulnerabilidad sísmica que presentan actualmente las edificaciones del Centro Histórico de Santa Ana.

2. Modificar guías de evaluación de vulnerabilidad sísmica utilizadas en el país, elaborando un formato que se adapte a la evaluación de los Aspectos que ayuden a identificar la vulnerabilidad de una edificación.
  
3. Crear un mapa de nivel de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones evaluadas del Centro Histórico de Santa Ana, para identificar el patrón de vulnerabilidad característico de las edificaciones.

CAPÍTULO 2:  
MARCO  
REFERENCIAL

## **2.1 ANTECEDENTES.**

A nivel mundial, pero sobretodo en América Latina y el Caribe son víctimas frecuentes de desastres naturales. Terremotos, huracanes, erupciones volcánicas, inundaciones y deslizamientos causan anualmente enormes pérdidas humanas y económicas, provocando endeudamientos y empobrecimiento de los países de esta región del mundo (Coburn y Spence 1992).

Los Gobiernos, las Empresas Privadas, las ONG's, Universidades y las asociaciones de investigadores, realizan una serie de evaluaciones de riesgos ante amenazas naturales, con el fin de prevenir, mitigar y disminuir desastres. Sin embargo, la vulnerabilidad de algunos países ha aumentado a pesar de toda esta serie estudios y medidas, debido al incremento poblacional, desarrollo urbano y otros factores.

El Salvador no es la excepción, en los últimos años el país ha sido devastado por inundaciones, deslaves y movimientos telúricos, esto ha dado lugar a una serie de estudios de evaluación de riesgos ante eventos naturales, en su mayoría con fines de impacto ambiental, de prevención y/o mitigación de riesgos, sobre amenazas de deslaves o inundaciones, son escasos los estudios en detalle referidos a la vulnerabilidad sísmica, especialmente en la ciudad de Santa Ana.

### **2.1.1. Evaluaciones de riesgo sísmico en El Salvador.**

Los primeros estudios geotécnicos realizados en este país estuvieron dirigidos hacia el área de la Ingeniería Sísmica, cuyo propósito era brindar un aporte a la mitigación de los daños ocasionados por la ocurrencia de un terremoto.

A continuación se mencionan algunos de los estudios realizados en el país en el tema de vulnerabilidad de edificaciones ante sismos:

- “Metodología para la evaluación integral de daños en edificios”, Salgado - Valladares - Garay - Ayala, Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador, 1988. Expone en forma general la importancia que desempeña la actividad de evaluación de daños de las edificaciones existentes.
  
- “Desarrollo de un grupo de programas para la sismología aplicada a la ingeniería”, Carrillo – Garay – Morales, Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Civil, Universidad Centroamericana, 1995. Se obtienen a través del desarrollo de programas un nivel de actividad sísmica en la zona de estudio.
  
- “Development of a Risk Model for El Salvador”, Parker, G.W., Engineering Seismology and Earthquake Engineering, London, 1995. Estudio enfocado en viviendas dañadas por el terremoto del 10 de octubre de 1986 en El Salvador.
  
- “Metodologías para la evaluación del riesgo sísmico en El Salvador con aplicación a las instituciones educativas”, Guinea A., Trabajo de graduación para optar al grado de

Ingeniero Civil, Universidad Centroamericana, 1995. Con recopilación de datos del sismo del 10 de octubre de 1986 en la evaluación del riesgo sísmico en instituciones educativas.

- “Metodología propuesta para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en El Salvador. Aplicación a un centro educativo y dependencias del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social”, Peña López - Valdez Martínez, Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Civil, Universidad Centroamericana, 1995. Se pretende determinar la vulnerabilidad sísmica de los centros de estudio, a través de una metodología de carácter cualitativo.

- “Simulador informático de vulnerabilidad sísmica en elementos no estructurales aplicado al hospital nacional Zacamil”, Mejía Nuila – Rodríguez López – Saavedra López, Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero en Biomédica, Universidad Don Bosco, 2009.

- “Guía para la evaluación de establecimientos de salud de mediana y baja complejidad”, Organización Panamericana de la Salud, Washington DC, abril 2010. La guía está orientada a facilitar la evaluación de la seguridad ante desastres de los establecimientos de salud y para orientar a las autoridades a identificar las prioridades de intervención para reducir su vulnerabilidad.



▪ Proyecto TAISHIN:

Para mejorar la seguridad en la construcción de la vivienda popular, surge el proyecto “Mejoramiento de la Tecnología para la Construcción y Difusión de la Vivienda Popular Sismo-resistente” mejor conocido como proyecto TAISHIN, una palabra japonesa que significa “RESISTENTE A LOS SISMOS”.

Este proyecto se lleva a cabo gracias al trabajo conjunto de la Agencia Internacional de Cooperación del Japón (JICA), el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU), la Universidad de El Salvador (UES), la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), el Instituto Salvadoreño de la Construcción, la Fundación Salvadoreña de Desarrollo y Vivienda Mínima (FUNDASAL) y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de México. Un trabajo de investigación en el marco del proyecto TAISHIN es: “Construcciones en adobe sometidas a sismos”, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, San Salvador.

**2.1.2. Evaluación de Edificaciones en el Centro Histórico de Santa Ana.**

Dentro de los estudios relacionados a esta investigación que se han realizado en la ciudad de Santa Ana, se mencionan los siguientes:

- 1) “Re-estabilización de la Iglesia El Calvario de la Ciudad de Santa Ana”, Castellanos - Estrada – Henríquez, Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador, 2002. Propuesta de re-estabilización de la Iglesia respetando el estilo y forma de la estructura.

2) “Evaluación de la Catedral de Santa Ana por métodos geofísicos, después del terremoto del 2001”, Estudio realizado por ONG colombiana, 2003.

3) “Estudio técnico para la rehabilitación estructural del edificio de la antigua escuela de artes y oficios José Mariano Méndez de la ciudad de Santa Ana”, Alfaro – Polanco – Torres, Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador, 2001. Evaluación de las condiciones en que se encontraba la estructuración del edificio de la antigua “Escuela de Artes y Oficios José Mariano Méndez” para determinar, por medio de un proceso de investigación, las bases necesarias para la rehabilitación estructural que permitieran el uso inmediato del edificio.

## **2.2 GENERALIDADES DE UN SISMO.**

### **2.2.1. Sismo**

SEÍSMO o SISMO, mejor conocido como TEMBLOR DE TIERRA, es una perturbación en el interior de la tierra que da origen a vibraciones o movimientos de suelo, o lo que llamamos como sacudida del terreno, su causa principal y responsable de la mayoría de los sismos (grandes y pequeños) es el fracturamiento de las rocas en las capas exteriores de la tierra que se produce por choque de las placas tectónicas y por la liberación de energía en

el curso de una reorganización brusca de materiales de la corteza terrestre al superar el estado de equilibrio mecánico dando origen al fenómeno geológico (Figura 2.1).

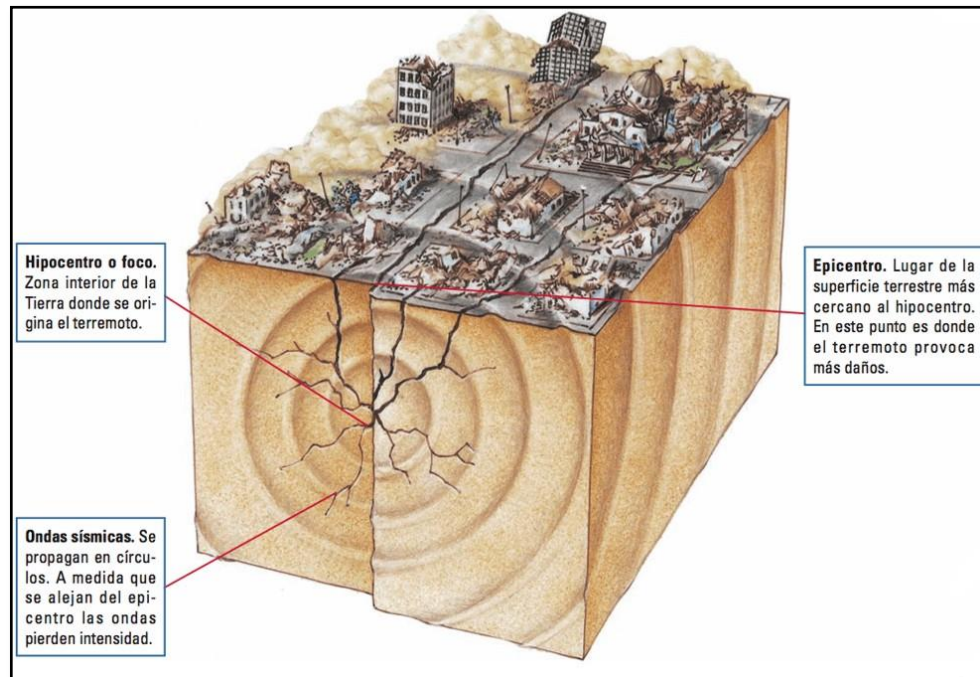


Figura 2.1 Esquema de un Sismo

El origen de los terremotos se encuentra en la acumulación de energía que se produce cuando los materiales del interior de la Tierra se desplazan, buscando el equilibrio, desde situaciones inestables que son consecuencia de las actividades volcánicas y tectónicas, que se producen principalmente en los bordes de la placa y el sitio donde se inicia la ruptura se llama foco y su proyección en la superficie de la tierra, epicentro, por ejemplo, este fenómeno es similar al hecho de arrojar un objeto a un estanque de agua, la energía liberada por el choque de dicho objeto con la superficie del agua se manifiesta como un frente de ondas, de forma circular que se aleja en forma concéntrica del punto donde cayó el objeto.

**Hipocentro o Foco:** Es el punto en la profundidad de la Tierra desde donde se libera la energía en un terremoto. Cuando ocurre en la corteza de ella (hasta 70 km de profundidad) se denomina superficial. Si ocurre entre los 70 y los 300 km se denomina intermedio y si es de mayor profundidad: profundo (recordemos que el centro de la Tierra se ubica a unos 6.370 km de profundidad).

**Epicentro:** Es el punto de la superficie de la Tierra directamente sobre el hipocentro, desde luego donde la intensidad del terremoto es mayor.

### **2.2.2. Tipos de Sismo**

Generalmente, los sismos ocurren en zonas de debilidad de la corteza terrestre que llamamos fallas geológicas, de manera general los sismos se clasifican en función de la fuente que lo origina en: Sismos Artificiales y Sismos Naturales. Los sismos de origen artificial son producidos por la actividad humana, por medio de explosiones convencionales o nucleares, perforaciones en la tierra, demoliciones, etc., con fines de exploración, investigación o explotación de bancos de materiales para la industria (por ejemplo, extracción de minerales). En general este tipo de temblores libera una cantidad de energía que ocasiona un efecto menor en la superficie terrestre.

Los sismos de origen natural son los que se generan por la actividad de la naturaleza y pueden ser de tres tipos:

a) **Sismos Volcánicos:** Son sismos generados por la actividad volcánica, a veces acompañan a las erupciones volcánicas y son ocasionadas principalmente por el fracturamiento de rocas debido al movimiento del magma. Este tipo de sismos generalmente son de menor magnitud que los sismos tectónicos y casi son imperceptibles para la población.

b) **Sismos de Colapso:** Sismos generados por el colapso de techos y paredes en antiguas minas o cavernas. Debido a las dimensiones que puede tener este tipo de fuentes, la magnitud de estos sismos es pequeña y solamente es percibido por personas que se encuentren muy cerca del área afectada.

c) **Sismos Tectónicos:** Son desplazamientos bruscos de las grandes placas (*Placas Tectónicas*) en que está subdividida la corteza terrestre. Las presiones que se generan en la corteza por los flujos de magma desde el interior de la tierra, llegan a vencer la fricción que existe en las zonas de contacto de los bordes de las placas, produciendo caídas de esfuerzos y liberación de enormes cantidades de energía almacenada en las rocas. Por lo general la energía liberada es en forma de onda vibratoria, y se propaga a grandes distancias a través de la roca de la corteza.

Se han definido dos clases de estos sismos: Los *Interplaca*, se generan por una fricción en las zonas de contacto de las zonas tectónicas, tienen una alta magnitud, debido a la cantidad de energía liberada, poseen un foco profundo, y los *Intraplaca*,

se generan en fallas secundarias que se encuentran ocultas en las placas tectónicas, se presentan lejos de los límites de placas, los sismos que se originan en estas fallas secundarias se les conoce como *Terremotos Solitarios* y que al ocurrir la ruptura, se propagan (en el interior de la tierra) una serie de ondas sísmicas que al llegar a la superficie sentimos como un temblor.

### **2.2.3. Ondas Sísmicas**

El movimiento sísmico obedece a las mismas leyes del movimiento físico de los cuerpos y es el resultado de las vibraciones y ondulaciones de los estratos terrestres. Las ondas sísmicas pueden ser generadas por movimientos telúricos naturales, los más grandes de los cuales pueden causar daños en zonas donde hay asentamientos urbanos. Las ondas sísmicas pueden ser generadas también artificialmente como por ejemplo el uso de explosivos o camiones. Hay dos tipos de ondas sísmicas: las *ondas internas* (o *de cuerpo*) y las *ondas superficiales*.

**a) Ondas Internas:** Las ondas internas viajan a través del interior de la Tierra. Siguen caminos curvos debido a la variada densidad y composición del interior de la Tierra. Este efecto es similar al de refracción de ondas de luz. Las ondas internas transmiten los temblores preliminares de un terremoto pero poseen poco poder destructivo. Las ondas internas son divididas en dos grupos: ondas primarias (P) y secundarias (S).

Las **ondas P** (primarias) son ondas longitudinales o de compresión, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material líquido o sólido. Velocidades típicas son 1450m/s en el agua y cerca de 5000m/s en el granito (Figura 2.2).

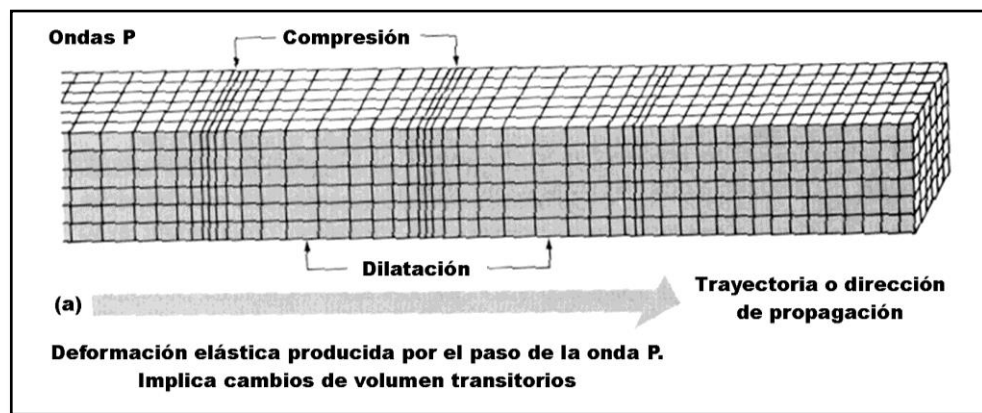


Figura 2.2 Propagación de las ondas P

Las **ondas S** (secundarias) son ondas en las cuales el desplazamiento es transversal a la dirección de propagación. Su velocidad es menor que la de las ondas primarias. Debido a ello, éstas aparecen en el terreno algo después que las primeras. Estas ondas son las que generan las oscilaciones durante el movimiento sísmico y las que producen la mayor parte de los daños. Solo se trasladan a través de elementos sólidos, debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la P (Figura 2.3).

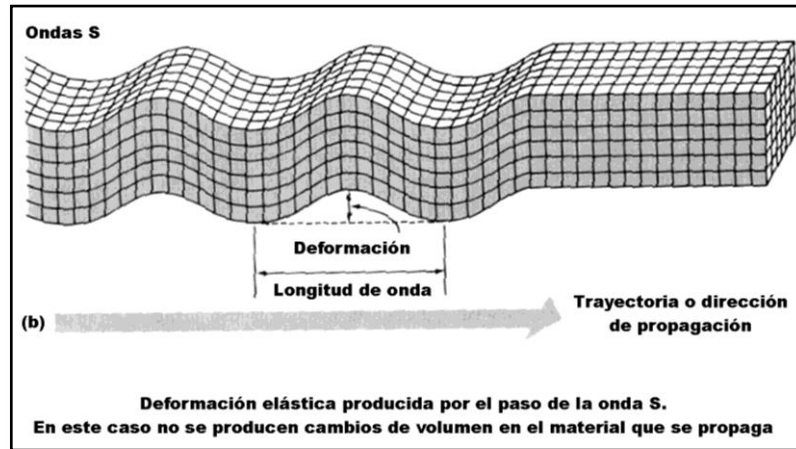


Figura 2.3 Propagación de las ondas S

b) Ondas Superficiales: Cuando las ondas internas llegan a la superficie, se generan las ondas L (*love*), que se propagan por la superficie de discontinuidad de la interfase de la superficie terrestre (tierra-aire y tierra-agua). Son las causantes de los daños producidos por los sismos en las construcciones. Estas ondas son las que poseen menor velocidad de propagación a comparación de las otras dos (Figura 2.4).

Las **ondas Love** son ondas superficiales que producen un movimiento horizontal de corte en superficie. Se denominan así en honor al matemático neocelandés A.E.H. Love quien desarrolló un modelo matemático de estas ondas en 1911. La velocidad de las ondas Love es un 90% de la velocidad de las ondas S y es ligeramente superior a la velocidad de las ondas Rayleigh. Estas ondas solo se propagan por las superficies.



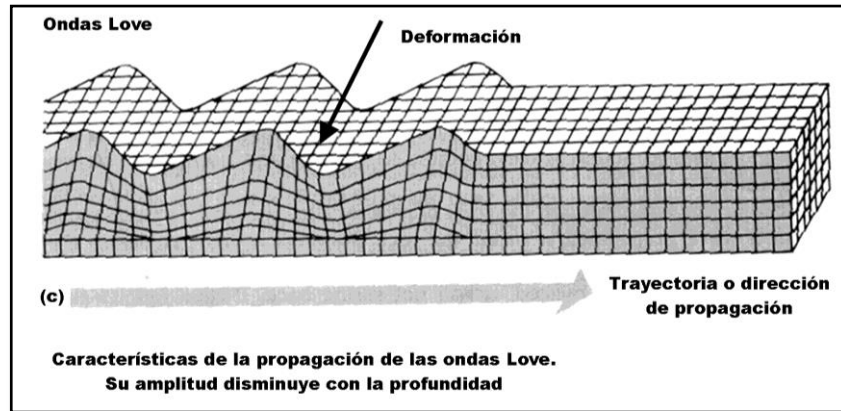


Figura 2.4 Propagación de las ondas Love

Las **ondas Rayleigh** (erróneamente llamadas *Raleigh*), también denominadas *ground roll*, son ondas superficiales que producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo. La existencia de estas ondas fue predicha por John William Strutt, Lord Rayleigh, en 1885. Son ondas más lentas que las ondas internas y su velocidad de propagación es casi un 70% de la velocidad de las ondas S (Figura 2.5).

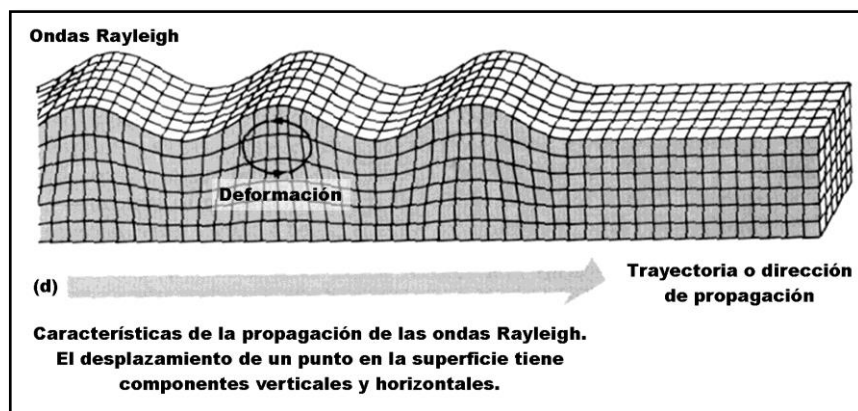


Figura 2.5 Propagación de las ondas Rayleigh

#### **2.2.4. Medición de un Sismo**

##### Magnitud Sísmica

Refiriéndonos a un sismo su tamaño está relacionado con la energía de deformación liberada en el foco sísmico. Esta energía es medida en forma indirecta y la acumulación de energía en una zona es función del tiempo de interrupción del movimiento de las placas tectónicas a lo que denominamos como **Magnitud**, entonces la magnitud no es más que una medida cuantitativa de la energía liberada en forma de ondas sísmicas, que es un parámetro de origen de un sismo y se mide en escala continua, que a partir del siglo XX los científicos empezaron a medir estas fuerzas que provocan un terremoto, usualmente los sismos se miden en magnitudes de 1 a 10, la gente asume que esos son los números de la Escala de Richter, también conocida como escala de magnitud local ( $M_L$ ), que es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar la energía que libera un sismo, desarrollada en los años 30 por el sismólogo del Instituto de Tecnología de California, Dr. Charles Richter (1900-1985), sin embargo, los números con los que se miden los sismos en la actualidad son de una escala actualizada en 1970, llamada Escala Sismológica de Magnitud de Momento.

Esta escala fue desarrollada en el Instituto de Tecnología de California, por el Dr. Hiroo Kanamori, esta escala corrige un defecto que tiene la escala de Richter, el Dr. Kanamori se dio cuenta al estudiar el terremoto en Chile de magnitud de 9.5 en 1960, que las líneas de medición de la lectura final de la escala de Richter estaban literalmente afuera del gráfico, por lo que, el determino que la escala de Richter era insuficiente para medir terremotos de

más de 7 magnitudes, así que diseñó la Escala de Magnitud de Momento, en la que define que cada punto sucesivo que un terremoto suba de magnitud, tendrá 30 veces más de poder, por ejemplo, un sismo de magnitud 4 es 30 veces más poderoso que uno de magnitud 3, y un sismo de magnitud 5 es 900 veces más poderoso que uno de magnitud 3.

La medición de los sismos se realiza a través de un instrumento llamado sismógrafo, el que registra en un papel la vibración de la Tierra producida por el sismo (sismo grama). Nos informa la magnitud y la duración. A continuación se presenta un esquema de una lectura sismográfica visto en la siguiente figura.

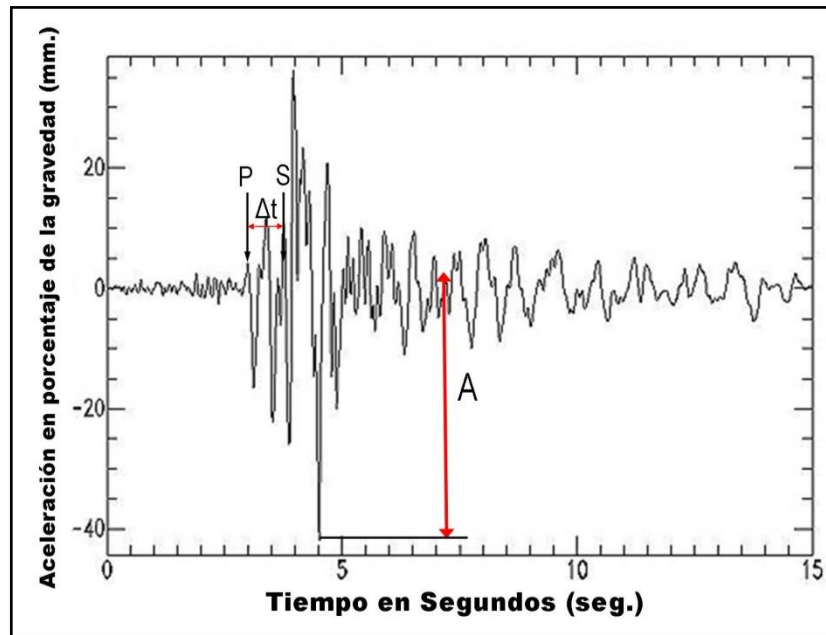


Figura 2.6 Representación de un sismograma. P= ondas P; S=ondas S, las ondas P aparecen antes que las ondas S;  $\Delta t$ =tiempo transcurrido entre ambas ondas, medido en segundos; A= amplitud máxima de la ondas S, tomada en milímetros.

### Intensidad Sísmica

Es la severidad de la sacudida sísmica que se experimenta en un sitio dado, es decir, que se refiere a los efectos que causa en las edificaciones (cualitativo) y en general al sitio donde ocurre un sismo y que directamente afecta la vida humana. Los sismos tienen una misma magnitud, pero tienen diferentes intensidades, ya que la intensidad depende del sitio donde se registre. En general la intensidad decrece a medida que nos alejamos de la zona epicentral.

La intensidad no posee una escala universalmente aceptada, esto quiere decir que las escalas más precisas son las de tipo instrumental que definen, por ejemplo, la intensidad en función de la aceleración máxima del terreno en el sitio de interés. La primera escala de intensidad fue propuesta en 1883 por S. de Rossi y F. Forel, con grados de 1 al 10. Más tarde, G. Mercalli propone, en 1902, otra escala con doce grados, la que fue modificada por H. Hood y F. Newman 1931 para construcciones más modernas. Esta es conocida como Escala de Mercalli Modificada, la que ahora es ampliamente utilizada.

La escala de Mercalli asigna intensidades entre I y XII a los daños producidos por el terremoto. Intensidades menores a IV no corresponden a daño estructural, intensidades mayores a X corresponden a una destrucción generalizada. La mayor debilidad de la escala de Mercalli, es que, solo toma en cuenta la sismo resistencia de las edificaciones que se encuentran en la zona afectada y los daños comienzan a partir del grado VI (seis) (Ver Tabla 2.1).

**Tabla 2.1 Escala de Intensidad Mercalli Modificada**

Escala	Descripción
I.	No es sentido por las personas, registrado por los instrumentos sismográficos.
II.	Sentido sólo por muy pocas personas en reposo, especialmente en los pisos superiores, objetos suspendidos pueden oscilar.
III.	Sentido en el interior de las edificaciones, especialmente en pisos superiores, pero muchos pueden no reconocerlo como temblor, vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo liviano, objetos suspendidos oscilan.
IV.	Objetos suspendidos oscilan visiblemente, vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo pesado, vehículos estacionados se bambolean, cristalería y vidrios suenan, puertas y paredes de madera crujen.
V.	Sentido aun en el exterior de los edificios, permite estimar la dirección de las ondas, personas dormidas se despiertan, el contenido líquido de recipientes y tanques es perturbado y se puede derramar, objetos inestables son desplazados, las puertas giran y se abren o cierran, relojes de péndulo se paran.
VI.	Sentido por todas las personas, muchos sufren pánico y corren hacia el exterior, se tiene dificultad en caminar establemente, vidrios y vajilla se quiebran, libros y objetos son lanzados de los anaqueles y estantes, los muebles son desplazados o volcados, el revoque y enlucido de mortero de baja calidad y mampostería tipo D se fisuran, campanas pequeñas tañen.
VII.	Se tiene dificultad en mantenerse parado, percibido por los conductores de vehículos en marcha, muebles se rompen, daños y colapso de mampostería tipo D, algunas grietas en mampostería tipo C, las chimeneas se fracturan a nivel de hecho, caída del revoque de mortero, tejas, cornisas y parapetos sin anclaje, algunas grietas en mampostería de calidad media, campanas grandes tañen, ondas en embalses y depósitos de agua.
VIII.	La conducción de vehículos se dificulta, daños de consideración y colapso parcial de mampostería de tipo C, algún daño en mampostería de tipo B; algún daño en mampostería de tipo A; caída del revoque de mortero y de algunas paredes de mampostería, caída de chimeneas de fabricas, monumentos y tanques elevados, algunas ramas de árboles se quiebran, cambio en el flujo o temperatura de pozos de agua, grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados.
IX.	Pánico general, construcciones de mampostería tipo D totalmente destruidas, daño severo y aun colapso de mampostería tipo C, daño de consideración en mampostería de tipo B, daño a fundaciones, daños y colapso de estructuras aporticadas, daños en ensambles y depósitos de agua, ruptura de tubería cerrada, grietas significativas visibles en el terreno.
X.	La mayoría de las construcciones de mampostería y a base de pórticos destruidas, algunas construcciones de madera de buena calidad son dañadas, puentes destruidos, daño severo a represas, diques y terraplenes, grandes deslizamientos de tierra, el agua se rebalsa en los bordes de ríos, lagos y embalses, rieles de ferrocarril deformados ligeramente.
XI.	Los rieles de ferrocarril deformados severamente, ruptura de tuberías enterradas que quedan fuera de servicio.
XII.	Destrucción total, grandes masas de roca desplazadas, las líneas de visión óptica distorsionadas, objetos lanzados al aire.

Definición de los tipos de mampostería según la escala de Mercalli:

**Tipo A:** Buena calidad de ejecución, mortero y diseño, reforzada y confinada empleando varillas de acero, diseñada para resistir cargas laterales de sismo.

**Tipo B:** Buena calidad de ejecución, reforzada, pero no diseñada específicamente para resistir cargas laterales de sismos.

**Tipo C:** Calidad de ejecución media, sin refuerzo y no diseñada para resistir cargas laterales.

**Tipo D:** Materiales de baja resistencia, tal como adobe, baja calidad de ejecución débil para resistir cargas laterales.

#### **2.2.5. Amenaza Sísmica**

Se entiende por amenaza, al peligro latente asociado a un fenómeno físico, de origen natural o tecnológico, que puede presentarse en un lugar específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes y el medio ambiente, es decir una probabilidad de ocurrencia. Entonces Amenaza Sísmica se define como la amenaza natural que se cuantifica por el valor esperado de futuras acciones sísmicas en un sitio de interés y se mide en función de la aceleración del terreno debida a las ondas sísmicas y se expresa en términos de sus probabilidades de excedencia u ocurrencia.

La amenaza se define usualmente en términos de la probabilidad de ocurrencia, sin embargo también se puede establecer de manera determinística para una fuente sísmica particular, el valor de la amenaza será función principalmente del ambiente sismo tectónico de la zona y las condiciones locales de los suelos. Para conocer la posible intensidad de la amenaza (energía en el sitio de estudio) es necesario estudiar a nivel regional las fuentes sísmicas para determinar el potencial de generar sismos fuertes, y a nivel local la respuesta sísmica (amplificación o reamplificación) de los suelos y rocas ante las ondas sísmicas. La realización de estos estudios, nos permite adelantar acciones para reducir los efectos producidos por un sismo en las personas y edificaciones principalmente del área en estudio.

#### **2.2.6. Vulnerabilidad Sísmica**

Es una propiedad intrínseca de la estructura, una característica de su propio comportamiento ante la acción de un sismo descrito a través de una ley causa-efecto, donde la causa es el sismo y el efecto es el daño (Sandi, 1986). Es la cuantificación del comportamiento de una edificación con respecto a una sollicitación dada, es decir, la vulnerabilidad sísmica de una edificación es un conjunto de parámetros capaz de predecir el tipo de daño estructural, el modo de fallo y la capacidad resistente de una estructura bajo unas condiciones probables de sismo. La vulnerabilidad sísmica no solo depende del edificio de estudio en cuestión, sino también del lugar. Es decir, dos edificios iguales tendrán mayor o menor vulnerabilidad dependiendo del lugar. Por ejemplo, la vulnerabilidad de los elementos expuestos (edificaciones, líneas vitales, población) representa la capacidad del elemento para resistir daño o afectación frente a la amenaza, es

decir que un elemento con vulnerabilidad baja es capaz de resistir altos niveles de amenaza, en cambio un elemento con vulnerabilidad alta tiene poca resistencia para absorber la demanda de la amenaza, por lo que puede sufrir daños fácilmente.

Entender la vulnerabilidad de las edificaciones se requiere identificar los factores en cuanto a lo social y físico técnicos, sobre los cuales se debe actuar para reducir los efectos causados por la presencia de fenómenos naturales llámese sismo. Uno de los factores más determinantes en la vulnerabilidad de una zona o región, lo encontramos en los establecimientos de asentamientos humanos en la zonas con alto grado de amenaza y sobre todo es en zonas donde falta la planificación de un desarrollo urbano, pero la presencia de dichos asentamientos se debe al poco conocimiento de la población sobre dichas temáticas como también no hay opciones ni recursos para poder elegir terrenos más seguros.

Para obtener resultados aceptables en un estudio como el que se plantea en este proyecto, se deben considerar conjuntamente los factores que se pretende abordar tal como: constructivo, geométrico, geotécnico, de entorno y estructural de cada edificación perteneciente al estudio. Desde aquí la importancia de comprender dichos aspectos tomados de forma conjunta no independiente como parámetros que actúan de manera integrada para poder determinar el grado de vulnerabilidad de una edificación.



### **2.2.7. Riesgo Sísmico**

Según Fournier d'Albe (1988), riesgo sísmico es la probabilidad de una pérdida (humana, económica, etc.) causada por un sismo durante un tiempo definido. Esa probabilidad de pérdida depende entonces de dos factores: la peligrosidad sísmica como factor natural y la vulnerabilidad que refleja más bien las características de la intervención humana. (PRISMA N°18, JULIO-AGOSTO 1996)

Entonces el riesgo sísmico se define como el daño potencial que sobre la población y sus bienes, la infraestructura, el ambiente y la economía pública y privada, pueda causarse por la ocurrencia de un evento sísmico, es decir, que es función del nivel de amenaza sísmica del sitio, la vulnerabilidad de construcciones y la capacidad de respuesta de la población e instituciones. El peligro o riesgo sísmico también es la probabilidad de que se produzca un sismo en un determinado lugar.

Entonces el riesgo sísmico calibra la probabilidad de que se produzca un sismo, el número de víctimas que ocasionaría y cómo afectaría al tipo de construcciones existentes en la zona. Así, una zona de fallas despoblada tendría una peligrosidad sísmica muy alta pero un riesgo sísmico muy bajo. Para disminuir el riesgo sísmico de una zona se deben tomar medidas de predicción y prevención, aunque no es posible determinar en qué momento se producirá un terremoto.

Entonces conociendo la amenaza de una zona y la vulnerabilidad de los elementos que se disponen en dicha zona, se puede determinar el riesgo al que pueden estar sometidos. Podemos expresar el riesgo sísmico como una función de amenaza sísmica y de la vulnerabilidad de las edificaciones, según (Wong 1997) así:

$$\text{Riesgo Sísmico} = \text{Amenaza Sísmica} \times \text{Vulnerabilidad.}$$

### **2.2.8. Efectos de los Sismos en Edificaciones**

La acción de los sismos sobre las edificaciones y obras civiles en general, es de gran importancia, por la magnitud de los daños y fallas que ocasionan, por las grandes pérdidas económicas, esto quiere decir que, después de la sacudida de un sismo, llega un ambiente total de destrucción material, pero sobre todo de personas damnificadas y pérdidas humanas, cabe mencionar que muchos de los daños causados por un terremoto, se deben no solo a la violencia de la sacudida, sino que también en muchas ocasiones a otros fenómenos igualmente destructivos que pueden acompañar a dicho fenómeno.

Cuando un sismo se produce, el movimiento del subsuelo se transmite a la estructura de la edificación a través de las ondas sísmicas. La inercia de la edificación, debida al gran peso de ésta, se opone a este movimiento, creando fuerzas que afectan la estabilidad estructural de las edificaciones (Figura 2.7). Estas fuerzas inerciales pueden producir la movilización de las fuerzas resistentes sobre la estructura, dependiendo de su amplitud, duración y la

frecuencia, con lo cual podría fallar la estructura o verse seriamente afectada la seguridad de la construcción.

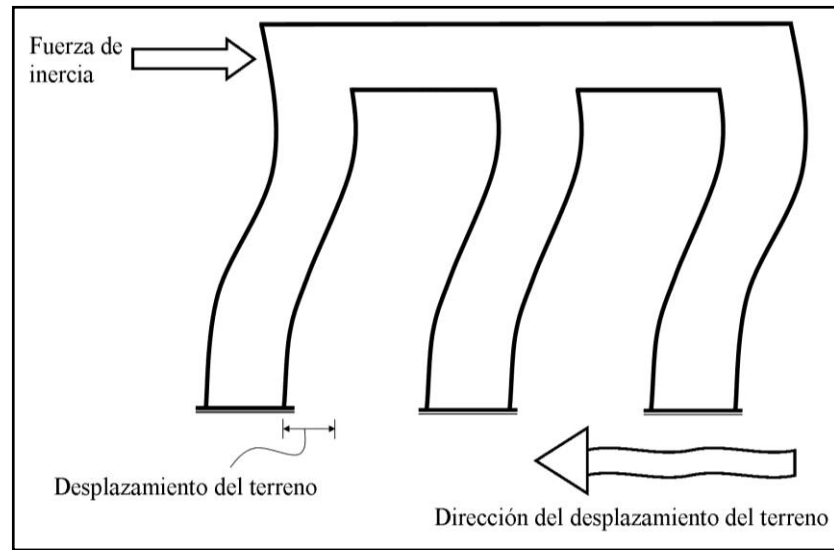


Figura 2.7 Fuerza de inercia generada por la vibración de la estructura.

Podemos decir que una edificación que no esté preparada para resistir las fuerzas inerciales durante un sismo, puede presentar múltiples daños estructurales, que en algunos casos, no solo causan el colapso de la edificación, sino que lamentablemente producen la muerte de sus ocupantes, es por esta razón que se debe tener especial cuidado en la prevención y así evitar tragedias, especialmente cuando se trata de pérdida de vidas humanas.

### **2.2.9. Daños Estructurales más Comunes**

Los efectos de los sismos sobre las edificaciones y obras civiles en general no solo dependen de la magnitud del terremoto, sino, de la vulnerabilidad que las edificaciones

poseen. Por lo general esta vulnerabilidad depende del diseño estructural, de la ejecución de la obra y de la calidad de los materiales empleados para la construcción. Los daños más severos son los que pueden producir el fallo total de la edificación, y estos se dan en los elementos estructurales.

A continuación se presentan los tipos de falla más comunes en las edificaciones que pueden producir su colapso.

**a) Falla de Elementos Verticales:** La causa más frecuente de colapso de las edificaciones es la insuficiente resistencia a carga laterales de los elementos verticales de soporte estructural (Columnas o muros). Las fuerzas de inercia desde las partes superiores hacia la cimentación, generan fuerzas cortantes crecientes hacia los pisos inferiores de la estructura las cuales deben ser resistidas por los elementos verticales.

La capacidad de deformación, o la ductilidad, es una propiedad que puede salvar un edificio del colapso, las edificaciones deben contar con un área transversal de muros o columnas que puedan resistir las fuerzas cortantes, y una cuantía y distribución de refuerzo transversal de acero (estribos) adecuada para proporcionar capacidad de deformación a los elementos estructurales, de esta se pueden evitar colapsos de edificaciones por fallas de columnas y fallas de columnas por escaso refuerzo transversal.

**b) Falla de Conexiones:** Algunas conexiones entre elementos estructurales tienen la función de resistir las fuerzas sísmicas, por eso son llamadas zonas críticas de estabilidad. En estas zonas se presentan con frecuencia concentraciones elevadas y condiciones complejas de esfuerzos, que dan lugar a casos de falla.

Las conexiones más críticas son entre muros y losas en estructuras a base de paneles, y entre vigas y columnas en estructuras de marcos. Un ejemplo dramático de falla de conexión se tiene en edificios de losas planas (apoyados directamente sobre columnas, sin vigas). Los esfuerzos cortantes de la losa son elevados alrededor de la columna, lo que produce punzonamiento, dejando sin apoyo los sistemas de piso y dando lugar a un colapso total de los pisos, quedando paradas las columnas. Algunas conexiones fallan debido a la escasez de anclaje de refuerzo.

**c) Falla por Volteo:** Los casos de volteo de un edificio por efectos sísmicos son escasos, pero pueden ocurrir en estructuras esbeltas. La causa de volteo se debe a una inadecuada cimentación de la edificación, a veces es inevitable construir en suelo inestables, por lo que se debe emplear métodos de estabilidad de suelo para evitar asentamientos diferenciales en las cimentaciones que puedan producir este tipo de falla. A veces este tipo de falla se puede producir por licuefacción.

**d) Falla por Golpeo:** Este tipo de falla es poco usual y frecuentemente ignorada, pero ha dado lugar a daños severos en edificios. La vibración de los edificios en el

momento del sismo es diferente, por lo que puede ocasionar choques o golpes entre edificios adyacentes.

### Colapso Parcial o Total

Daños producidos por los eventos sísmicos, en elementos aislados, asentamientos diferenciales, pueden ir desde la pérdida parcial a total de la estructura. En las siguientes imágenes se muestran los daños ocurridos en edificios de la capital por el terremoto de 1986.



Figura 2.8. A la derecha edificio Gran Hotel de El Salvador colapsado parcialmente, a la izquierda edificio Rubén Darío totalmente colapsado. San Salvador, terremoto del 10 de octubre de 1986.

### Incendios

El fuego puede originarse por corte del suministro eléctrico posteriormente a daños en la red de gas en los grandes edificios o en el sistema eléctrico de las edificaciones mismas.

### Daños en las Estructuras por Licuefacción del Suelo

Este fenómeno es uno de los más importantes y que afecta directamente a las cimentaciones de la edificación y ocurre cuando, por causa del movimiento, el agua saturada en el material, como arena, temporalmente pierde su cohesión y cambia de estado sólido a líquido. Este fenómeno puede propiciar el derrumbe de las estructuras rígidas debido a los asentamientos diferenciales de las fundaciones, constituyéndose así en el factor más influyente en cuanto a los efectos negativos provocados por los sismos.



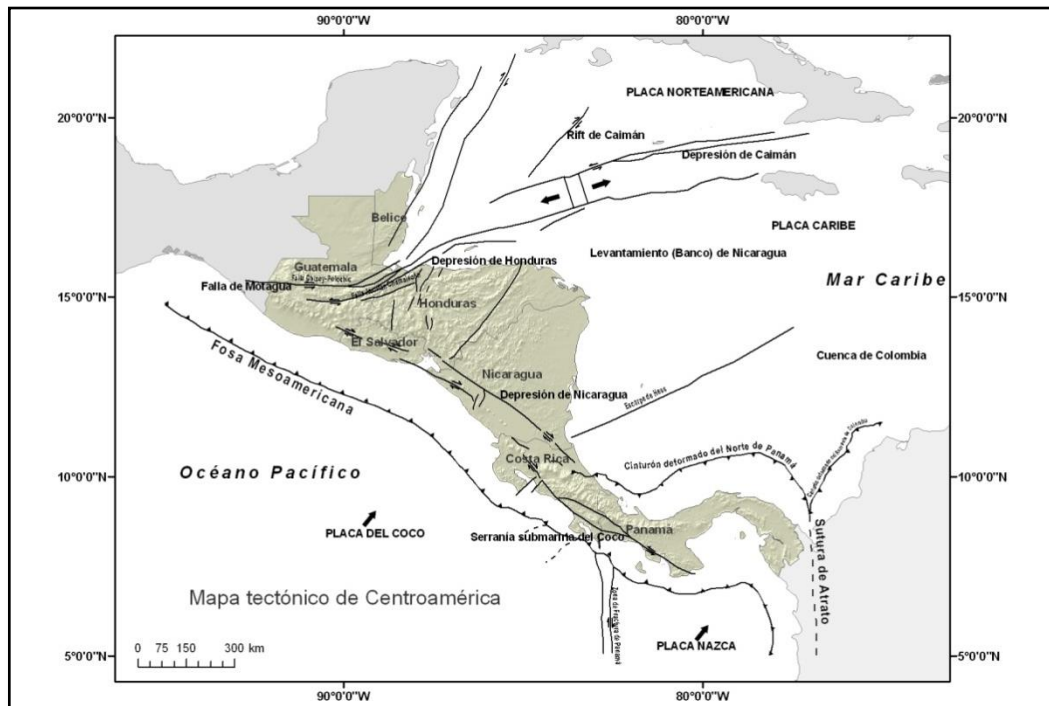
Figura 2.9. Desprendimiento de suelo en La Cordillera del Bálsamo, sobre Las Colinas, Santa Tecla.

### **2.3 SISMICIDAD EN EL SALVADOR.**

El Salvador posee dos peligros sísmicos principales: El primero y de mayor importancia, es el que se genera en el Océano Pacífico, en la zona de subducción entre la placa de Cocos y El Caribe y el segundo, por la cadena volcánica geológicamente jóvenes, que se encuentran ubicados dentro de la franja media del país.

### 2.3.1. Marco Sismo Tectónico de Centro América

Los países de Centroamérica se ubican en una región donde interactúan de forma directa las placas tectónicas del Caribe, Norteamérica, Cocos y Nazca. El Mapa 2.1 muestra el mapa tectónico de Centroamérica, en donde se puede observar que la mayor parte del territorio se encuentra ubicado sobre la placa Caribe; que interactúa con las placas de Norteamérica en el norte, la de los Cocos al oeste y la de Nazca al sur. Tanto los sismos escurridos por el movimiento ente las placas Caribe-Norteamérica y Caribe-Cocos generan terremotos de magnitudes mayores a 7, siendo muy destructivos para la región Centroamericana. En la zona sur en Costa Rica se encuentra el punto triple o punto de convergencia de las placas Cocos, Caribe y Nazca, ubicada en la región de Golfo Dulce y los cinturones deformados del norte y sur de Panamá.



Mapa 2.1 Mapa tectónico de Centroamérica. (RESIS II, NOSAR-CEPRENAC, 2008).



### **2.3.2. Amenaza Sísmica de El Salvador**

Como puede observarse en el Mapa 2.1, la frontera de convergencia entre las placas Coco-Caribe es evidenciada por la trinchera centroamericana (Middle American Trench); el fenómeno de subducción entre las placas Coco-Caribe es entonces, el causante principal del vulcanismo y de la actividad sísmica de El Salvador; este hecho conduce a que la amenaza sísmica en El Salvador esté determinada por la ocurrencia de terremotos en la zona de subducción o en la zona de la cordillera volcánica activa. En la zona de subducción de El Salvador ocurren terremotos de magnitudes mayores a  $M_w=7.0$  y en la cordillera volcánica los terremotos tienen magnitudes menores que  $M_w=6$  pero de focos superficiales. La historia reciente demuestra que en El Salvador, los terremotos que ocurren a lo largo de la cordillera volcánica, son más destructivos que los de subducción, esto es, por su cercanía a las principales ciudades y por tener su origen entre 10 y 30 km de profundidad (SNET, 2010).

En general se establece que la amenaza sísmica de una región es mayor mientras más cerca se ubica esta (región) del foco del terremoto, por lo que se puede afirmar que la región de El Salvador comprendida entre la trinchera Centroamericana y la cordillera volcánica Centroamericana experimenta alta amenaza sísmica; este hecho permite establecer que la amenaza sísmica se reduce sustancialmente para las regiones del norte de El Salvador siendo menor para localidades más distantes de la cordillera volcánica activa que está a una distancia de alrededor de 165 km desde la trinchera centroamericana, tal como se muestra en el Mapa 2.2.

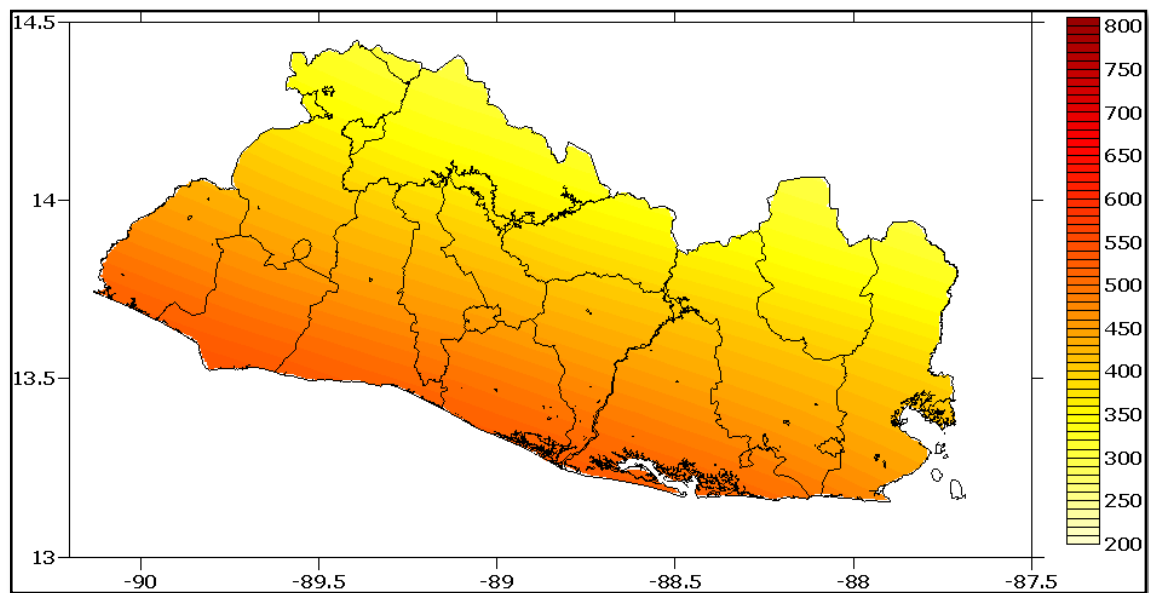


Mapa 2.2 Muestra la distancia entre la trinchera centroamericana y la cordillera de volcanes activos de El Salvador. (Mapa base tomado de Google)

Desde el punto de vista cuantitativo se han hecho diferentes estudios de la amenaza sísmica de Centroamérica (Resis II., 2008) pero el estudio que recoge los aportes de las redes sísmicas nacionales fortalecidas en años posteriores a la declaración del Decenio (1990-1999) Internacional para la Reducción de “Desastres Naturales” (DIRDN)” (Naciones Unidas, 1989), es el realizado por NORSAR-CEPREDENAC, 2008; este estudio aplica la metodología PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Assesment) al conjunto de datos sísmicos existentes en los catálogos sísmicos nacionales ( 29918 sismos de magnitudes  $M_w \geq 3.5$ ) para elaborar 9 mapas regionales y 18 mapas nacionales (3 por país centroamericano) correspondientes a la amenaza sísmica a través de evaluar la aceleración pico de suelo PGA (Peak Ground Acceleration), la aceleración espectral SA (Spectral Acceleration) para un periodo de 0.2 s y la aceleración espectral SA para un periodo de 1.0 s. Estos mapas se elaboraron para períodos de retorno de 500, 1000 y 2500 años. El

resultado para El Salvador al evaluar el PGA para un período de retorno de 500 años se muestra en la Mapa 2.3.

En general el Mapa 2.3 evidencia de forma cuantitativa que la amenaza disminuye para regiones más alejadas del océano pacifico y de la cordillera volcánica.



Mapa 2.3. Muestra el mapa de amenaza sísmica de el Salvador para PGA en gales y un período de retorno de 500 años. NORSAR-CEPRENAC, 2008

### **2.3.3. Historia Sísmica de El Salvador.**

Debido al escenario geotectónico en que se ubica el territorio salvadoreño, la generación de sismos es considerable. Por tanto la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), dependencia del Ministerio de Medio Ambiente, actualmente cuenta con un catálogo de sismos de importante trascendencia, mencionados en la siguiente tabla:

**Tabla 2.2 Cronología de los sismos de trascendencia en El Salvador (fuente: DGOA,**

**<http://www.snet.gob.sv/ver/sismologia/registro/estadisticas/>)**

Fecha	Hora GMT	Ubicación (LAT,LON)	MAGNITUD	Prof (km)	Intensidad Máxima (MM)	Epicentro	Comentarios
1524	---	---	---	---	---	San Salvador	Primera ruina de que se tiene noticia
23 de mayo de 1576	---	---	---	---	---	Entre San Marcos y Santo Tomás, San Salvador.	Total destrucción de San Salvador.
1593	---	---	---	---	---	San Salvador	Terremoto daña severamente San Salvador
1625	---	---	---	---	---	San Salvador	Violento terremoto causa graves daños en San Salvador
1650	---	---	---	---	---	San Salvador	Violento terremoto causa daños en San Salvador
30 de septiembre de 1659	---	---	---	---	---	---	Gran erupción del volcán Boqueron. Completa destrucción de San Salvador
1707	---	---	---	---	---	San Salvador	Ruina completa en San Salvador
5 de marzo de 1719	---	13.300° N 89.120° O	7.4	---	---	San Salvador, San Vicente	Ruina de San Salvador, San Vicente y pueblos vecinos
1730	---	13.738° N 89.292° O	5.5	---	---	San Salvador	Violento terremoto en San Salvador
1733	---	14.294° N 89.615° O	7.2	---	---	Santa Ana, Sonsonate, Izalco	Violento terremoto en Santa Ana, Sonsonate, Izalco, causaron daños principalmente en los templos de La Trinidad en Sonsonate y Dolores en Izalco
Abril 1765	---	13.720° N 89.066° O	5.7	---	---	Ilopango, San Martín, Perulapía y Perulapan	Temblores dañan Ilopango, San Martín, San Bartolomé Perulapía y San Pedro Perulapan
29 de Julio de 1773	---	13.950° N 91.400° O	7.5	---	---	El Salvador	Violento terremoto ocasiona serios daños en San Salvador , Panchimalco, Huizúcar, Jayaque y Guaymoco
29 de Noviembre de 1783	---	13.632° N 88.787° O	6.6	---	---	San Vicente	Terremoto, se produce a las 2:30 pm, daña la Villa de San Vicente de Austria

Fecha	Hora GMT	Ubicación (LAT,LON)	MAGNITUD	Prof (km)	Intensidad Máxima (MM)	Epicentro	Comentarios
2 de Febrero de 1798	---	13.702° N 89.208° O	5.4	---	---	San Salvador	Terremoto a las 2:00 pm destruye San Salvador, también se vio afectado Cuscatlán
20 de agosto de 1815	---	13.633° N 89.175° O	6.1	---	---	San Salvador	Gran temblor en toda la provincia de San Salvador, muchos templos de la capital quedaron deteriorados, la parroquia de Panchimalco quedó destruida
7 de Febrero de 1831	---	13.400° N 89.750° O	7.1	---	---	El Salvador	Gran terremoto producido a la 1:00 pm causando notables estragos en San Salvador y daños en muchas poblaciones del Sur
21 de Marzo de 1839	---	13.762° N 89.230° O	6.2	---	---	San Salvador	Terremoto a las 3 pm causó daños en San Salvador y pueblos vecinos como Quezaltepeque y Nejapa
23 de junio 1847	---	13.708° N 89.469° O	5.9	---	---	El Salvador	Temblor causa daños en los pueblos del Balsamo, en particular Armenia y Jayaque
16 de abril de 1854	---	13.681° N 89.135° O	6.5	---	---	La intensidad pico fue cerca de San Jacinto, San Salvador	Ruina en San Salvador, la capital se trasladó a Santa Tecla.
11 de Junio de 1854	---	13.672° N 89.038° O	6.3	---	---	San Vicente	Terremoto a las 2:00 pm, destruye la torre de Reloj en San Vicente, La iglesia y otras poblaciones
25 de Agosto de 1859	---	12.850° N 88.000° O	7.1	---	---	La Unión	Fuerte temblor a las 11:00 pm en El Puerto de La Unión, causa daños sin víctimas que lamentar
8 de Diciembre de 1859	---	13.350° N 89.150° O	7.3	---	---	San Salvador	Fuerte temblor de produce a las 10:45 pm en San Salvador, se generó un Tsunami que afectó el puerto de Acajutla
21 de Junio de 1860	---	13.630° N 88.887° O	5.8	---	---	San Vicente	Serie de temblores en San Vicente, daños en muchas poblaciones
3 de Diciembre de 1860	---	13.350° N 89.450° O	7.1	---	---	San Salvador	Fuerte temblor se da a las 11:00 am, daños en las poblaciones de los alrededores
30 de Junio de 1867	---	13.310° N 89.200° O	7.1	---	---	El Salvador	Violento temblor a las 5:30 pm que dañó San Salvador, La Libertad, San Vicente, Suchitoto, Santa Tecla

Fecha	Hora GMT	Ubicación (LAT,LON)	MAGNITUD	Prof (km)	Intensidad Máxima (MM)	Epicentro	Comentarios
29 de Diciembre de 1872	---	13.633° N 88.876° O	5.4	---	---	San Vicente	Violento terremoto a las 11:50 pm daña muchas viviendas en San Vicente y ocasiona varias muertas
19 de Marzo de 1873	---	13.300° N 89.300° O	7.1	---	---	San Salvador	Violento temblor se produjo en San Salvador a las 4:30 pm
9 de septiembre de 1891	---	13.250° N 89.300° O	7.1	---	---	San Salvador	Terremoto causa semiruina de San Salvador y otras poblaciones
2 de enero de 1893	---	13.705° N 89.164° O	5.6	---	---	San Salvador	Sismo a las 9:00 am ocasiona la semiruina de San Salvador y Soyapango
25 de marzo de 1899	---	13.651° N 88.796° O	5.7	---	---	San Vicente	Movimiento sísmico causa la ruina de San Vicente, Apastepeque e Istepeque
18 de abril de 1902	---	14.000° N 91.000° O	Ms=7.9 (Alfaro et al, 1990)	25.0	---	---	Maremoto en Ahuachapán destruyendo Barra de Santiago, Cara Sucia y Garita Palmera. Daños en el occidente del país y en San Salvador.
19 de julio de 1912	---	13.867° N 89.567° O	Ms=5.9 (White y Harlow, 1993)	---	---	---	Violento temblor causa daños en Armenia, Izalco y Santa Ana.
8 de junio de 1917	00:55	13.700° N 89.500° O	Ms=6.5 (White y Harlow, 1993)	---	---	---	Erupción del Boquerón. Sismo causa destrucción en Armenia y graves daños en Ateos, Sacacoyo y San Julián. Un segundo sismo causa daños en San Salvador, Apopa, Nejapa, Quezaltepeque, Opico y Santa Tecla.
8 de junio de 1917	01:30	13.750° N 89.267° O	Ms=6.4 (White y Harlow, 1993)	---	---	---	
20 de diciembre de 1936	02:43	13.717° N 88.933° O	Ms=6.1 (White)	---	---	San Vicente	Destrucción de San Vicente. Entre 100 a 200 muertos.
6 de mayo de 1951	23:03	13.52° N 88.40° O	Ms=6.0 (White)	10	---	Jucuapa y Chinameca	---
6 de mayo de 1951	23:08	13.52° N 88.40° O	Ms=6.2 (White)	10	---	Jucuapa y Chinameca	Murieron más de 400 personas
7 de mayo de 1951	20:22	13.48° N 88.45° O	5.8 (White)	10	---	Jucuapa y Chinameca	---

Fecha	Hora GMT	Ubicación (LAT,LON)	MAGNITUD	Prof (km)	Intensidad Máxima (MM)	Epicentro	Comentarios
12 de abril de 1961	22:20	13.20° N 88.90° O	5.95 (USGS)	122	VI en San Salvador	Océano Pacífico	Daños menores en San Salvador y el sur de El Salvador
3 de mayo de 1965	10:01	13.70° N 89.17° O	Ms=6.0 (White)	15	VII en San Salvador	San Salvador	125 muertos, 400 heridos y 4000 casas destruidas
4 de febrero de 1976	09:01	15.30° N 89.10° O	Ms=7.5	5	IX en Ciudad de Guatemala. V en San Salvador.	Guatemala	En Guatemala hubo 254,750 casas destruidas, más de 22,700 muertos y más de 76,000 heridos. No hubo daños en San Salvador.
19 de junio de 1982	06:21	13.30° N 89.30° O	7.0 PAS 6.0 ISC	82	VII en San Salvador	Océano Pacífico	Según informe de Cruz Roja Salvadoreña, 8 personas murieron y 96 resultaron heridas. Hubo un promedio de 5000 personas damnificadas
23 de Abril de 1985	03:22	13.56° N 88.67° O	mb=4.8 (USGS)	-	VI en Berlín	Area de Berlín, Depto. de Usulután	Se registraron más de 5,000 sismos, por lo menos 167 fueron sentidos en el área epicentral.
10 de octubre de 1986	17:49	13.67° N 89.19° O	mb=5.4 (CIG-USGS)	7.3	VIII-IX en San Salvador	San Salvador	1,500 muertos, 10,000 heridos, unas 60,000 viviendas destruidas o seriamente dañadas.
3 de noviembre de 1988	14:46	13.88° N 90.45° O	mb=5.6 (USGS)	69	VI en Ahuachapán	Océano Pacífico, Al Sur del Depto de San José, Guatemala	5 personas murieron, algunos heridos, y cerca de 100 viviendas dañadas al sur de Guatemala
1 de marzo de 1999	21:57	13.639° N 88.786° O	Mc=4.6	10.3	VI-VII en San Vicente	Zona de San Vicente	A partir del 1 de marzo de 1999 un total de 934 sismos fueron registrados, de los cuales 71 fueron reportados como sentidos en la ciudad de San Vicente y Alrededores. Se reportaron daños en viviendas (adobe y bahareque) e iglesias.
17 de marzo de 1999	21:38	13.663° N 88.802° O	Mc=4.5	9.1	VI en San Vicente	Zona de San Vicente	
3 de abril de 1999	4:22	13.296° N 87.575° O	Mc=5.3	14.1	VII en la Isla de Meanguera	Zona del Golfo de Fonseca	A partir del 2 de abril de 1999 se reportó una serie de sismos en la Zona del Golfo de Fonseca, de éstos 17 fueron reportados como sentidos en la Isla de Meanguera y sitios aledaños. Se reportaron daños en muros de mampostería y grietas moderadas en algunas edificaciones.
3 de abril de 1999	10:10	13.225° N 87.603° O	Mc=5.8	12.5	VII en la Isla de Meanguera	Zona del Golfo de Fonseca	
13 de enero de 2001	17:34	12.83° N 88.79° O	Mw=7.6	39.0	VII en San Salvador	Zona de Subducción	Se reportan 944 fallecidos, 1155 edificios públicos dañados, 108,261 viviendas destruidas, 19 hospitales dañados, 405 iglesias dañadas, 445 derrumbes

Fecha	Hora GMT	Ubicación (LAT,LON)	MAGNITUD	Prof (km)	Intensidad Máxima (MM)	Epicentro	Comentarios
13 de febrero de 2001	14:22	13.64° N 88.94° O	Mw=6.6	13.0	VI en San Salvador	Zona de San Vicente	Se reportan 315 fallecidos, 82 edificios públicos dañados, 41302 viviendas destruidas, 5 hospitales dañados, 73 iglesias dañadas, 71 derrumbes (Fuente: COEN)
17 de febrero de 2001	20:25	13°39.6' N 89°14.9' O	Ml=5.1	5.1	VI en San Salvador	Area Metropolitana de San Salvador	No se reportaron mayores daños materiales pero si causa pánico en la población del Area Metropolitana de San Salvador

#### Descripción

---	No existe dato registrado.	mb:	Magnitud de ondas de cuerpo
Ms:	Magnitud de ondas de superficie	Mc:	Magnitud coda
USGS:	United States Geological Survey	CIG:	Centro de Investigaciones Geotécnicas
PROF:	Profundidad en kilómetros	MM:	Escala de Intensidad Mercalli Modificada

## 2.4 ÁREA DE ESTUDIO.

### 2.4.1. Santa Ana.

Santa Ana es una de las principales ciudades de la zona occidental salvadoreña y segunda ciudad en importancia del país, es cabecera del municipio, departamento, distrito y sede de la Diócesis homónimos, ubicada a 65 km de la capital estatal, San Salvador.

El municipio de Santa Ana está ubicado en el departamento homónimo, localizado en el extremo norte de la zona occidental de El Salvador. Limita al norte con Texistepeque y Nueva Concepción, al este con San Pablo Tacachico, Coatepeque y el Lago de Coatepeque,



al sur con Izalco y al oeste con Nahuizalco, Chalchuapa, San Sebastián Salitrillo, El Porvenir y Candelaria de la Frontera.

**Superficie:** 400.1 km<sup>2</sup>

**Población:** 245,421 habitantes (Censo 2007, DIGESTYC)

**Coordenadas:** 14°0'0.00"N 89°32'60.00"O

**Altitud:** 665 msnm.

Aunque hay registros arqueológicos que datan del período preclásico, la ciudad fue fundada alrededor del siglo V o VI, por los mayas, para luego ser ocupada por los pipiles, los cuales le dieron el nombre de Sihuatehuacan. Fue conquistada por los españoles durante el siglo XVI, y posteriormente perteneció a la Alcaldía Mayor de San Salvador y luego a la Intendencia de San Salvador. Ha formado parte del Estado salvadoreño, tanto en su etapa federal, como independiente.

En 1894 ocurrió en la población la Revolución de los 44, que propició el golpe de estado contra el gobierno de Carlos Ezeta. Durante la época dorada del café, a principios del siglo XX, fue la ciudad más rica del país. Para el siglo XX, y en la década de los años 1980, Santa Ana se vio afectada por la Guerra Civil de El Salvador. Con la firma de los Acuerdos de Paz de Chapultepec en 1992 (que puso fin a 12 años de guerra) y con el inicio del tercer milenio, la localidad tuvo que hacer frente al aumento de la delincuencia por el surgimiento de las pandillas o maras y a la vez ha experimentado un aumento de la población urbana

debido a la emigración de habitantes de las áreas rurales y una expansión urbana acelerada con la construcción de nuevas colonias.

En 1999 se puso en marcha el Plan maestro de desarrollo urbano (PLAMADUR) durante la administración municipal de Moisés Macall Monterrosa. El PLAMADUR propició el crecimiento, ampliación y ordenamiento de la ciudad.

Asimismo, En 2004, el gobierno salvadoreño presentó el Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial (PNODT) que propicia el desarrollo, integración y la competitividad de los municipios salvadoreños. Para los fines de la planificación y el desarrollo de los municipios, estos se han agrupado en regiones, subregiones y microrregiones. El municipio de Santa Ana fue integrado a la región "Centro Occidental, Subregión Santa Ana - Ahuachapan" y la "Microregión de Santa Ana".

#### **2.4.2. Centro Histórico de Santa Ana.**

El Centro Histórico de la Ciudad de Santa Ana es el núcleo urbano original de la ciudad salvadoreña de Santa Ana y desde donde se inició la expansión de la ciudad. Los estudios sobre la historia del Centro Histórico revelan que en sus inicios Santa Ana contaba con edificaciones de uso habitacional que fueron construidas empleando el adobe y el bahareque para muros, y la palma, paja y madera como sistemas y materiales de cubierta. Además, en la construcción de los centros ceremoniales, se emplearon el talpetate y

grandes bloques de piedra tallada. Después de la conquista se empezaron a emplear materiales como la teja de barro cocido y el ladrillo.

Los límites del Centro histórico que actualmente se han definido según la “Oficina Municipal del Centro Histórico de la Alcaldía Municipal de Santa Ana”, son aproximadamente los siguientes: la 10° calle poniente y oriente al norte, la 13° calle poniente y oriente al sur, la 11° avenida sur y norte al este y la Avenida José Matías Delgado al oeste (incluyendo iglesia Santa Lucía); extendiéndose en un área total de 157 cuadras o manzanas.

La ciudad de Santa Ana fue fundada en la época precolombina en el Barrio de Santa Bárbara entre los ríos Apanchacal y Apanteos por los mayas, siendo posteriormente conquistada y colonizada por los pipiles y finalmente por los españoles. El Centro Histórico, durante sus inicios en la época colonial, fue diseñado al estilo de una ciudad colonial española ubicándose en el centro la Plaza Mayor (donde actualmente está el Parque Libertad), y rodeado por las estructuras principales de esa época, tales como la Casa Consistorial (ubicada donde actualmente está la Alcaldía), la iglesia parroquial (ubicada donde actualmente está la Catedral) y la Casa del Convento.

Las estructuras coloniales serían posteriormente reconstruidas o restauradas, y posteriormente se agregarían otras; las edificaciones en el Centro Histórico fueron construidas desde el siglo XIX. En total, entre los bienes culturales inmuebles ubicados en

el centro histórico, se contabilizan 210 de estilo neoclásicos, 5 de estilo gótico, 64 de estilos neocoloniales, 102 de estilos tradicionales y 170 de estilos contemporáneos.

La Plaza principal de la ciudad es el Parque Libertad, el cual está rodeado por las edificaciones principales de la ciudad y otras estructuras históricas, entre las cuales destacan la Alcaldía, la Catedral, el Teatro de Santa Ana, el Centro de Artes de Occidente y el Casino Santaneco.

Otra plaza de la ciudad, ubicada en el Centro Histórico, es el Parque Menéndez, el cual está rodeado por edificaciones históricas tales como la Iglesia El Calvario, la ex Unidad de Salud: Casa del Niño, y el edificio del Centro de Gobierno, entre otros.

Entre otras estructuras relevantes en el Centro Histórico se encuentran<sup>1</sup>:

- La Iglesia de Santa Lucía
- El Hospital Nacional San Juan de Dios
- Las casas donde vivieron los ex presidentes Pedro José Escalón y Tomás Regalado
- La Iglesia El Carmen
- La Escuela de Artes y Oficios nombrada en honor a José Mariano Méndez
- La Iglesia de San Lorenzo
- El Mercado Central
- La Iglesia de Santa Bárbara

---

<sup>1</sup> Edificios clasificados con nivel de protección “A”, según PLAMADUR

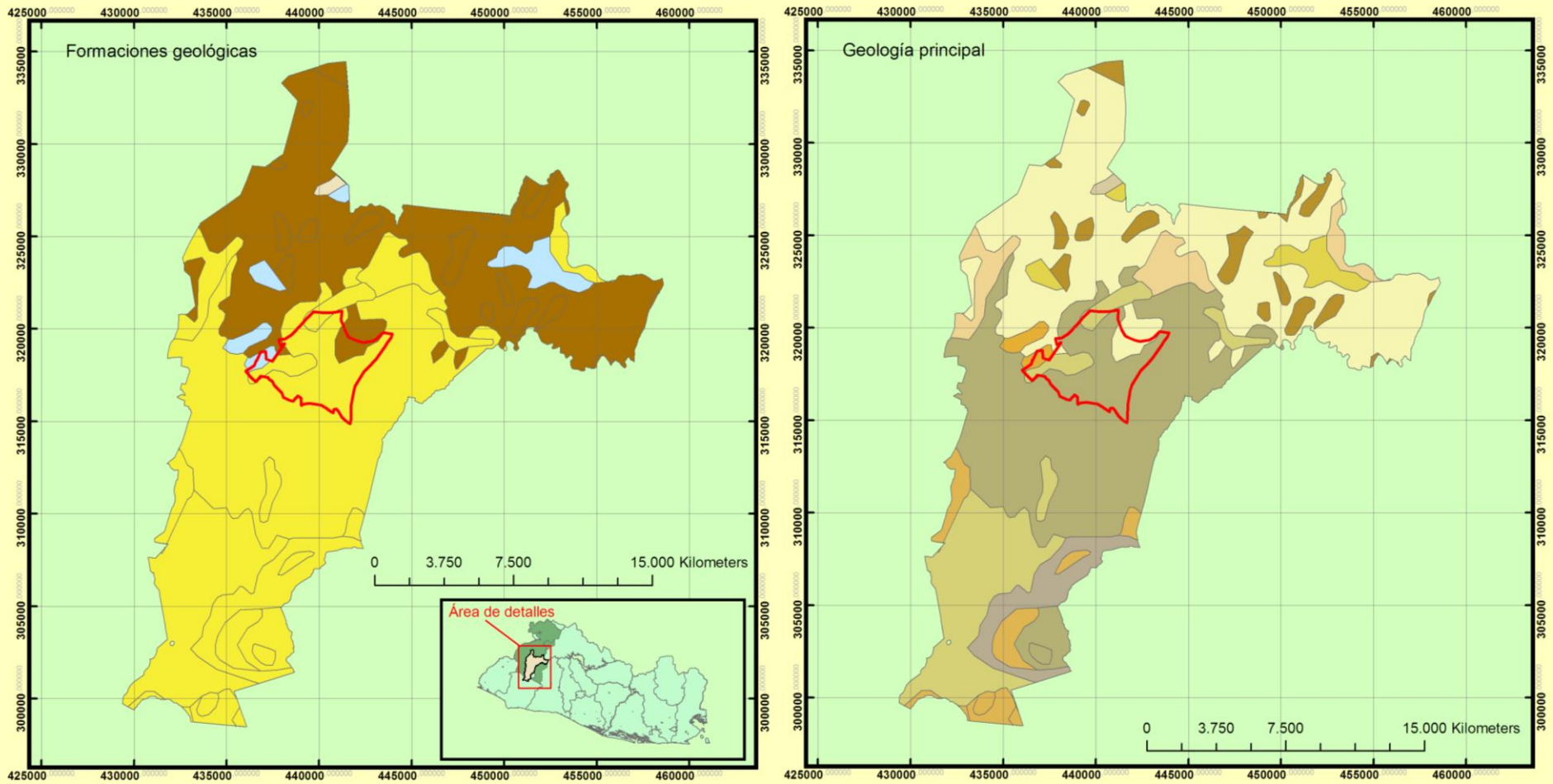
### **2.4.3. Geología y Geomorfología del Municipio de Santa Ana**

#### Geología General del Área de Estudio

Las formaciones geológicas que se encuentran en el municipio de Santa Ana son desde la más reciente: San Salvador, Cuscatlán y Bálsamo; todas ellas datadas para la era Cenozoica. Encontrándose predominantemente las formaciones de San Salvador y Bálsamo; y en menor medida la formación Cuscatlán.

En la Formación San Salvador, abarca las edades geológicas Ionense y Tarantiense del Pleistoceno y la época geológicas del Holoceno reciente del período Cuaternario. Sobre esta capa se encuentra la ciudad y a su vez se extiende por gran parte del municipio hasta cerca del volcán Ilamatepec y el Lago de Coatepeque. Está conformado por una capa de materiales piroclásticos y tobas poco compactadas que se encuentran encima de corrientes de lava en forma de andesitas y basaltos muy fracturados teniendo intercalaciones de lapilli y escorias.

## Mapa 2.4: Formaciones geológicas y Geología principal del Municipio de Santa Ana.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADO:  
 Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del  
 Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruiz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez

### FORMACIONES

- B&lsamo
- Cuscatl&sn
- San\_Salvador
- agua

### GEOLOGÍA PRINCIPAL

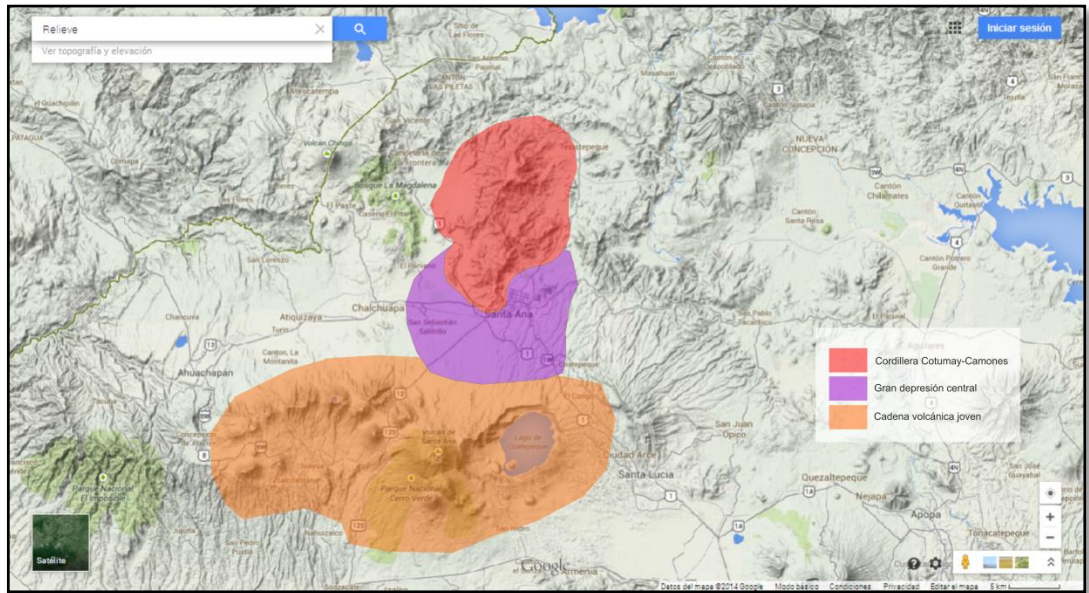
- Ciudad de Santa Ana
- Q
- agua
- b1
- b2
- b3
- c1
- c3
- m2
- s1
- s2
- s3
- s5

### Regiones y Unidades Geomorfológicas del Municipio de Santa Ana

El territorio santaneco se divide en las siguientes regiones geomorfológicas: La «Meseta Central» o «Gran depresión central», a esta región pertenece gran parte del municipio y que a su vez cruza todo el país de oeste a este abarcando aproximadamente el 20% del territorio. Surgió a finales de la época Mioceno del período Neógeno debido a un fallamiento regional en Centro América que tuvo una dirección de este a oeste.

En esta región se encuentran las siguientes unidades o accidentes geográficos: La Cordillera Mita-Comecayo, localizada al norte de la planicie antedicha y donde se elevan pequeñas configuraciones orográficas. Al norte de la ciudad se encuentran 23 cerros y 12 lomas de los cuales se pueden nombrar: los cerros Dormidos, San Juan, El Pinar, El Pinalón, El Pinalito, El Níspero, entre otros; las lomas: del Follaje, de Arequiapa, Monte Hondo, El Mirador o de Santa Lucía, Cueva de León, etc. Mientras que al este de la ciudad se ubican 33 cerros, entre ellos están: Tecana, La Esperanza, Peña Blanca, de Camones, El Barranco, San Luis, entre otros.

La Planicie o llanura central, que se extiende desde la cordillera Apaneca hasta el centro del municipio y en ella se encuentra la ciudad ubicada sobre una meseta baja muy diseccionada que está situada en un valle relativamente plano con pendientes menores al 10%.



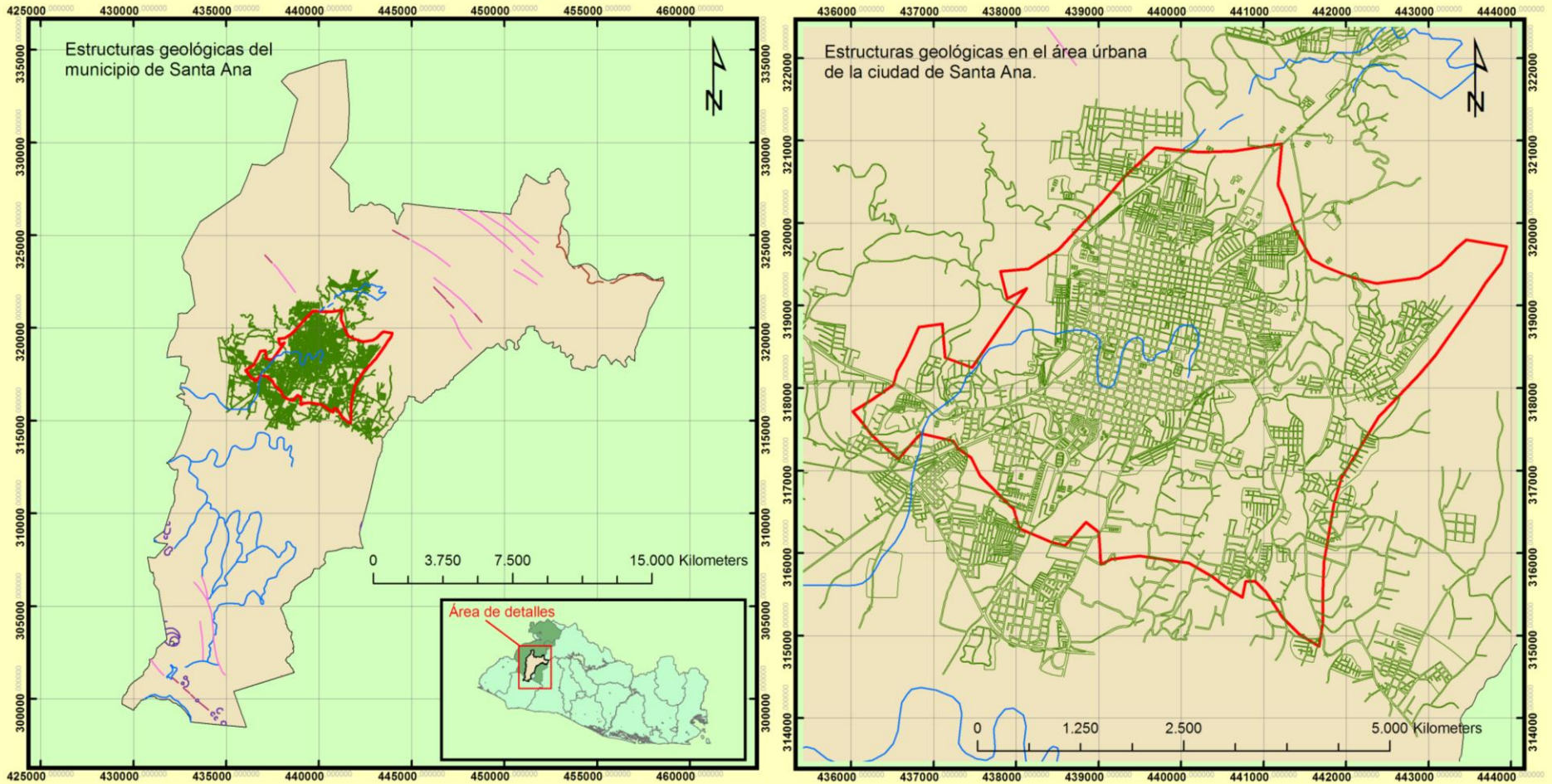
Mapa 2.15: Unidades geomorfológicas del municipio de Santa Ana, Línea roja: Cordillera Mita-Comecayo; Línea violeta: Gran depresión central; Línea anaranjada: Cadena Volcánica Joven. Mapa base tomado de Google Maps.

#### **2.4.4. Geología Estructural y Principales Estructuras Geológicas del Área de Estudio.**

En el área de estudios se puede observar por medio de la figura 2.23 en lo que respecta a la geología estructural que no existen fallas cercanas al centro histórico de Santa Ana, solamente se encuentran ya alejadas en las zonas norte y noreste del municipio, ambas tienen una dirección que va NO-SE; además hay presencia de escarpes de colada desde la parte central del municipio hacia la zona sur del mismo. En lo que respecta al Centro Histórico de la ciudad de Santa Ana se encuentra en la zona sureste escarpes de colada en cinco cuerdas, entre la 7ª y 9ª Calle Poniente y la 5ª y 7ª Avenida Sur.



## MAPA 2.6 Estructuras geológicas del Municipio de Santa Ana y casco urbano de la ciudad.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADO:  
 Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del  
 Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruiz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez

### ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS DEL MUNICIPIO

- Cráter, caldera
- Escarpe de colada
- Escarpe de terraza
- Falla supuesta
- Falla visible

### ESTRUCTURAS CERCANAS AL ÁREA ÚRBANA

- Escarpe de colada
- Falla visible
- Mancha Urbana
- Ciudad de Santa Ana

## 2.5 MARCO LEGAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES SISMORESITENTES EN EL SALVADOR

El Salvador posee una serie de reglamentos y normativas que regulan el diseño y la construcción de las edificaciones para resistir terremotos. A raíz del terremoto del 10 de octubre de 1986, se emitió el Reglamento de Emergencia de Diseño Sísmico de la Republica de El Salvador, en septiembre de 1989. Ese reglamento dio pauta a la creación del Reglamento para la seguridad estructural de las construcciones, el cual fue creado por la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA) y el Ministerio de Obras Publicas (MOP), en 1997, con el fin de proporcionar un sistema estructural capaz de proporcionar una estabilidad lateral y una resistencia adecuada a las acciones sísmicas. A continuación se presenta el organigrama del Reglamento:

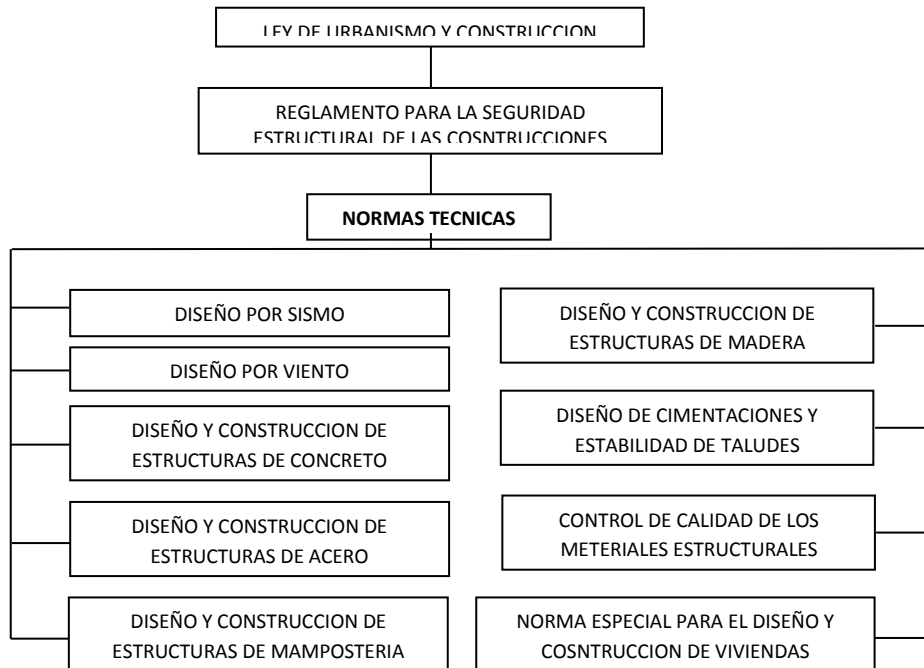


Figura 2.10 Organigrama del Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones en El Salvador.

CAPÍTULO 3:  
METODOLOGÍAS Y  
ASPECTOS PARA  
EVALUAR LA  
VULNERABILIDAD  
SÍSMICA EN  
EDIFICACIONES.

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Si la vulnerabilidad sísmica de una edificación, grupo de edificios o de una región urbana completa, es la disposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un sismo, y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño, entonces, como se dijo en el capítulo anterior, evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica de una estructura permitirá reducir y mitigar el riesgo sísmico.

Entre las causas por las que se puede tener vulnerabilidad sísmica se encuentran: deficiencias constructivas, descuidos en el diseño estructural y arquitectónico, reglamentos de diseño sísmico desfasados, baja calidad de los materiales empleados en la construcción, personal no capacitado para la ejecución de la obra, etc. Es por ello, que al controlar estos fenómenos se puede disminuir la vulnerabilidad sísmica.

Por lo general inmediatamente después de un sismo se realizan las labores de evaluación de daños en las edificaciones, con el propósito de garantizar la seguridad de la población, producto de las deficiencias mencionadas en el párrafo anterior. La evaluación de daños indica si puede o no ser habitada una edificación, es por esta razón que las edificaciones deben ser evaluadas periódicamente para garantizar la seguridad ocupacional de los habitantes.

### **3.2 EVALUACIÓN DE DAÑOS POR SISMO EN EDIFICACIONES**

Al tener presente el riesgo asociado a los sismos es necesario que las entidades encargadas de la protección de la población puedan reducir, mitigar y/o minimizar la vulnerabilidad sísmica. Las leyes, reglamentos, normas y otros instrumentos técnicos-jurídicos solamente son útiles si existe un árbitro que vigile constantemente que se cumplan, pero como ya se mencionó anteriormente en la rama de la construcción de edificaciones (en diversas magnitudes, desde casas y urbanizaciones hasta grandes edificios) existen muchos vicios ocultos en los procesos constructivos, por lo que se debe hacer énfasis en la evaluación de las edificaciones construidas y la calidad que presentan en la actualidad más si ya han sido afectadas por algún sismo.

Mejor aún si se pudiese evaluar la vulnerabilidad sísmica en determinada ciudad o área de esta, para conocer la probabilidad de pérdidas socio-económicas en un escenario que ya haya pasado, ósea, si se repitiese un sismo de determinada magnitud y ubicación que afecte a dicha ciudad.

Existen varios tipos de evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones que presentan, a su vez, diversas metodologías para estimar los posibles daños en una edificación o zona, en su mayoría estas evaluaciones son post sismo, sin embargo la tecnología ha proporcionado herramientas para predecir daños en las regiones y en las

edificaciones de estudio, esto con el objeto de calcular el riesgo sísmico, prevenir y mitigar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras en grandes áreas.

Los resultados pueden presentarse para el uso en políticas municipales en lo referente a Ordenamiento Territorial, logística en planes de emergencia, reestructuración de planes y normas vigentes de la construcción, entre otros, todo esto para entidades municipales y gubernamentales; para la empresa privada o propietarios de viviendas su uso interesaría para conocer el nivel de riesgo de su(s) bien(es) inmueble(s); en los siguientes ítems se describirán rápidamente estos tipos y las metodologías para la evaluación de daños en las edificaciones.

### **3.2.1. Tipos de Evaluación**

Entre los tipos de evaluación que se realizan en una edificación están:

#### **Evaluación Cualitativa y Cuantitativa:**

Para la evaluación de daños por sismos se utilizan métodos cualitativos y cuantitativos. El primero se utiliza muy a menudo para grupos de estructuras que concentran diversas tipologías estructurales, por lo que será el que se utiliza en este estudio. Además en estos tipos de evaluación cualitativos juega un papel importante la experiencia y/o capacitación que el(los) evaluador(es) tenga(n) para determinar el grado de amenaza que las estructuras o zonas estudiadas tengan, basándose en lo observado en campo mediante un manual o guía técnica al que se apegara en la evaluación de cada edificación.

En los métodos que utilicen el tipo cuantitativo en su evaluación se debe contar con instrumentación (martillo suizo, escáner para elementos estructurales, etc.), datos de los elementos estructurales de la edificación (planos estructurales), estudios especializados (geotécnicos, acelerográficos, entre otros) y análisis matemáticos estructurales. De esto se puede observar que es aplicable en una sola edificación o un grupo muy pequeño de estructuras por la cantidad de información requerida, por la minimización de las diversas tipologías constructivas existentes a requerirse (o posiblemente solo se pueda con una sola tipología) y el nivel de detalle en la evaluación que se requiera de la(s) edificación(es).

Dicho lo anterior, se puede presentar un escenario para que diversas técnicas sean aplicables, y su elección dependerá de la necesidad, recursos económicos, recursos humanos y de instrumentos, entre otros; por ejemplo, si ocurriese una catástrofe por un sismo y se precisa conocer la magnitud del daño o un análisis de lo ocurrido, podría optarse por utilizar métodos del tipo cualitativos por su rapidez y generalización en un área específica, dado que se utilizan para evaluaciones preliminares y/o de emergencia post sismo o para áreas relativamente grandes; pero si se necesita un análisis más fino o detallado se deberán emplear los métodos cuantitativos a estructuras específicas, por lo que esta evaluación se utiliza para obtener un análisis definitivo de una edificación.

#### Periodos en que se Realiza una Evaluación.

Existe la posibilidad de realizar un estudio sobre evaluación de edificaciones antes y después (post) de un sismo, como también un estudio especializado por su valor cultural.

### *Evaluación general de edificaciones antes de un sismo*

Consiste en una revisión detallada visual de toda la estructura para la identificación de daños. El objetivo general es dictaminar las condiciones actuales de la edificación, verificando si las estructuras están dañadas por el deterioro de los materiales, por la inclemencia del clima o por terremotos ocurridos con anterioridad, por lo que brinden las condiciones de seguridad habitacional necesarias para ser ocupadas, caso contrario se debe aplicar un mantenimiento preventivo o correctivo de las estructuras para prevenir o mitigar un mayor riesgo sísmico.

### *Evaluación en el periodo de emergencia*

Esta evaluación se realiza inmediatamente después de un sismo, y define la habitabilidad de los edificios. Los criterios utilizados en esta evaluación son netamente ingenieriles debido a que se toman en cuenta los daños observados a simple vista. Se cuantifica la magnitud de los daños y se le asigna un grado de vulnerabilidad a la estructura en estudio.

### *Evaluación detallada post sismo*

Esta evaluación es más exhaustiva, en la cual se aplica métodos de recolección de información de la estructura tanto de forma destructiva y no destructiva, a fin de dar un diagnóstico definitivo de cómo se encuentra la estructura. También es donde se establece las posibles reparaciones en la edificación, mediante la restauración y el refuerzo de los elementos estructurales y/o la inclusión de nuevos elementos, igualmente se define si la



edificación es habitable o no, o en el peor de los casos, si la mejor alternativa es la demolición del edificio debido a la alta vulnerabilidad que presenta.

### **3.2.2. Metodologías de Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica.**

Cada una de los tipos de evaluaciones descritas anteriormente presentan una serie de metodologías; a continuación se presentan un resumen de ellas en la Tabla 3.1 Además de las categorizaciones descritas en el apartado anterior (sección 3.2.1), existen muchos autores que han clasificado las metodologías de evaluación con criterios que van desde una tipología constructiva que se modela en software y modelos matemáticos propios del comportamiento del material, códigos sísmicos, datos estadísticos y probabilísticos, índices de daños, entre otros. Para resumir las metodologías se presenta la tabla 3.1 en la que se desglosan sistemáticamente los métodos o técnicas empleadas.

**TABLA 3.1. Tabla resumen de clasificación de metodologías de evaluación**

CLASIFICACIÓN DE METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES			
REFERENCIA/ NOMBRE	TIPO DE METODO O TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	DESGLOCE/ SUBMETODOLOGÍA
<b>-Corsanero y Petrini (1990)</b>	-Técnicas directas	Estas técnicas predicen en un solo paso, el daño causado por un sismo en una estructura.	-Tipológicos -Mecánicos
	-Técnicas Indirectas	Determinan un índice de vulnerabilidad como primer paso, para luego relacionar el daño con la intensidad sísmica, mediante estudios pos-terremotos y estudios estadísticos.	-Métodos analíticos basados en modelos simples -Métodos de análisis detallados
	-Técnicas Convencionales	Son esencialmente heurísticas y aplicables exclusivamente a estudios de vulnerabilidad a gran escala. Se utilizan para comparar las diferentes construcciones de una misma tipología en una determinada zona.	
	-Técnicas Híbridas	Estas técnicas combinan características de las anteriores de acuerdo al problema que se esté resolviendo.	
<b>-Dolce (1994)</b>	-Métodos Estadísticos	La evaluación de la distribución del daño se obtiene de la observación y cuantificación estadística de los daños ocasionados por sismos pasados.	
	-Métodos Mecánicos (o analíticos)	Estos métodos sólo se utilizan para estructuras que puedan ser representadas por modelos mecánicos, su comportamiento frente a un sismo. Como puede ser la deriva máxima entre piso, la ductilidad, o un índice de daño.	
	-Métodos basados en Juicios de Expertos	Se evalúan cualitativa y cuantitativamente los factores que gobiernan la respuesta sísmica de las edificaciones.	
<b>-Kappos (Dolce, 1994)</b>	-Métodos Empíricos	Están basados en la experiencia sobre el comportamiento de tipos de edificaciones durante sismos y la caracterización de deficiencias sísmicas potenciales. Se usan cuando se dispone de limitada información, cuando se admite un resultado menos ambicioso y/o para evaluaciones preliminares.	-Métodos de categorización (o caracterización) -Métodos de inspección y puntaje
	-Métodos Analíticos (o teóricos)	Constituyen un enfoque muy completo, exigente y costoso. Generalmente son bastante laboriosos y dependen en cierta medida del grado de sofisticación de la evaluación, de la calidad de la información y de la representatividad de los modelos empleados.	
	-Métodos Experimentales	Recurre a ensayos dinámicos "in situ" para determinar las propiedades de las estructuras y/o sus componentes tales como interacción suelo-estructura, la incidencia de los elementos no estructurales, etc.	
<b>-Comisión de Seguridad Sísmica de California, CSSC (1999)</b>	-Experiencia obtenida en sismos pasados	Basada en el hecho de que ciertas clases de construcciones tienden a compartir características comunes y a experimentar tipos similares de daños debido a un terremoto. (4)	
	-Experiencia obtenida en los desarrollos de ingeniería	Los cálculos estructurales se utilizan para cuantificar la cantidad de fuerza y deformación inducida en la construcción por el movimiento del terremoto, y compararla con la capacidad de la estructura. (4)	
	-Combinación de ambos	Se utilizan tanto los cálculos estructurales como la experiencia de los datos para estimar la vulnerabilidad, obteniendo menos incertidumbres y permitiendo la calibración de los cálculos estructurales con el comportamiento observado de los edificios. (4)	
<b>-Clasificación general</b>	-Métodos Cuantitativos	Establecen las probabilidades de daño o relaciones determinísticas equivalentes en términos numéricos, se basan principalmente en dos aspectos: métodos de análisis dinámico, tales como la carga lateral equivalente y el análisis modal, y normas especiales propuestos por códigos o institutos dedicados al diseño estructural.	
	-Métodos Cualitativos	Recurren a descripciones cualitativas a través de términos como vulnerabilidad baja, media, alta o similar.	

### **3.3 INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA EVALUACION**

Cada metodología que se pueda emplear en la evaluación de una edificación necesita información relevante para su análisis que va desde la propia estructura estudiada, pasando por los códigos o normas de diseño sísmico aplicables y hasta elementos del entorno de la edificación, con el fin de respaldar y garantizar resultados fiables en base a planos, datos, documentos, entre muchos otros, que complementen el estudio de vulnerabilidad. Esta información viene de diversas fuentes a examinar por lo que reunirla es de vital importancia tanto como la propia evaluación, por lo que se detallarán los más sobresalientes. A pesar de esto se tiene que en muchos de ellos existe dificultad en la obtención por la pérdida de dichos documentos por su antigüedad o por construirse sin ningún análisis de diseño.

Además es imprescindible el contacto que se logre con los dueños de la(s) edificación(es) (o en su defecto con las personas que la habiten) para conocer no por documentos, sino, por testimonio de ellos, información como el diseño original, su proceso constructivo, el uso para el que fue diseñado y adaptaciones que se le hayan realizado durante su vida útil, etc.

La información para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones se puede dividir en dos tipos: documentada y de campo a continuación se describen cada una de ellas.

### **3.3.1. Información Documentada**

#### Información General

Esta información se puede encontrar en documentos científico-históricos del área de estudio, tales documentos pueden ser:

- Mapas geológicos.
- Mapas de ubicación de fallas geológicas.
- Mapas de amenaza sísmica.
- Mapas de Microzonificación sísmica.
- Historia sísmica de la zona.
- planos de diseño arquitectónico y planos de diseño estructural
- Códigos y normas de diseño, etc.

En su mayoría son proporcionados por instituciones de gobierno e instituciones nacionales e internacionales dedicadas a un ramo de las ciencias, por ejemplo los códigos y normas de diseño han sido elaborados por el Ministerio de Obras Públicas, universidades y la Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos (ASIA). Además desde la creación del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en 1998 se ha recopilado información geográfica en la ahora llamada Dirección General del Observatorio Ambiental que puede ser consultada en online o en la biblioteca de dicha institución, por ejemplo el Mapa de Riesgos, Historia Sísmica de El Salvador, entre otros en su base de datos por lo que se debe establecer aquellos que sean de importancia en el área de estudios o influyan en esta.

### Información Especializada

Esta información corresponde estudios de suelo, estudios hidrogeológicos, estudios geofísicos, estudios de vulnerabilidad de edificaciones previos al estudio a realizarse o cercanos al lugar de evaluación, etc.

#### **3.3.2. Información de Campo**

La información recopilada *in situ* sirve para la actualización de documentos que tienen años de no ser revisados, para ser confrontados con la realidad, o información singular de dicha área necesaria para evaluar. En el caso de una sola edificación es la revisión del estudio estructural con las dimensiones de los elementos estructurales, delimitación de área, revisión visual de suelo, revisión de modificaciones en planta y en altura de la edificación; en el caso de varias edificaciones se debe censar (si es posible) por medio de una ficha preliminar de la descripción general de las estructuras, detallando entre otras características la ubicación, tipología constructiva, uso actual, niveles de construcción, etc.

### **3.4 METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL ESTUDIO DE VULNERABILIDAD**

Se emplea una metodología cualitativa visual con base a daños comunes generados en elementos estructurales (vigas, columnas, entresijos, muros, entre otros) ante un sismo en este estudio, se elige este tipo debido a la extensión de la zona evaluada y la variedad de tipologías constructivas; por lo tanto se emplea una metodología de inspección que valoriza

o de un puntaje a elementos de la edificación que se observe su deficiencia o incidencia en el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico.

Por otra parte, debido a que en el área de estudio no hay trabajos similares de evaluación, se descartan metodologías analíticas porque las edificaciones carecen de planos estructurales y arquitectónicas que sirvan de insumos en este tipo de análisis especializado; tampoco se tiene información de datos estadísticos de daños de sismos pasados que se utilizan en una base de datos para el uso de métodos estadísticos; en tanto que las metodologías mecánicas o experimentales utilizan funciones y matrices de vulnerabilidad que se elaboran con cálculos estructurales y software especializado.

### **3.5 ASPECTOS A EVALUAR PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD SISMICA DE UNA EDIFICACIÓN.**

Este apartado describe aquellos elementos fundamentales que se deben observar en las edificaciones para su evaluación, se describen los cinco aspectos a evaluar en este estudio: Estructural, Geotécnico, Constructivo, Geométrico y de Entorno.

Cada uno aporta un porcentaje a la estimación del grado de vulnerabilidad en que se encuentra la edificación: bajo, medio o alto. Cabe recalcar que algunos elementos son más

accesibles a analizar que otros, esto debido a la información recolectada con anticipación como al permiso o accesibilidad a una zona particular de la edificación.

### **3.5.1. Aspecto Estructural**

Este aspecto es uno de los más importantes en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio, ya que los elementos estructurales<sup>2</sup> (columnas, vigas, muros portantes y entrepisos), son aquellos que están diseñados para transmitir cargas hacia el suelo. La falla de uno de estos elementos puede generar serios problemas a la edificación, incluso su colapso total. Antes de avanzar con este tema, se aclara que la parte de fundaciones o cimentación, se describe en el Aspecto Geotécnico, juntamente con el suelo de fundación.

El comportamiento de las edificaciones ante diferentes amenazas naturales varía dependiendo de su diseño estructural así como de las características y resistencia de los materiales empleados para su construcción. En la actualidad la mayoría de las edificaciones son de concreto armado, acero y de mampostería, sin embargo aún existen edificaciones de madera, mixtos, lámina, adobe y bajareque, aunque la mayoría por su antigüedad son patrimonio cultural o bien se encuentran en zonas marginales donde los materiales de construcción comunes son estos.

Una de las limitantes en la evaluación de este aspecto es la del personal requerido, dado que un perito estructurista (que sería el profesional idóneo) es muy escaso y sus honorarios

---

<sup>2</sup> Organización Panamericana de la Salud, Guía para la evaluación de establecimientos de salud de mediana y baja complejidad.

altos, no obstante, la evaluación se debe presentar en un formato de manera sencilla, a fin de que personas que no cuenten con un perfil técnico puedan ser capacitados y puedan identificar señales de alerta que requieran un estudio más detallado de la estructura.

Antes de evaluar los elementos estructurales se debe realizar un recopilación de antecedentes de la edificación, como planos constructivos (entre ellos planos estructurales), si fuere posible obtener el diseño estructural de la construcción, conocer si mantiene completamente su diseño original o, en dado caso conocer si ha sido demolida, reconstruida, reparada o adaptada, afectando el comportamiento estructural; saber de antemano si la edificación no ha sido afectada por un evento sísmico, inundaciones, huracanes, deslizamientos, entre otros, que hayan podido debilitar los elementos estructurales provocando hundimientos, agrietamiento de muros portantes, separación de elementos estructurales, fisuras en columnas, vigas y entresijos, etc., que no sean perceptibles a la vista por trabajos de restauración superficial que se hayan realizado.

Por lo general este tipo de restauración se realiza mediante un repechado o pintado del área afectada, o sea, superficialmente y no de forma en que se restaure íntegramente el elemento estructural, ya que la reconstrucción se hace sin tomar en cuenta que pueden generar sobrecargas o reducción en la capacidad portante de la estructura; esto se debe a la falta de asesoría técnica, la denominada autoconstrucción (que es la construcción con conocimientos empíricos), o como una opción la de minimizar costos con materiales y procedimientos deficientes, dejando vulnerable al edificio a posibles amenazas sísmicas.



Unos ejemplos de esta situación se dan en los siguientes numerales:

- a) Cuando se elimina un muro o pared que trabaja como muro de carga o portante, para ampliar un espacio o colocar una puerta o ventana, hoy en día son comunes los vitrales con áreas mayores a  $4\text{m}^2$ , pero la sustitución puede comprometer la estabilidad estructural de la edificación.
  
- b) Cuando se construye un nuevo edificio junto a uno existente sin respetar distancias prudenciales, en un sismo se pueden producir una zona de choque entre edificios, aumentando los esfuerzos laterales de los elementos estructurales.
  
- c) Cuando se hace un confinamiento de columnas, colocando paredes en los extremos libres, provocando un efecto de columna corta.
  
- d) Perforación de elementos estructurales, como vigas para colocación de elementos no estructurales (anclaje de sistema de ventilación, cisternas, etc.) y colocación de elementos externos, como antenas, cisternas, etc.

A continuación se describen los aspectos que influyen la vulnerabilidad de una edificación en los elementos estructurales:

## Fallas en Elementos Estructurales de Concreto Armado

A continuación se citan y explican los tipos de fallas que se registran en los elementos estructurales de concreto reforzados<sup>3</sup>, siendo en general los efectos causados por las cargas axiales, momentos flectores y de torsión.

### *Vigas de Concreto Armado*

Las vigas de concreto armado están diseñadas para resistir cargas flexionantes, de torsión y cortantes, es por ello, que una viga falla al sobrepasar la solitud de las cargas para las que fue diseñada.

#### a) Falla por Flexión en Vigas de Concreto Armado

Las vigas están diseñadas para soportar cargas flexionantes, pero cuando estas cargas de diseño son sobrepasadas pueden ocurrir fallas por tensión y compresión. Las fallas por tensión ocurren cuando el acero longitudinal del elemento estructural fluye antes de que ocurra el aplastamiento del concreto en la zona de compresión, presentando por lo tanto flexibilidad que deforma al elemento antes del colapso total como se muestra en la figura 3.1. Las fallas a compresión suelen suceder en elementos rígidos (vigas sobre-reforzadas), ya que el acero de refuerzo no fluye antes de que se produzca el aplastamiento del concreto produciendo una falla frágil. En caso que ambas fallas ocurriesen en el mismo elemento, la combinación de estas se convertiría en una falla balanceada. Se debe recordar que este tipo de fallas se debe al diseño del acero de refuerzo longitudinal del elemento.

---

<sup>3</sup> Requisitos para Concreto Estructural (ACI 318S-05)

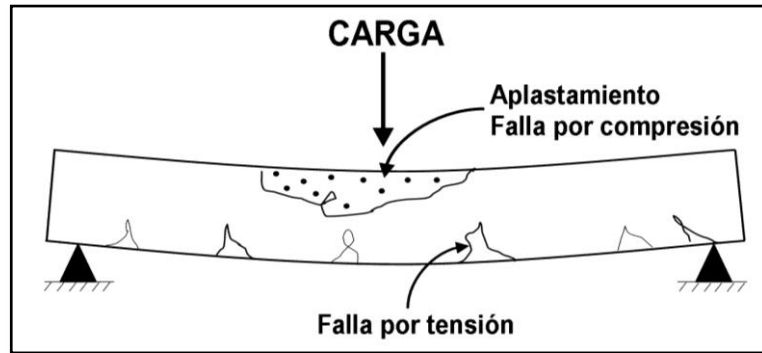


Figura 3.1 Fallas por Flexión en Vigas de Concreto Armado.

b) Falla por Cortante en Vigas de Concreto Armado

La mayoría de vigas están sometidas a diferentes tipos de cargas, por lo que, están diseñadas para resistir fuerzas cortantes por medio del diseño y colocación de estribos.

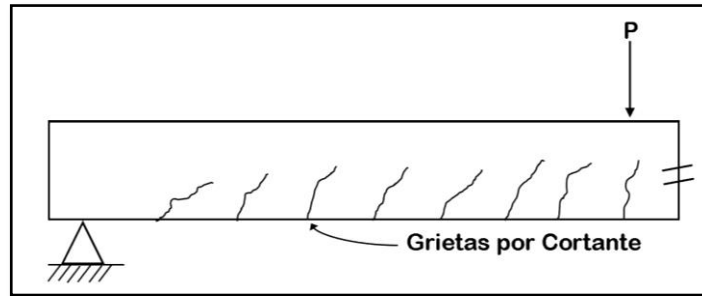


Figura 3.2 Fallas por Cortante en Vigas de Concreto Armado.

En la figura 3.2 y 3.3 se muestra como por la colocación de elementos extra sobre la viga, que no están contemplados en el diseño, pueden generar que aparezcan cargas puntuales de gran magnitud sobre un espacio del elemento estructural (carga P), generando el efecto de cortante y provocando grietas perpendiculares a las trayectorias de los esfuerzos a tensión, aproximadamente a  $45^\circ$  de la horizontal cerca del eje neutro.

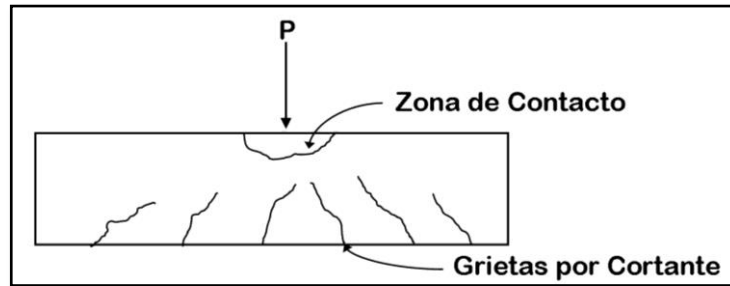


Figura 3.3 Fallas por Cortante en Vigas de Concreto Armado por colocación de elementos no contemplados en el diseño estructural.

### c) Falla por Torsión en Vigas de Concreto Armado

Este tipo de falla no es muy común, ocurre solo en casos especiales donde se genera una torsión en la viga (ver figura 3.4), ocasionada por la colocación de elementos no estructurales, por la de un elemento estructural adicional de gran peso o por condiciones del diseño que generen torsión. Un ejemplo común es que puede ocurrir torsión en vigas curvas.

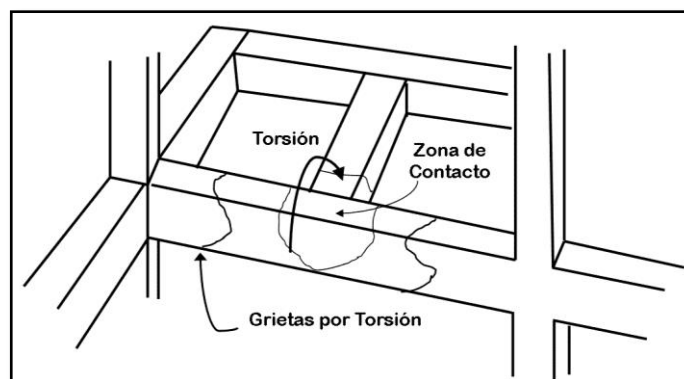


Figura 3.4 Fallas por Torsión en Vigas de Concreto Armado.

### *Columnas de Concreto Armado*

Al igual que las vigas las columnas están diseñadas para resistir cargas flexionantes, de torsión y cortantes, son las que poseen la mayor responsabilidad del comportamiento estructural, ya que en el diseño debe soportar las cargas del edificio y transmitir las a las cimentaciones sin fallar, sin embargo se ha observado que las columnas son las primeras en fallar cuando ocurre un sismo.

#### a) Falla por Cortante en Columnas de Concreto Armado

Las fallas por cortante en columnas, se debe a que las fuerzas cortantes que actúan sobre el elemento, producen tensión diagonal, por lo general a  $45^\circ$  y mostrada en la figura 3.5, ocasionando agrietamiento en el concreto, fallamiento del refuerzo transversal (estribos) y pandeo del refuerzo longitudinal.

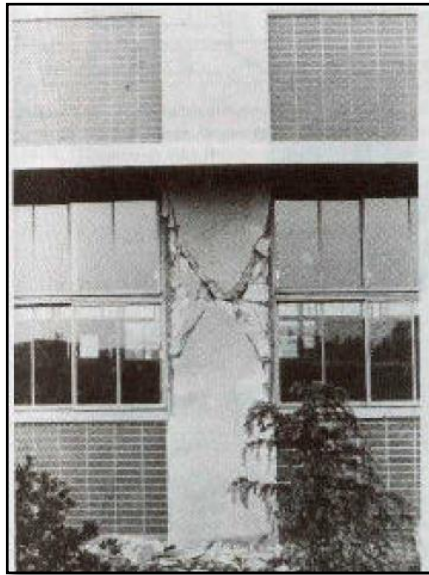


Figura 3.5 Fallas por Cortante en Columnas de Concreto Armado.

La figura 3.6 muestra la interacción entre elementos no estructurales como lo es el muro divisorio de mampostería y genera en las columnas concentraciones de fuerza cortante en los extremos libres de las columnas, mismas que tienden a fallas frágilmente por cortante. Ante la insuficiente ductilidad de la columna acortada, la falla se genera por tensión diagonal producida por elevados esfuerzos cortantes y es más frágil respecto a la de las columnas no restringidas parcialmente debido a que su longitud deformable es mucho menor, a este fenómeno se le llama “Columna Corta”.

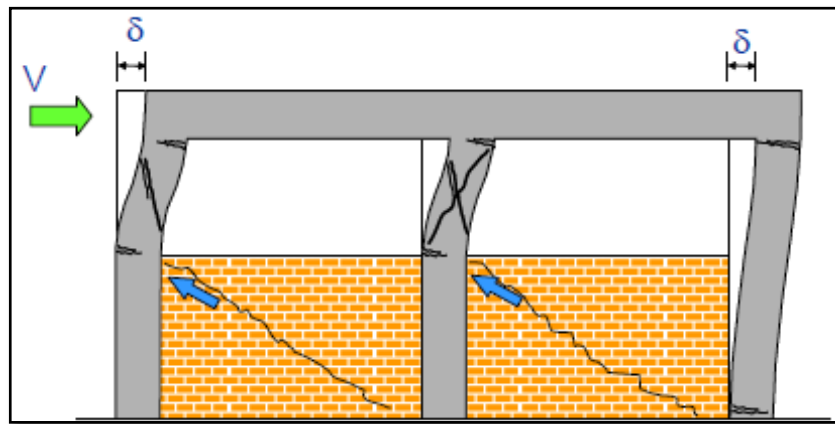


Figura 3.6 Esquema de Fallas por el Efecto de Columna Corta.

#### b) Falla por Flexo-compresión en Columnas de Concreto Armado

Se da cuando las fuerzas axiales de compresión y los momentos flexionantes se combinan, generando fallas en compresión, las cuales se producen por el aplastamiento del concreto, el acero que se encuentra a compresión fluye, en tanto que el del lado a tensión no. De igual forma se pueden generar fallas a tensión, las cuales se producen cuando el acero de un lado fluye antes que se produzca aplastamiento del concreto en el lado opuesto (Figura 3.7 para ambos casos). Puede ocurrir que ambas fallas se den al mismo tiempo generando una falla

balanceada. En conclusión se puede decir que el tipo de falla por flexo-compresión depende esencialmente de la relación entre momento y carga axial (Carga P y Momento M).

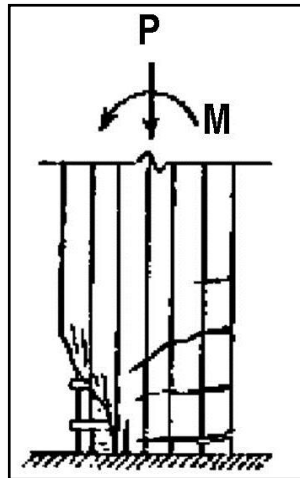


Figura 3.7 Fallas por Flexo-compresión en Columnas.

Un fenómeno que suele suceder en flexo-compresión es una generada por la deficiencia de confinamiento, se hace presente cuando las columnas no alcanzan a desarrollar el comportamiento dúctil exigido ante una determinada carga a compresión. En algunos casos esta falla se da por una falla de adherencia, consecuencia de una deficiencia en el esfuerzo transversal ya sea estribos o espiral. El refuerzo longitudinal tiende a pandearse y el concreto se fractura por aplastamiento como se muestra en las siguientes figuras.

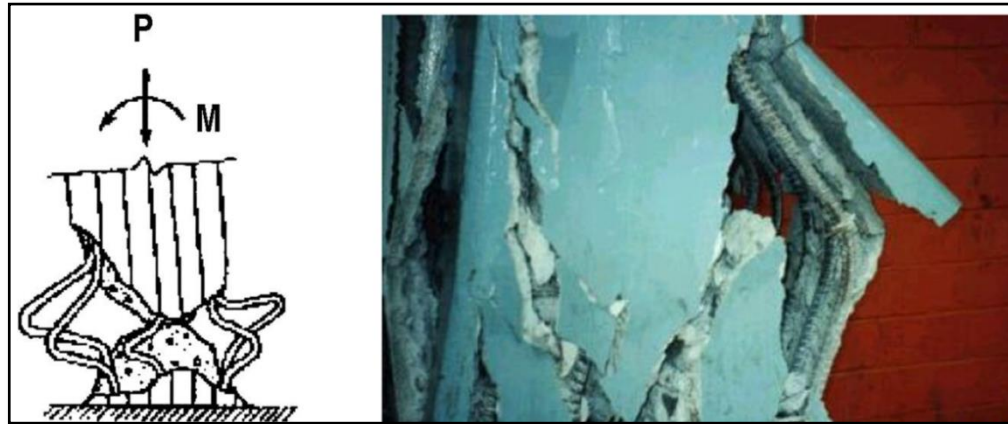


Figura 3.8 Fallas por Falta de Confinamiento en Columnas. En ambas imágenes se muestra la deformación del acero de refuerzo.

Otro fenómeno de falla que se puede generar por flexo-compresión es por la adherencia; por lo general, la mayoría de los componentes estructurales poseen un recubrimiento de concreto pequeño, entre 5cm a 7cm, por lo que la falla se da cuando el recubrimiento empieza a agrietarse porque el concreto del recubrimiento no puede soportar los esfuerzos de tensión perimetral (Figura 3.9).

A mayor recubrimiento, aumenta la resistencia al agrietamiento, sin embargo, el rendimiento de adherencia no es proporcional al espesor del recubrimiento, por otro lado los estribos estrechamente espaciados disminuyen la abertura de grietas que se forman a lo largo de varillas ahogadas, permitiendo así una mayor transmisión de fuerzas de adherencia.



Este tipo de falla no es muy grave, aunque puede significar que el elemento estructural posee colmenas en el concreto, y por ende bajar la resistencia del elemento, además si el acero de refuerzo expuesto puede corroerse por la exposición a agentes climáticos.

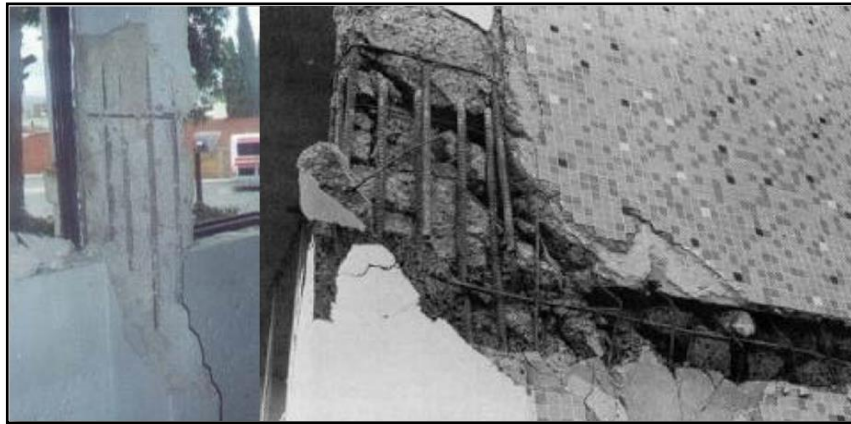


Figura 3.9 Fallas por Adherencia en el Concreto, en ambas imágenes se muestra que el refuerzo no tiene deformaciones.

### c) Falla por Torsión en Columnas de Concreto Armado

La asimetría en la distribución en planta de los elementos estructurales de un edificio causa una vibración torsional ante la acción sísmica y genera fuerzas elevadas en elementos de la periferia del edificio.

La vibración torsional ocurre cuando el centro de masa de un edificio no coincide con su centro de rigidez. Ante esta acción, el edificio tiende a girar respecto a su centro de rigidez, lo que causa grandes incrementos en las fuerzas laterales que actúan sobre los elementos perimetrales de soporte de manera proporcional a sus distancias al centro de rotación, en la figura 3.10 se muestra una columna con esta falla.



Figura 3.10 Fallas por Torsión en Columnas.

### *Losas de Concreto Armado*

En concreto se tienen dos clases de losas, las densas (concreto reforzado) y losas aligeradas (elementos prefabricados como las bovedillas y viguetas) y nuevos sistemas como acero, madera o mixtos. Cualquier sistema constructivo puede ser bueno, pero dependerá de su diseño y ejecución para lograr las diversas exigencias. El diseño que respete las normas técnicas, adecuado mantenimiento y uso para el cual fue planteado, hacen que el entrepiso pueda responder ante un evento sísmico de manera óptima a su diseño, sin embargo, un aumento de carga o modificación en el entrepiso puede generar el colapso de este al ocurrir un terremoto.

a) Falla por Flexión en Losas de Concreto Armado

Este tipo de falla se da cuando la losa excede su capacidad de carga flexionante, es decir, que las cargas sobre ella son mayores a las que su resistencia fue diseñada, el agrietamiento se da debido al diseño y distribución de carga, por lo general en losas densas el agrietamiento se da en la zona de mayor tensión, ósea en el centro de la losa. En el caso de la figura 3.11 es una losa aligerada y el agrietamiento suele aparecer en las juntas de viguetas y bovedillas.



Figura. 3.11 Fallas por Flexión en Losa Aligerada, se puede observar grietas a lo largo de las viguetas.

b) Falla por Punzonamiento en Losas de Concreto Armado

Este tipo de falla suele suceder cuando se coloca la losa apoyándose solamente en las columnas produciéndose elevados esfuerzos cortantes en los apoyos, ocasionando el punzonamiento, dejando sin apoyo la losa dando lugar a un colapso total de esta, manteniéndose de pie solo las columnas. Como se observa en la figura 3.12, solamente ha

quedado la losa en las cercanías de la columna y no se visualiza vigas perimetrales en la estructura.



Figura 3.12 Fallas por Punzonamiento en Losas.

### Muros de Mampostería y Muros de Carga o Portantes

En la actualidad se pueden observar distintos tipos de muros, por ejemplo, los muros de concreto armado, de ladrillo de barro, de adobe, de mampostería de piedra, de madera, de madera y lamina, etc., de manera que su comportamiento ante un sismo varía dependiendo del material, sin embargo los muros o paredes de carga fallan por fuerzas cortantes y por fallas del sistema de distribución de los muros, este punto se tocara mas a profundidad en el aspecto geométrico de las edificaciones, ya que la distribución de los muros se debe a la geometría que posee el edificio.

Es por eso que es importante estudiar las paredes de cargas y las paredes simples, ya que la distribución de éstas puede afectar o mejorar el comportamiento estructural del edificio ante un efecto sísmico.

a) Falla por Corte en Muros

Las paredes y muros pueden fallar por corte cuando la fuerza sísmica actúa en la dirección transversal al muro o pared, generando agrietamiento diagonalmente o en dirección de las sisas, en la siguiente figura se ejemplifica este tipo de daño.



Figura 3.13 Fallas por Corte en muros

b) Falla por Volteo en Muros

Si un muro se encuentra aislado y el movimiento del terreno actúa en dirección transversal al mismo, la fuerza producida por este movimiento tiende a voltear el muro, el esquema de

la Figura 3.14 detalla este efecto en los muros. La resistencia del muro está dada por su peso y por la resistencia a tensión del mortero que es muy pequeña, por lo tanto el muro fallara.

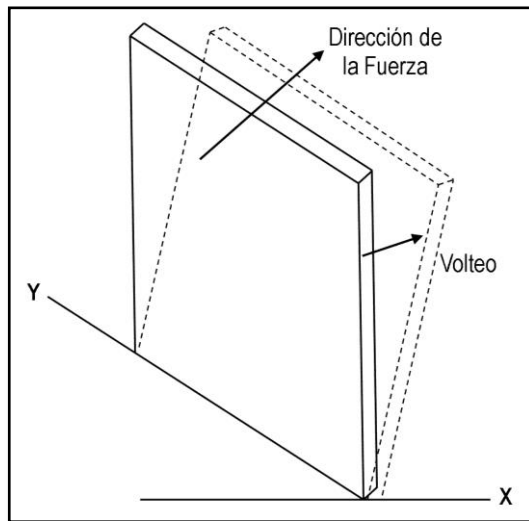


Figura 3.14 Fallas por Volteo

### Edificaciones de madera

En El Salvador la madera es muy poco utilizada en el sector de la construcción, en la mayoría de los casos se recurre a este material para realizar el encofrado de los elementos estructurales y para detalles arquitectónicos; desde el punto de vista ingenieril, la madera presenta problemas más complejos y variados que otros materiales para uso estructural, esto debido a que a diferencia del acero y el concreto no se puede generalizar esfuerzos de trabajo, densidades, contenido de humedad, entre otras características, con un alto grado de precisión por los defectos y variaciones inherentes de la madera<sup>4</sup>. No obstante, en países como Canadá y Estados Unidos, en Norteamérica, y los de la subregión andina, en

---

<sup>4</sup> Diseño Simplificado de Estructuras de Madera, H. Parker, Editorial LIMUSA.

Suramérica, se tiene normas como la ASTM D-143 y las normas COPANT respectivamente, en un esfuerzo por conocer por medio de ensayos en diversos arboles maderables utilizados en la construcción sus propiedades para fines ingenieriles.

Así como la mayoría de materiales para uso estructural, la madera se utiliza para estructura de cubiertas de techos, vigas, columnas, entresijos y hasta como pilotes. Esto indica que los esfuerzos de compresión, tensión y flexión también aparecen en la madera al cargarse, por lo tanto, en este estudio se presentan los problemas que afectan las propiedades mecánicas de la madera.

*Maderas utilizadas en la construcción en El Salvador, sus usos y propiedades*<sup>5</sup>

Entre las maderas más utilizadas en la industria de la construcción se encuentran: cedro, caoba, ciprés, pino, roble, entre otros. En la tabla 3.2 se encuentra un listado con los tipos de madera junto con las propiedades de fatiga máxima a flexión, módulo de elasticidad y su peso específico, respectivamente.

---

<sup>5</sup> Alfaro - Polanco – Torres, Estudio Técnico Para la Rehabilitación Estructural Del Edificio de la Antigua Escuela de Artes Y Oficios José Mariano Méndez de la Ciudad de Santa Ana; Tesis Universidad de El Salvador, FMOcc. 2001.

Tabla 3.2. Maderas utilizadas en la construcción y sus propiedades principales de uso ingenieril.

CARACTERISTICAS DE LAS MADERAS DE EL SALVADOR			
NOMBRE	FATIGA MAXIMA EN FLEXION (KG/CM2)	MODULO DE ELASTICIDAD (KG/CM2)	PESO ESPECIFICO (KG/CM2)
Almendro Macho	540	50500	0.7206
Bálsamo	1243	176700	1.0332
Barillo	529	63410	0.6944
Caoba	690	95920	0.6665
Cedro	568	36400	0.7395
Ciprés	514	34040	0.496
Conacaste	228	12020	0.3576
Copinol	1251	182600	0.9812
Cortez Blanco	428	34060	0.5166
Chichipate	795	139700	1.0729
Guachipilin	914	90680	0.8623
Guilishuiste	1275	166900	1.03362
Laurel Blanco	685	81500	0.7464
Laurel Prieto	803	86540	0.9013
Madrecacao	970	109000	0.93322
Maquilishuat	437	49850	0.7056
Nispero	999	104400	1.1368
Nogal	442	51550	0.6048
Pino	630	68320	0.7174
Roble	1030	195200	1.0348
Ronron	892	86200	1.0963
Tempisque	1083	125900	0.9506
Ujushte	679	122000	0.8651
Volador	520	67750	0.6215

Los usos dependen en su mayoría de las dimensiones de la madera como producto terminado, esto es, las medidas nominales y reales de la madera, en la Tabla 3.3 se muestran las más comunes en el país:



**Tabla 3.3. Medidas de maderas usadas en El Salvador.**

MEDIDAS DE MADERAS USADAS EN EL SALVADOR		
NOMBRE	MEDIDAS NOMINALES	MEDIDAS REALES
Regla Pacha	1" x 4"	1" x 3"
Costanera	2 1/2" x 3"	2" x 2"
	3" x 3"	
Cuartón	3" x 6"	2" x 4"
	3" x 7"	
Tabloncillo	1 1/2" x 12"	
	2" x 12"	1/2" x 10"
	2 1/2" x 12"	2" x 10"
	3" x 12"	
Tabla	1" x 12"	1" x 10"
	1" x 18"	1" x 12"
Tabla 1/2 grueso	1/2" x 12"	1/2" x 10"

En el caso de vigas y columnas se emplean desde troncos de más de 8" (ocho pulgadas) o un conjunto de costaneras o cuarterones que desempeñen la misma función; en todos los casos la madera se trata contra insectos y humedecimiento.

#### *Defectos de la Madera*

Es primordial que en la evaluación de la calidad de la madera se tomen en cuenta los defectos que reducen la resistencia, su apariencia y la durabilidad de este material, como también los ataques de agentes biológicos y los causados por su procesamiento. La finalidad de evaluar los defectos es para limitar la presencia, tipo, tamaño y ubicación de los mismos con la finalidad de obtener piezas de madera con características mínimas garantizadas.

Como primer defecto se tiene la *Reventadura entre anillos* que es la separación a lo largo del hilo principalmente entre anillos anuales, en la figura 3.15 (a) se ejemplifica este fenómeno. La *Rajadura a través de los anillos* es una hendidura o separación longitudinal de la madera que atraviesa los anillos anuales; generalmente proviene del proceso de curado. Véase figura 3.15 (b y c).

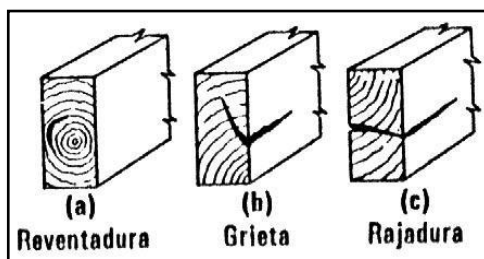


Figura 3.15: Defectos de la madera

Estos dos tipos de defectos reducen la resistencia al esfuerzo cortante; por tanto, los miembros sujetos a flexión resultan afectados directamente por su presencia. La resistencia de los miembros a la compresión longitudinal no resulta afectada grandemente por las reventaduras entre anillos. Estas reventaduras debilitan la unión entre anillos anuales.

La pudrición es la desintegración de la sustancia linosa debida al efecto destructor de los hongos. La pudrición se reconoce con facilidad, porque la madera se hace blanda, esponjosa y se desmorona, además si el aire, la humedad y una temperatura favorable pueden propiciar el crecimiento de los hongos. Si se elimina el aire, como, por ejemplo, cuando la madera está constantemente sumergida, los hongos no pueden existir. Entre los tipos de pudrición se tiene:

- Pudrición avanzada.- Es la etapa de descomposición en que la madera presenta cambios evidentes en su apariencia, peso específico, composición, dureza y o tras características mecánicas.
- Pudrición castaña.- Es aquella que se caracteriza por una coloración castaña de la madera como consecuencia de la descomposición de la celulosa.
- Pudrición clara.- Es aquella que se caracteriza por la coloración clara de la madera como consecuencia de la descomposición preponderante de la lignina además de las holocelulosas.
- Pudrición incipiente.- Es la etapa inicial de la descomposición en la cual la madera pierde parte de sus propiedades mecánicas y puede sufrir cambios de color debido al ataque de hongos.

Muchas maderas se impregnan con preservativos como la brea de carbón de piedra y la creosota para impedir el desarrollo de los hongos. También se impide el desarrollo de los hongos aplicando pintura a la madera cuando está seca, generalmente es difícil determinar el alcance de la pudrición: por tanto, *en las maderas de los grados estructurales, no se tolera ninguna forma de pudrición* (figura 3.16, maderas no aptas para utilizarse como material de construcción)



a)

b)

Figura 3.16. a) Tronco con pudrición avanzada; b) tablas de pino manchadas con hongo generador de pudrición

Descantillado es el término que se aplica a la corteza, o ausencia de madera o de corteza, en la arista o esquina de un trozo de madera aserrada. La resistencia de un miembro puede resultar afectada por el descantillado, porque el miembro tiene un área de la sección transversal insuficiente. En las especificaciones, el descantillado puede evitarse con el requisito de que las aristas sean en ángulo recto.

Un nudo es la parte de una rama incorporada en el tallo de un árbol. Hay varios tipos y clasificaciones de nudos, y la resistencia de un miembro resulta afectada por el tamaño y la posición de los nudos que pueda contener. Las reglas para clasificar en grados la madera estructural son específicas respecto al número y el tamaño de los nudos, y se les toma en cuenta, al determinar los esfuerzos de trabajo.

Entre los ataques de origen biológico también se tiene el *acañoneado* que es el orificio aproximadamente cilíndrico en el interior de una troza como consecuencia del atabacado (proceso de pudrición castaña de la madera que es caracteriza, en la etapa avanzada por la desintegración del leño en un polvo de color parduzco); la *mancha* es el cambio de color de la madera producido por hongos que descomponen la estructura leñosa. Internamente también se pueden encontrar agujeros o perforaciones realizados por insectos o larvas perforadas, estos agujeros si son mayores a 3mm se les conoce como *perforaciones grandes*, a los de diámetros iguales o menores a 3 mm producidos por insectos o larvas perforadas se les conocen como *perforaciones pequeñas*.

A continuación se muestran imágenes de ataques de insectos en la madera:



a)



b)

Figura 3.17 a) Viga de techo con ataque de insectos; b) Insecto cerca de orificios de entrada.

### Estructuras de Acero

Los daños que pueden ocurrir en una estructura de perfiles de acero radican en su mayoría en las conexiones y el mantenimiento aplicado a la edificación, además de los esfuerzos de

tensión, compresión y cortante que son propios de determinado elemento estructural (viga, columna, entrepiso, etc. Este sistema estructural es muy eficiente si se controlan estos parámetros, partiendo que tácitamente no debe tener problemas de diseño estructural, porque tiene amplio énfasis en la actualidad las empresas proveedoras, ellas invierten muchos recursos en manuales de diseño, normas y controles de calidad que garanticen que el material sea con los mayores estándares.

Una de las características del acero es que fluye, a veces, antes de llegar a la ruptura, siendo un material que tiene un comportamiento elástico y plástico, además hay otros factores como la temperatura y la oxidación que deben tomarse en cuenta para el buen desempeño de los elementos estructurales en su vida útil. Entre sus propiedades de particular importancia en los usos estructurales, están la alta resistencia, comparada con cualquier otro material disponible, y la ductilidad (ductilidad es la capacidad que tiene el material de deformarse sustancialmente ya sea a tensión o compresión antes de fallar). Otras ventajas importantes en el uso del acero son su amplia disponibilidad y durabilidad, particularmente con una modesta cantidad de protección contra el intemperismo.<sup>6</sup>

En la revisión de los conectores se debe observar si es con soldadura (figura 3.18), pernos o remaches, como también si está anclado a concreto por medio de placas; en el caso de la soldadura conviene revisar en las zonas aledañas, ya que la soldadura en la mayoría de los casos, si está bien elaborada, tiene mayor capacidad que el propio acero. En el caso de

---

<sup>6</sup> Diseño de Acero Estructural, Joseph E. Bowles, Editorial LIMUSA.

pernos y remaches, el área en la que están ubicados no debe presentar corrosión y el grupo de pernos sin dobleces o daños en alguno de sus lados (tuerca o cabeza de perno).



Figura. 3.18. Fractura en el cordón de soldadura

En los casos de corrosión es necesario más su revisión en las secciones compuestas que en los perfiles laminados por tener estos últimos un recubrimiento de protección en la mayoría de los casos. Generalmente un mantenimiento con pintura anticorrosiva aleja el peligro de daño en la superficie del acero, porque si ocurriese un incendio hay altas posibilidades que el acero falle por fluencia por la temperatura, aunque tenga un factor de seguridad en su capacidad de carga. Otro ataque que puede poner en peligro el acero a la corrosión es el contacto del acero con el agua, dado que si esta con concreto pueden surgir fisuras también en los elementos de concreto como el mostrado en la siguiente figura.



Figura 3.19. Ataques de corrosión en acero

### **3.5.2. Aspecto Geotécnico.**

Para describir este aspecto se aclara la división en geotecnia donde contempla los elementos propios de la estructura en primer lugar, como son la cimentación en la edificación. Estos son componentes estructurales tales como lo son las zapatas, soleras de fundación, losas de fundación y pilotes. Como estas se encuentran baja el nivel de terreno se les denomina subestructura (en el caso de la edificación arriba de esta cota se le denomina superestructura).

En segundo lugar se agrega el suelo en el que esta cimentada la estructura, sus estratos y propiedades mecánicas de interés ingenieril, entre estas propiedades destaca la capacidad de carga.

Cabe mencionar que la estructura de fundación es la frontera entre la estructura y el suelo, por lo que es la que inicialmente recibe las cargas de la edificación y las transmite al suelo,



y en viceversa, recibe la fuerza sísmica y la transmite a la estructura que debe soportar sin fallar o en dado caso fallar controladamente.

En todas las cimentaciones no se debe sobrepasar la resistencia del suelo (capacidad de carga) y cuidar los asentamientos provocados por la compactación de los granos de suelo bajo las estructuras de cimentación, por lo tanto el equilibrio debe contemplar todas las cargas internas y externas que no generen asentamientos diferenciales o en dado caso desplazamiento vertical brusco, porque si estos elementos ceden al colapso, toda la estructura de la edificación colapsará. En mucha literatura se le denomina arte a esta rama de la ingeniería y algunos especialistas también lo llaman “el arte oculto” por no ser observable a simple vista.

### Elementos Estructurales de Cimentación

Son aquellos que se construyen de concreto reforzado y tienen contacto directo con el suelo de cimentación, aunque en la actualidad no son muy utilizados también los hay de mampostería que en su mayoría son de piedra, ladrillo calavera y adobe; dependiendo de su profundidad se catalogan como cimentaciones poco profundas (o superficiales) y cimentaciones profundas; las cimentaciones superficiales se refieren a cimentaciones en las que la profundidad de desplante no es mayor que un par de veces el ancho del cimiento, sin embargo es evidente que no existe un límite preciso en la profundidad de desplante que separe a una cimentación poco profunda de una profunda.

### *Cimentaciones Superficiales*

En este tipo tenemos las zapatas en sus diversos tipos, losas de cimentación y las soleras de fundación; en la elección del tipo de cimentación se toman en cuenta los siguientes aspectos<sup>7</sup>:

1. Los relativos a la superestructura, que engloban su función, cargas que transmite al suelo, materiales que la constituyen, etc.
2. Los relativos al suelo, que se refieren a sus propiedades mecánicas, especialmente a su resistencia y compresibilidad, a sus condiciones hidráulicas, etc.
3. Los factores económicos, que deben balancear el costo de la cimentación en comparación de la importancia y aun el costo de la superestructura.

### *Soleras de fundación*

También les llaman cimentación en fajas, cimientos corridos, viga de cimentación y zapatas de muro porque se aplican a sistemas constructivos de muros o paredes (pueden ser o no ser de carga) pues presentan la característica de colocarse sobre el largo de dichos muros y no soportar grandes cargas, en su mayoría son para edificios de no más de tres niveles y uso liviano, en la figura 3.20 se muestra una solera de concreto armado para muro de bloque de concreto.

---

<sup>7</sup> Juárez Badillo, Eulalio; Rico Rodríguez, Alfonso. Mecánica de Suelos Tomo II, pág. 404.

Estos elementos trabajan básicamente en una dirección, presentándose los esfuerzos principales perpendicularmente al muro. En este tipo de cimentación, solo se analiza la flexión en esta dirección, y no se chequea corte por punzonamiento. Cuando el momento de volteo es muy alto (como se describió en *falla por volteo en muros* en la sección anterior), como es el caso de los ocasionados por sismo o para muros excéntricos, la reacción en la base no es suficiente para equilibrar las fuerzas externas, se tiene que tomar en cuenta el empuje pasivo para garantizar el equilibrio.<sup>8</sup>

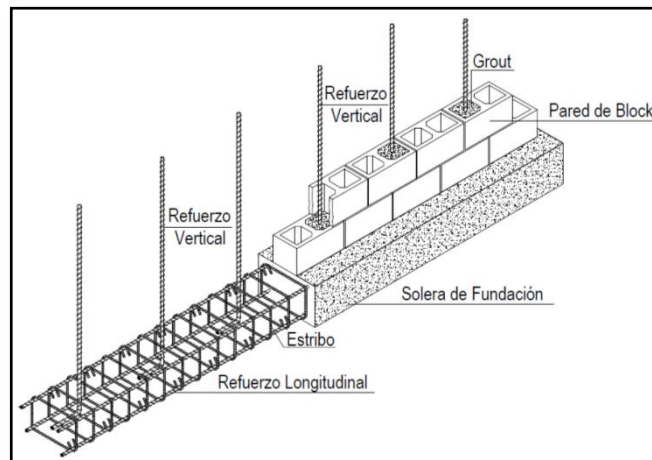


Figura 3.20. Esquema de solera de fundación de concreto reforzado cargado por una pared de bloque de concreto

En el primer caso de la flexión las fisuras son similares a las descritas en las vigas de concreto armado, siendo las fuerzas actuantes la carga lineal que el muro transmite a la solera y la reacción que el terreno ejerce al elemento. En el segundo caso de momentos de volteo es una carga que equivale a un momento torsionante de la pared (no puede darse volteo en la solera, a no ser por suelo no cohesivo o por una gran fuerza que haga girar la

<sup>8</sup> E. Harsem, Teodoro. Diseño de Estructuras de Concreto. Tercera edición, pág. 331.

solera y haga separarse las soleras y las hiladas iniciales del muro) al elemento estructural y sus fisuras son en la longitud de la solera y en los extremos de esta.

### *Zapatas*

Estos elementos estructurales de cimentación hay de diversas configuraciones, entre estas: zapata aislada, zapata combinada, zapata sobre pilotes y zapata continua (losas de fundación). Todas deben ser diseñadas en base al ACI 318 corroborándose su cálculo estructural, en la figura 3.21 se muestran algunos de estos tipos de zapatas.

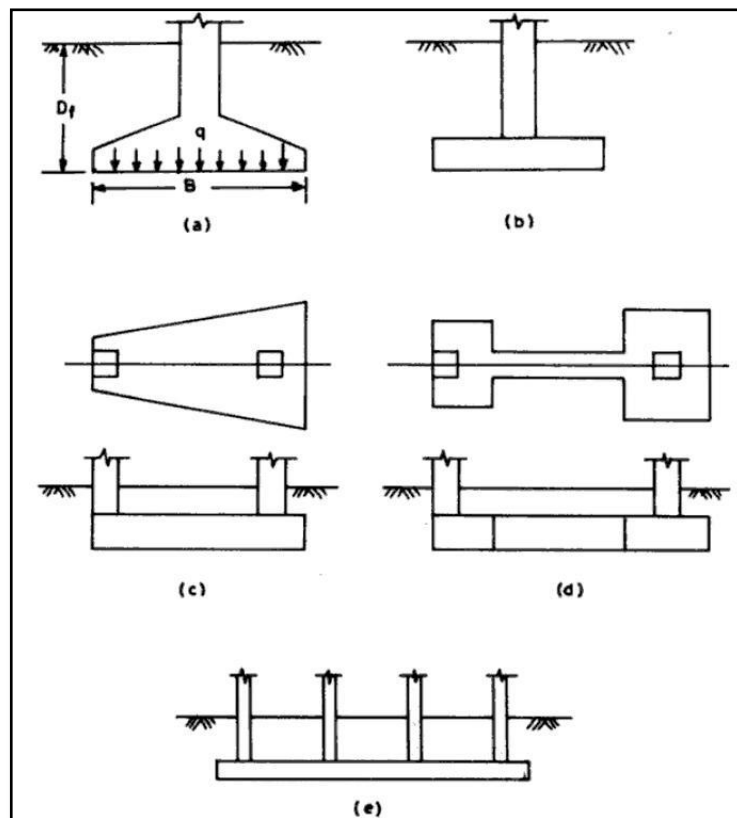


Figura 3.21. a) zapata de peralte variado, b) zapata de peralte uniforme, c) zapata combinada con losa variable, d) zapata conectada por viga de cimentación y e) zapata continua o losa (placa) de cimentación.

Entre los factores que influyen en el diseño de las zapatas se tienen:

- a) La resistencia y compresibilidad de los estratos de suelo.
- b) La magnitud de las cargas de las columnas.
- c) La ubicación de la capa freática y
- d) La profundidad de la cimentación y las cimentaciones vecinas.

Estos elementos se pueden estudiar como vigas chatas (no muy peraltadas) y anchas, o como losas con comportamiento en dos direcciones. El primer caso, se denomina corte por flexión y el segundo, corte por punzonamiento, por lo tanto se describen estos fenómenos a continuación.

*Corte por flexión:* como se compara a las losas de entrepiso de las edificaciones (descrita en la parte de Aspecto Estructural, en la sección de Losas de Concreto), la flexión es un fenómeno en la que el elemento tendería a ser cóncavo debido a las cargas actuantes, por lo que resulta en la sección transversal una parte sometida a compresión y la restante a tracción. Como es un elemento de concreto que trabaja eficazmente a compresión, la tracción se contrarresta con el acero de refuerzo longitudinal. Las fisuras ocasionadas por la falla por este fenómeno son las mismas descritas en la sección de Losas de Concreto (ver figura 3.11).

*Corte por punzonamiento:* La transferencia de toda la carga de la edificación se transmite por la columna hacia la zapata, se puede considerar que recibe la carga a

compresión pura por parte de la columna por lo que la zapata siendo de mayor área reduce el esfuerzo que se transmite al suelo por ser menor que los esfuerzos del concreto. Este cambio de sección produce el efecto de punzonamiento que la columna efectúa en la zapata en las cercanías de la conexión columna-zapata, nuevamente hacemos referencia a la figura 3.12 de la sección *Falla por Punzonamiento en Losas de Concreto* del Aspecto Estructural; la diferencia radica en suponer que la falla lo hace la carga de la columna a la zapata y no las cargas de la losa a sí misma como es el caso de las losas de concreto. Para efectos de contrarrestar el punzonamiento se puede configurar el cambio de sección desde la columna hacia un pedestal y luego a la zapata, aumentando por ende en cada elemento el área de sus secciones, como también puede ser el caso de utilizar zapatas escalonadas o con peralte variable.

Un efecto que no se describe en esta sección es la falla por volteo, que es un caso más ampliado en la siguiente sección de Suelo de Cimentación. En todos los tipos de zapata se hace el mismo análisis de corte por flexión y corte por punzonamiento, con algunas cuestiones muy propias de cada tipo de zapata que deben analizarse detenidamente.

#### *Zapatas Combinadas y Losas de Fundación*

En el caso de que el tipo de suelo en la que se construye una edificación tenga muy baja su capacidad portante se emplea el uso de zapatas combinadas y/o losas de fundación que no son otras cosas que una zapata muy ancha que está muy cercana a otra, o en dado caso, se

traslapen sus áreas. Si el área abarca columnas en un determinado eje, se habla de zapatas combinadas pero si la capacidad portante del suelo es demasiado baja y requiere de un área extensa que abarque todas las columnas se referirá a una losa de cimentación como solución al diseño. Otro caso en la que se utilizan estos tipos de zapata es cuando por los límites de propiedad hacen muy complicado la edificación de zapatas aisladas por lo que se genera excentricidad en la columna y para eliminar esa excentricidad se conecta hacia la adyacente para conseguir que la reacción del suelo sea uniforme. Nuevamente se verifica el corte por flexión y corte por punzonamiento como sus posibles repercusiones como falla.

#### *Cimentaciones profundas.*

Las condiciones de suelo superficial no siempre son apropiadas para permitir el uso de una cimentación poco profunda, del descrito en los párrafos anteriores. En tal caso será preciso buscar terrenos de apoyo a mayores profundidades; a veces éstos no aparecen a niveles alcanzables económicamente y es preciso utilizar como apoyo terrenos blandos y poco resistentes de que se dispone, contando con elementos de cimentación que distribuyan la carga en un espesor grande de suelo. En todos estos casos (y muchos otros) se hace necesario recurrir al uso de cimentaciones profundas.<sup>9</sup>

Los tipos de cimentación profunda pueden ser: pilote, pila y cajón. Los dos primeros son muy similares pero varían por la magnitud de su lado o diámetro, aunque las secciones circulares son las más comunes.

---

<sup>9</sup> Juárez Badillo, Eulalio; Rico Rodríguez, Alfonso. Mecánica de Suelos Tomo II, pág. 459.

Si no excede de 0.60m su diámetro o lado se les denomina pilotes y pueden ser de madera, concreto (colado o no en el sitio, como también con o sin ademado) o acero, los elementos que sobrepasan los 0.60m pero menores a 2m se le considera pilas. Los cajones son elementos de la subestructura usados en sitios húmedos de construcción, como ríos, lagos y muelles; su utilización es para muros de puentes, los muros de muelles y las estructuras de protección de costas, por lo que no se describen en este estudio por no emplearse en edificaciones que no estriban en la utilización de vivienda de personas.

### *Pilotes y Pilas*

A pesar del elevado costo de la construcción con pilotes y pilas, el uso es necesario para garantizar la estabilidad estructural. De acuerdo al mecanismo de transmisión de la carga al suelo, los pilotes se clasifican en:

- a) Resistentes por efecto de punta: Son los pilotes que llegan a apoyarse en estratos resistentes.
- b) Resistentes por efecto lateral o fricción: Son los pilotes que no alcanzan estratos resistentes y flotan en el estrato en el que se encuentran.
- c) Resistentes por efecto lateral y por efecto de punta simultáneamente.

Se sabe actualmente que el comportamiento mecánico de un pilote dista mucho del mostrado en un grupo, por lo que en algunos casos se estima la capacidad de carga del pilote individual por medio de una prueba a escala natural en ese lugar, de preferencia en zonas críticas, no obstante el costo que estriba solamente en la construcción con pilotes es



alto, y añadiéndole el costo de realizar la prueba hace que no se realice en la mayoría de obras de poca magnitud. Una prueba para un grupo de pilotes es escasa en literatura y al mismo tiempo necesita de recursos económicos grandes que solo son posibles con construcciones de gran envergadura por las cargas que requerirían movilizar a la prueba, además de especialistas en el ramo. En la siguiente figura se enlista los tipos más comunes de pilotes y su capacidad de carga.

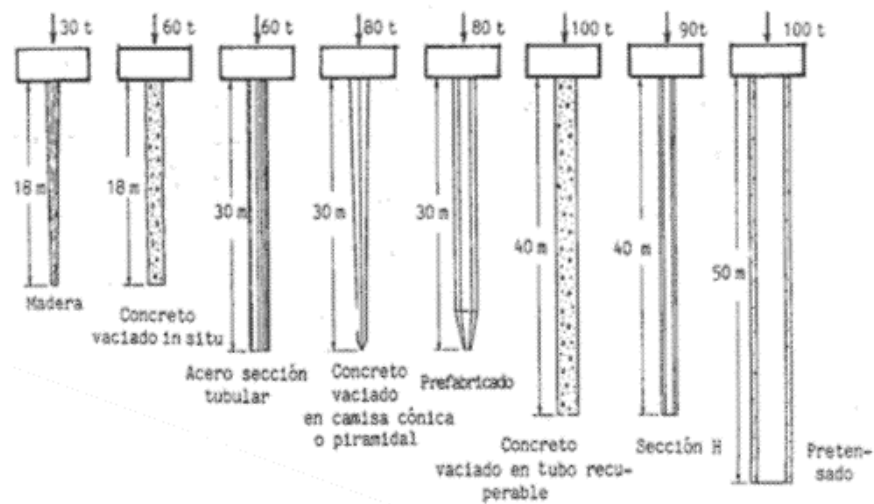


Figura 3.22. Tipos de pilotes más comunes con respectivas profundidades y capacidades de carga.

El comportamiento por la que tendería a fallar un pilote es: por pasar su capacidad portante, asentamiento a lo largo del cuerpo del pilote y en los casos de aquellos de acero susceptibilidad por corrosión y pandeo respecto a la vertical durante el hincado a través de los estratos duros u obstrucciones y, en el caso de los hechos con madera deterioro arriba del nivel freático y daño por un hincado fuerte.

En el caso de las pilas se utilizan en los siguientes casos<sup>10</sup>:

- a) Se usa una pila perforada en vez de un grupo de pilotes.
- b) Es más fácil la construcción en depósitos de arena densa y grava, que hincar pilotes.
- c) Las pilas perforadas tienen alta resistencia a cargas laterales.
- d) No se tiene ruido de martilleo durante la construcción tal como pasa en con el hincado de pilotes.
- e) Cuando los pilotes son hincados a golpe de martillo, la vibración del terreno ocasiona daños a estructuras cercanas, problema que se evita con el uso de pilas perforadas.

Los problemas acaecidos en una pila son: capacidad de carga superada por la carga del edificio y los asentamientos en la base. En la figura 3.23 se muestran los tipos de pila.

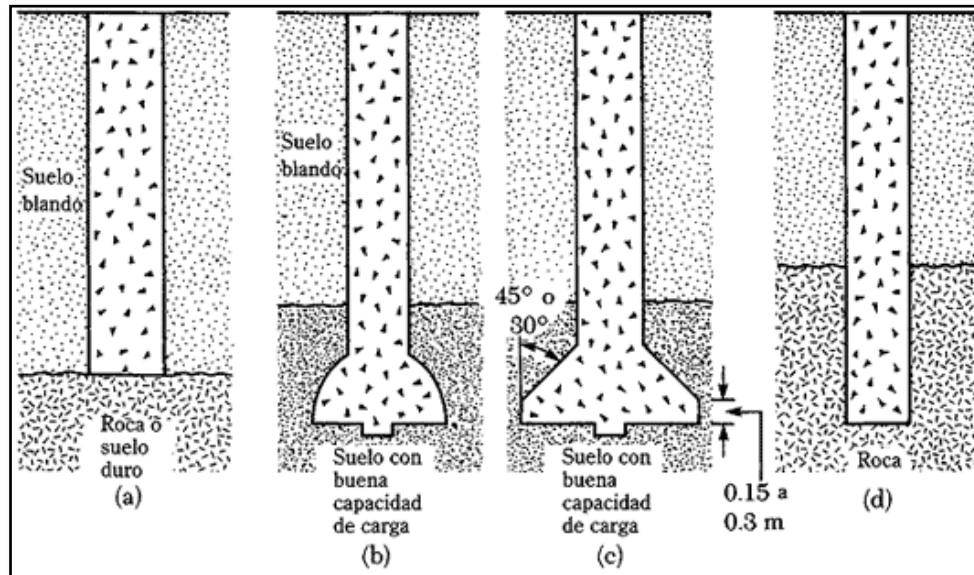


Figura. 3.23. Tipos de pila perforada: a) pila recta; b) y c) pila acampanada; d) pila recta empotrada en roca.

<sup>10</sup> Braja M. Das. Principios de Ingeniería de Cimentaciones, pág.674

Las cimentaciones superficiales y las profundas son muy difíciles en su evaluación de vulnerabilidad a riesgo sísmico, solamente con equipo especializado utilizando métodos geofísico y/o escáner intrusivos en las capas de suelo. Por lo demás se comparan los diseños estructurales, los estudios de suelos y los análisis de personal especializado de peritos evaluadores estructurales en la rama de geotecnia.

### Suelo de Cimentación

Para conocer el tipo de suelo en el que se encuentra (o encontrará) la estructura hay diversos métodos, para comenzar se puede partir del mapa geológico correspondiente al área de estudio en la que se particulariza el tipo de suelo predominante, los elementos estructurales geológicos cercanos (cerros, lagunas, ríos, volcanes, entre otros) junto con la distancia aproximada a la edificación, de preferencia se debería obtener un mapa geotécnico del área de estudio, aunque no todas las entidades gubernamentales y municipales dispongan de recursos para tan importante instrumento. También es significativo reconocer por un mapa las fallas geológicas cercanas y si repercuten directamente en la cimentación, de la misma manera, si hay disponible un estudio de uso de suelo o un estudio de ordenamiento territorial.

Los estudios de suelos son de vital importancia para la construcción íntegra de una edificación, dado que de esa manera se conoce propiedades tales como: granulometría del suelo, límites plásticos, capacidad portante, hidrogeología del suelo, entre muchos otros. Por lo demás, en la mayoría de construcciones no se realizan estos estudios por el valor

económico que tienen (aunque puede que sea reducido si se comparase con un posible daño a la edificación), por el incumplimiento a las normativas de construcción y diseño vigentes y la falta de personal técnico calificado en la obra. En estas obras en las que no se efectúa el respectivo estudio de suelos, se contrasta la información de edificaciones vecinas o por inspección visual del suelo para aplicar las “medidas pertinentes” a la construcción.

En unos párrafos se tratará de resumir información de importancia con esta disciplina de la geotecnia relacionada con las características fundamentales que se requieren en los suelos. Para comenzar se debe saber que para fines ingenieriles en los suelos no se contempla la resistencia a la tracción por tender a valores muy bajos, no aprovechables en la gran mayoría de los casos. Por lo tanto la comparación primordial se realiza entre la resistencia a los esfuerzos cortantes y los esfuerzos requeridos por el sistema de cargas exteriores en los puntos de la masa de suelo estudiadas. Si al efectuar el balance resulta que la resistencia del suelo es en todo punto del medio, superior a los esfuerzos cortantes inducidos, el suelo soportará las cargas impuestas. Caso contrario que resultase que la resistencia del suelo con la de los cortantes inducidos en algún punto es menor, está fallará.

Para simplificar las fallas en el suelo y subsuelo en la que una estructura está fundada se detallarán las más importantes, entre estas: la capacidad portante del mismo, asentamientos del suelo por la reestructuración del material al aplicársele una carga y fenómenos puntuales por las propiedades mecánicas de determinados suelos como la licuación de

suelos, además se describen finalmente los problemas geotécnicos de deslizamientos de ladera, la erosión y socavación de suelos.

### *Capacidad Portante de los Suelos*

Para ejemplificar la capacidad portante (o de carga) en suelos se cita el mostrado por Juárez Badillo en el libro de Mecánica de Suelos<sup>11</sup>, tomo II, retomado de Khristianovich<sup>12</sup>:

Considérese una balanza ordinaria, cuyo desplazamiento está restringido por fricción en las guías de los platillos, tal como se muestra a continuación en la figura 3.24. Si un peso suficientemente pequeño se coloca en un platillo, la balanza permanece en equilibrio, pues la fricción en las guías puede neutralizarlo; en cambio, si el peso colocado es mayor que la capacidad de las guías para desarrollar fricción, se requerirá, para el equilibrio, un peso suplementario en el otro platillo. Una balanza muy ligera, en comparación con los pesos manejados, representará un medio sin peso propio; una balanza relativamente pesada respecto a los pesos de sus platillos representará un medio también pesado.

En el platillo derecho existe  $P$  y se requiere conocer  $Q_l$  que debe colocarse en el platillo izquierdo, para tener la balanza en equilibrio crítico (por muy pequeño que sea). Es evidente que este problema tiene dos soluciones; una corresponde a un  $Q < P$  y la otra, por lo contrario, a un  $Q > P$ , mostrados en a) y b) de la figura 3.24. Considérese ahora el caso de

---

<sup>11</sup> Mecánica de Suelos, capítulo VI, Editorial Limusa, 1986.

<sup>12</sup> Statics of Soil Media, 1960.

una cimentación de ancho  $B$ , está desplantado a una profundidad  $D$ , dentro de un medio continuo mostrado en la figura 3.24.

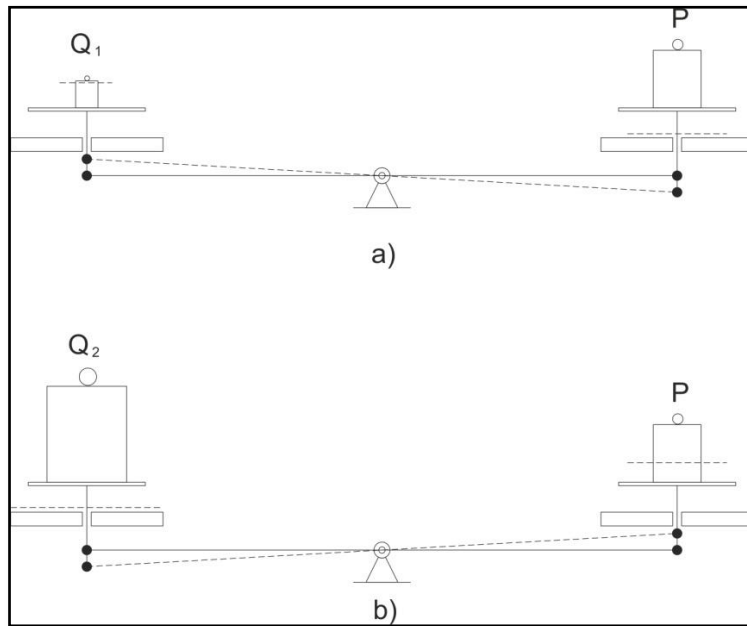


Figura 3.24. Modelo de Khristianovich. a) Peso  $Q_1$  despreciable para el sistema; b) Peso  $Q_2$  mucho mayor en comparación con el peso  $P$

El problema de una cimentación sería encontrar la carga  $q$  máxima, que puede ponerse en el cimiento, sin que se pierda la estabilidad del conjunto. La correspondencia con la balanza puede visualizarse, haciéndose coincidir un platillo con el cimiento, tal como se ve en la figura 3.25. El otro platillo está dentro del terreno natural. Es evidente que la presión  $q$  puede ponerse en el platillo izquierdo es mayor que la carga del otro platillo  $p=\gamma D$ , puesto que la resistencia del suelo, representada en el modelo por la fricción en las guías, está trabajando a favor del  $q$ . Este caso corresponde entonces al de la figura 3.24 a), en que  $Q>P$ .

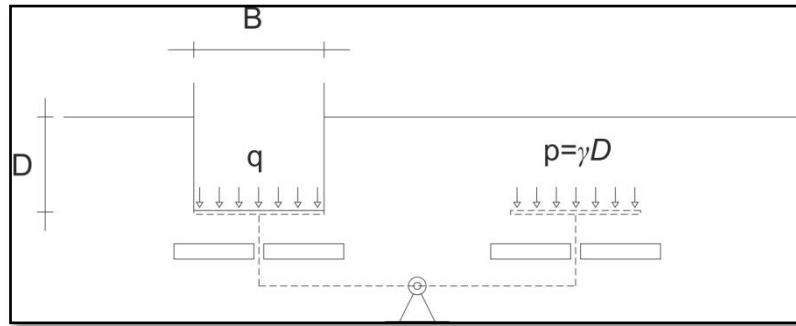


Figura 3.25. Correspondencia de un cimiento con la balanza de Khristianovich.

El caso a) en que  $Q < P$ , corresponde al de una excavación. Ahora  $q$  es nula, pero conforme se profundiza la excavación las cosas suceden como si se bajase el nivel de la balanza de la figura 3.25, con la consecuencia del aumento de la presión  $q$ .

Como conclusión, en la capacidad portante se tiene que en un suelo muy resistente equivale a unas guías con mucha fricción y recíprocamente. Los casos límites estarían representados por una roca sana, en la cual, con referencia al caso de la cimentación,  $q$  podría ser muy grande en comparación de  $p$  y por un líquido, de resistencia nula al esfuerzo cortante, en el que el máximo  $q$  que puede ponerse es igual a  $p$ .

Entre las fallas por la capacidad de carga de suelo están<sup>13</sup>:

1. *Falla general por corte*: es una falla repentina en cierto punto en la que se sobrepasó la capacidad de carga y es observable por extenderse hasta la superficie del terreno.

<sup>13</sup> Braja M. Das. Principios de Ingeniería de Cimentaciones, pág.152

2. *Falla local de corte*: es cuando un incremento de carga sobre la cimentación también acompaña un aumento en el asentamiento. En este caso no se llega al valor de carga última sino existe una carga primera de falla y en menor medida observable en la superficie del terreno.
  
3. *Falla de corte por punzonamiento*: En este caso la zona de falla no se extenderá hasta la superficie y ocurre en suelos bastante sueltos.

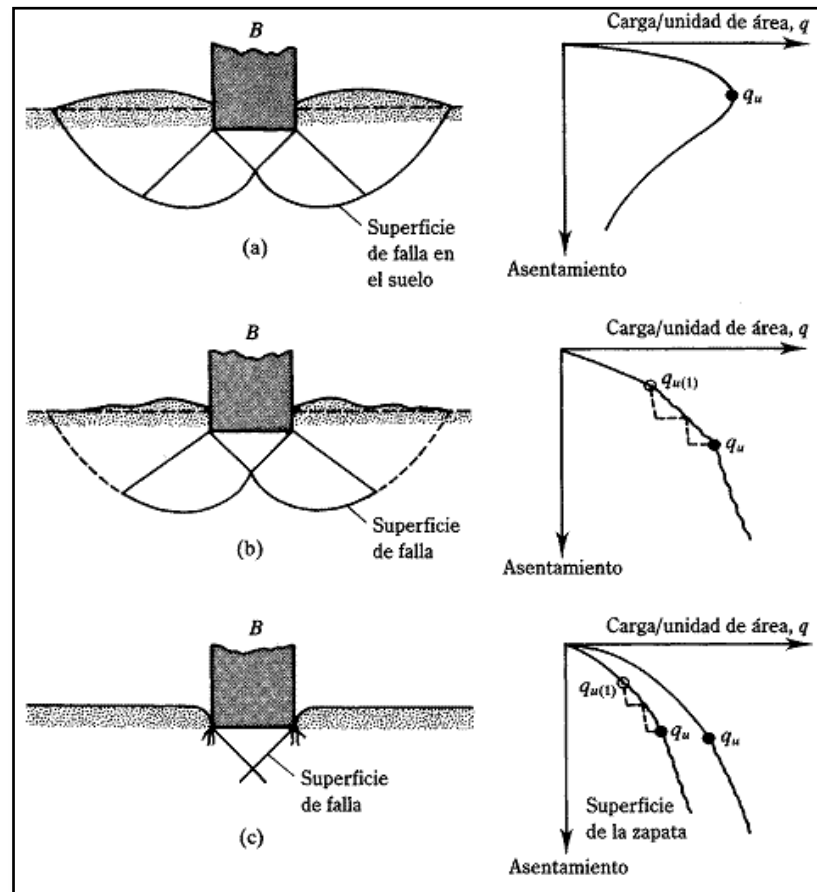


Figura 3.26. Naturaleza de la falla en suelo por capacidad de carga: a) falla general por corte; b) falla local de corte; c) falla de corte por punzonamiento (dibujo de Vesic, 1973)



### *Asentamientos*

Como se dijo al principio de esta sección, se estudian los esfuerzos cortantes en los suelos, generados por los elementos de cimentación de la estructura, el suelo de cimentación se compacta en la mayoría de los casos para obtener una mayor capacidad de carga, de la misma manera se busca que tenga un grado de cohesión que permita mantener propiedades mecánicas óptimas para asegurar estructuralmente la edificación. Además se debe recordar que al aplicársele más cargas al suelo (como es el caso de una construcción de una edificación) se incrementa la presión en diferentes estratos del suelo, esta presión en un tiempo se disipará y los esfuerzos igualmente se transferirá a dichos estratos, a este fenómeno se le conoce como consolidación. Por lo que un asentamiento sucede en la estructura al aplicársele su peso al suelo, y este reducir los espacios vacíos, se compacta y produce que la edificación baje una distancia calculada. Este es un proceso esperado en el suelo al igual que en los materiales, pero nuevamente se vislumbra que dicho asentamiento no tenga repercusiones ni en la estructura ni en el suelo que sustenta la estructura.

### *Asentamiento diferencial*

Como su nombre lo indica, es un asentamiento desigual en el área de estudio, ya sea por no considerar los estratos inmediatamente más profundos de la cimentación (se muestran algunos ejemplos en la figura 3.27) en los cálculos de asentamientos, una compactación no heterogénea en el suelo, fallas en los elementos estructurales de cimentación (zapatas, soleras, etc.), entre otros. Es en dado caso presentada por la inclinación de la edificación y presencia de hundimientos generales en la parte baja de la estructura.

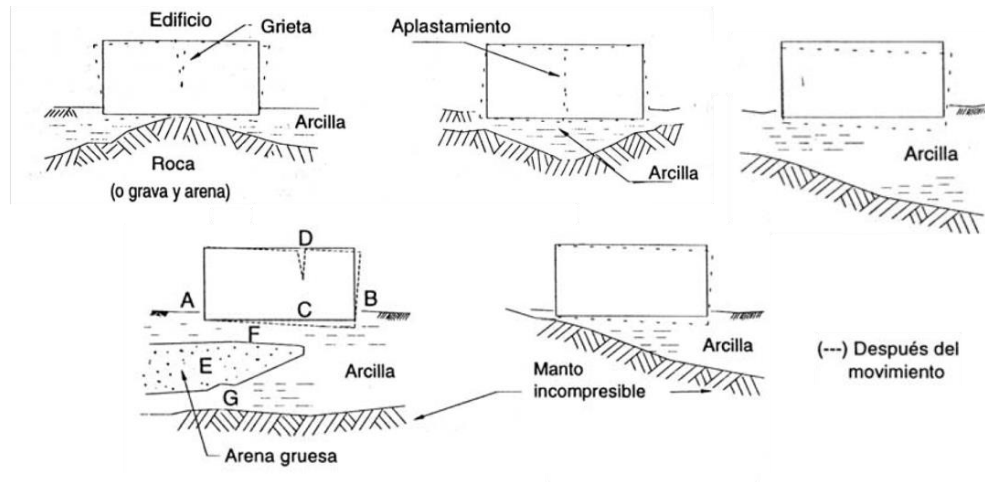


Figura 3.27 Posibles causas de asentamientos en edificaciones.

### *Licuación de suelos*

Se entiende por licuación de un suelo a la pérdida de su resistencia al esfuerzo cortante temporal o definitivo. Los materiales en que ha ocurrido el fenómeno son las arcillas saturadas muy sensibles, las arenas saturadas, sobre todo las de baja compacidad. Los suelos susceptibles de licuarse son aquellos en los que los contactos entre los granos son comparativamente escasos, lo que propicia que se pierdan casi totalmente durante el flujo propiamente dicho. Consecuentemente el fenómeno de la licuación afecta a los suelos sedimentarios naturales o a los depósitos artificiales, que son los que presentan aquel tipo de estructura; en efecto, el tamaño de los granos, su uniformidad y la baja velocidad de sedimentación en aguas tranquilas, son todos factores que se conjugan para formar estructuras muy sueltas.



Figura 3.28 Esquema de una masa de suelo con el fenómeno de licuación.

Las causas que pueden producir el fenómeno de licuación son de dos tipos; hay licuación por incremento de los esfuerzos cortantes que obran en el suelo o por disminución de la resistencia a los mismos y hay licuación producida por una sollicitación brusca sobre el suelo, tal como un sismo, un impacto, etc. El segundo tipo de licuación, cuando ocurre en arenas saturadas suele denominarse licuación espontánea, por la rapidez con que tiene lugar y es el más importante desde el punto de vista ingenieril<sup>14</sup>.

#### *Otros problemas geotécnicos en suelos*

Si una estructura esta cimentada en inmediaciones de un terreno de topografía inclinada tiene el riesgo de deslizamiento de ladera, de manera natural o por la influencia del ser humano (como cortes y terraplenes). Hay datos históricos como el deslizamiento cerca del Lago Riñihueen, Chile, que involucró 30 millones de metros cúbicos y represó la salida del lago. En los dos meses siguientes el lago se elevó 26.5 metros y se represaron 2.5 billones

<sup>14</sup> Mecánica de Suelos, capítulo XI, Editorial Limusa, 1986. Pág. 646

de metros cúbicos, en los que se involucra la inestabilidad de taludes adenaños a una zona urbana. Se debe observar en áreas en las que haya cambios pronunciados de nivel si existen movimientos de masas de tierra que afecten a edificaciones y hacerlo saber a las autoridades competentes. En la siguiente figura se ejemplifica un diagrama de una de las causas de deslizamiento de laderas.

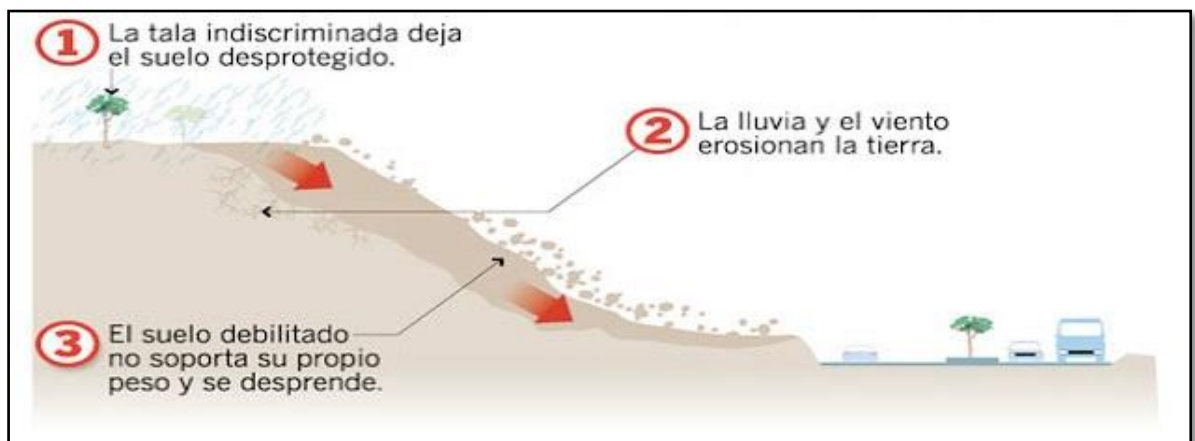


Figura 3.29. Diagrama de causa de deslizamiento de laderas.

La erosión y socavación de suelos son otros fenómenos geotécnicos en los que la naturaleza y el ser humano tienen intervención, por el primer término se entiende al proceso de desgaste de la superficie del suelo por acción de las corrientes superficiales de agua, el viento o la acción de los seres vivos, o en resumen, fricción constante de un cuerpo por otro; la socavación es un caso particular de la erosión que consiste en la excavación causada por el agua, especialmente en los lugares donde la corriente encuentra algún obstáculo, puede deberse al embate de las olas contra un acantilado, a los remolinos del agua, o simplemente al paso de un río, por lo tanto dejan en falso la estructura que antes era estable.

En todos los casos es necesario un reconocimiento exhaustivo del lugar, tomar un registro fotográfico y recabar información histórica del sitio para aplicarla a la evaluación del inmueble en cuestión.



Figura 3.30. A la izquierda: foto de viviendas cercanas a una ladera erosionada; derecha: Edificio de evacuación (círculo rojo) de Minamisanriku (Japón) con accesos socavados.

### **3.5.3. Aspecto Constructivo.**

La evaluación de los sistemas constructivos de las edificaciones es muy importante al momento de determinar qué tan vulnerable es una edificación a soportar un evento sísmico ya que nos brinda la mejor información acerca de cómo dicha estructura se comportara durante un sismo y por consiguiente los posibles daños internos que puedan ocurrir.

El término constructivo hace referencia al tipo o sistema constructivo empleado en la edificación, es decir, el conjunto de elementos y unidades de una edificación que ejecutadas con técnicas adecuadas dan una forma funcional, de sostén, confort y expresión de la edificación misma, no dejando también la importancia de los materiales con los que dichos

elementos están confinados, además tomando todos aquellos aspectos como calidad de las juntas y acabados<sup>15</sup>.

Se ha observado que los diferentes sistemas que actualmente se utilizan han evolucionado de acuerdo a sus técnicas y proceso de ejecución, es decir que algunas se han cambiado completamente ya que se pretende dar más seguridad y confort a los habitantes de dichas estructuras y sobre todo el costo económico, por lo tanto algunos sistemas constructivos que conocemos podemos decir que han quedado obsoletos o simplemente han quedado reemplazados por los modernos.

Dependiendo de los sistemas constructivos más utilizado actualmente en nuestro medio, podemos elaborar una distinción o clasificación de las edificaciones de la siguiente manera<sup>16</sup>:

- Construcción Tradicional
- Construcción con Sistema de Marcos de Concreto.
- Construcción con Sistema de Marcos de Acero.

#### Construcción Tradicional.

Le llamaremos construcción tradicional, porque es el que está constituido por estructura y paredes de adobe, ladrillo de calavera, bloques, piedra, techos de teja, piso cerámica, entre

---

<sup>15</sup> Sistemas Constructivos definiciones y conceptos básicos <http://www.slideshare.net/fredyteran/sistemas-constructivos-14184659>.

<sup>16</sup> Evaluación Simplificada de Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, Mexico)

otros, que son los materiales con más uso en nuestro medio. Este sistema constructivo lo podemos clasificar principalmente en 3 tipos:

#### *Mampostería Simple:*

La mampostería simple es la construcción que utiliza piezas como adobes (figura 3.31) y/o ladrillos, no se considera ningún tipo de elemento de refuerzo es decir que carece de elementos que confinen o envuelvan a los muros, como son las columnas y vigas de concreto armado.



Figura.3.31. Mampostería de adobe sistema tradicional.

#### *Mampostería Confinada:*

Este tipo de construcción es aquella que cuenta con muros de adobe, ladrillo de calavera y/o bloque de concreto que están reforzados con columnas y vigas, que son elementos de concreto reforzado colados en sitio que confinan a la mampostería. En la figura 3.32 se muestra una pared de bloque de concreto (sin refuerzos verticales y horizontales) y otra de ladrillo de obra (también llamada de calavera) confinada.

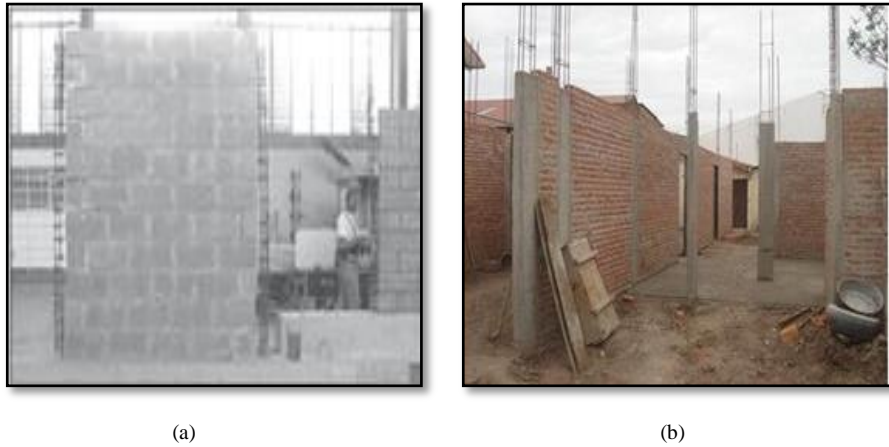


Figura 3.32. Esquema general de construcción de mampostería confinada. a) Pared de bloque de concreto b) Paredes de ladrillo. Confinadas con columnas de concreto.

#### *Mampostería Reforzada:*

El sistema de mampostería reforzada es aquel formado con bloques de concreto, en el que se colocan, vertical y horizontalmente varillas o alambres de acero de refuerzo. En este caso se usan piezas huecas para permitir el llenado de algunas de las celdas (huecos) con mortero de relleno (o mezcla), siendo éstas celdas generalmente las que llevan una varilla de acero de refuerzo. El objetivo de colocar varillas de refuerzo, en una cantidad suficiente para soportar el peso del edificio y las fuerzas laterales (por ejemplo del sismo) que actúan sobre la misma edificación.

#### Construcción con Sistemas de Marcos de Concreto.

Este sistema es producido según diseño estructural, pueden ser fundidos en sitio o en fabrica, su montaje es en obra, los empalmes o uniones de elementos estructurales (Columnas y Vigas) se hacen en concreto homogéneo y soldadura en las uniones del refuerzo , básicamente son columnas y vigas (bidireccionales) en conjunto con losa, con este sistema



hay mayor flexibilidad de diseño y más espacio interior, esto quiere decir que es mucho más eficiente que los sistemas tradicionales lo que permite construcciones rápidas, seguras, de mayor calidad y sobre todo más económicas, además los muros o paredes interiores pueden ser flexibles (tabla roca/ paneles) o rígidos (paredes).



(a) (b) (c)  
Figura.3.33. a) Marcos fundidos en sitio b) Marcos prefabricados ensamblado en obra c) Sistema tridireccional con losa

### Construcción con Sistemas de Marcos de Acero (Steel Frame)

Estructura de perfiles de acero que reparten el peso uniformemente. Paredes de paneles livianos de roca de yeso o madera en la cara interior. Paneles de cemento con revoque o salpicado, siding de madera, o ladrillo visto, en la cara exterior. Entre ambos una placa aislante térmica, aislación hidrófuga y barrera de vapor. En la figura 3.34 se muestra una construcción en proceso con este sistema de marcos de acero.



Figura 3.34 Construcción con perfilería de acero.

### Deficiencias en la construcción con mampostería

En primer lugar todo material de construcción debe cumplir con la Norma Técnica para Control de Calidad de Materiales Estructurales del Ministerio de Obras Públicas (MOP), contemplados la mampostería, el concreto, la madera, el acero, entre otros.

Las deficiencias constructivas ayudan a conocer algunos peligros que corren las personas que habitan la infraestructura, en el caso de la mampostería (sea de adobe, barro cocido o bloque de concreto) los materiales de fabricación deben ser óptimos para su elaboración y no se deben colocar elementos quebrados; en el proceso constructivo las sisas deben ser de más o menos de 1cm, tampoco se admite la inclinación de la pared por lo que debe mantenerse lo más vertical posible. En los elementos de concreto el refuerzo debe colocarse como mínimo a cada 60cm tanto vertical como horizontal, los huecos que llevan refuerzo debe colarse con concreto con agregado de chispa (o Grout) varillado. Las fallas en las paredes como lo dice

el Aspecto Estructural en el apartado “3.4.1.2 Muros de Mampostería y Muros de Carga o Portantes” se intensifican si existen las deficiencias descritas en este párrafo.

En algunos casos el repello puede desmoronarse y ser peligro, aunque no parezca importante, en edificios altos corre el riesgo por la aceleración que le proporciona el efecto de la gravedad; en los elementos de mampostería confinada, los elementos de concreto deben ser uniformes en toda el área de pared.

#### Deficiencias en la Construcción con Pórticos de Acero y Concreto

En el Aspecto Estructural se describen las fallas en los elementos estructurales hechos de estos materiales, en el caso del acero y la industria comercial que representa, las deficiencias constructivas radican en los procesos constructivos y las especificaciones de pernos, remaches, soldadura, que se utilizan en las conexiones de elementos, por lo tanto la supervisión de los procesos constructivos son de vital importancia y que los materiales sean acorde a las especificaciones dadas por el diseñador.

El concreto tiene las mismas condiciones de supervisión que en el acero, en el proceso de construcción hay particularidades que pueden aparecer, como el fenómeno de segregación del agregado, curado deficiente, entre otros; en el caso de las especificaciones deben aparecer contemplados la resistencia, la mezcla (de preferencia la relación agua y cemento), los aditivos y la aceptación del revenimiento y las pruebas que se requieran.

### 3.5.4. Aspecto Geométrico

La configuración geométrica de las edificaciones influye de manera importante en el comportamiento sísmico de las mismas. En el proceso de diseño para poder obtener una obra segura y que soporte los efectos de los sismos se deben analizar los factores y detalles de la configuración geométrica siguientes que nos ayudan a verificar con mayor cuidado la vulnerabilidad sísmica de dichas edificaciones<sup>17</sup>:

- Irregularidad en planta.
- Irregularidad en altura.

#### Irregularidad en planta:

Se refiere a la disposición de la edificación en el plano horizontal en relación a la forma perimetral y a la distribución del espacio arquitectónico. Estos problemas se presentan cuando las plantas son continuas, cabe mencionar que algunas edificaciones son complejas a simple vista pero, estas cuentan con elementos estructurales capaces de soportar un evento sísmico. La figura 3.35 muestra algunos ejemplos de irregularidad en planta.

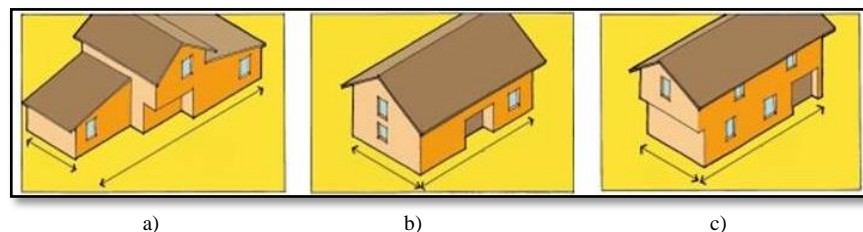


Figura 3. 35 Irregularidades en planta a) Distribución irregular con entradas y salientes notablemente asimétrica b) Forma geoméricamente regular c) Presenta ciertas irregularidades.

<sup>17</sup> - Evaluación Simplificada de Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, Mexico)

- Manual de Formato de Captura de datos para evaluación estructural red nacional de evaluadores, Joel Aragón Cárdenas, Leonardo E. Flores Corona, Oscar A. López Bátiz.

Un factor importante de evaluar es la longitud, en una edificación la longitud de sus paredes influye (la figura 3.36 muestra esta influencia), puesto que el movimiento del terreno consiste en la transmisión de ondas que dependen de la velocidad y características del suelo de soporte, por tanto la variación que se da en un punto de la edificación no es igual que en otro y esta variación es directamente proporcional a la longitud de la edificación en la dirección de las ondas sísmicas en un fenómeno sísmico, por lo tanto se valora la ubicación de paredes en ambas direcciones (ancho y largo) de la edificación para determinar qué tan vulnerable puede ser la estructura<sup>18</sup>.

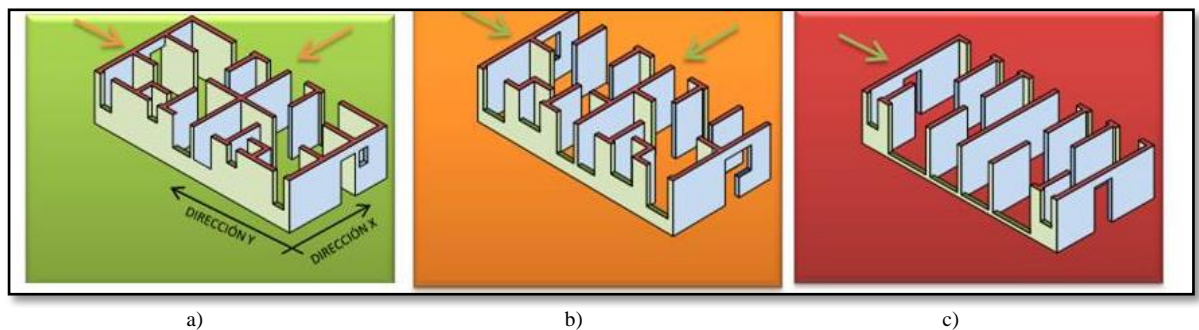


Figura. 3.36 Disposición de paredes internas en edificaciones a) Distribución regular que presenta baja vulnerabilidad, b) Distribución estable en ambas direcciones pero notablemente más débil en la dirección que hay menos paredes c) Distribución inestable en la dirección que se indica.

#### Irregularidad en altura:

Los problemas debido a la configuración (figura 3.37) en altura de las edificaciones, está relacionado con la discontinuidad en paredes o elementos estructurales en forma de

<sup>18</sup> Evaluación Simplificada de Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, México), - Guía Técnica para Inspección de edificaciones después de un sismo ASIA el Salvador

escalonamientos entre los elementos o cambios bruscos en las dimensiones de los niveles que posea a lo largo de la altura de la edificación<sup>19</sup>.

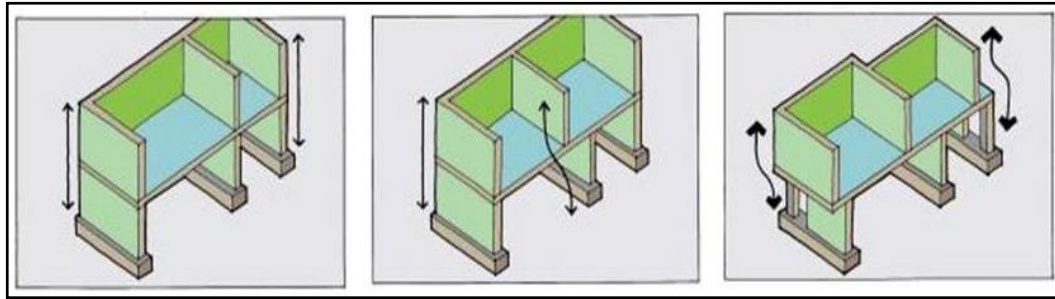


Figura 3.37. Esquemas de identificación de irregularidades en altura. a) Totalmente continuo y estable b) Notable discontinuidad en la disposición de algunas paredes y elementos estructurales internos. c) Discontinuidad en altura desde la cimentación hasta el techo.

Desde el punto de vista del comportamiento sísmico, estos escalonamientos producen cambios bruscos de rigidez y de masa que inducen la concentración de fuerzas perjudiciales en los pisos aledaños a la zona donde se produjo el cambio. Además se debe considerar el factor de esbeltez, el cual se refiere a las proporciones en planta y elevación de la edificación mediante la relación alto/ancho del edificio, pues cuando la altura es mucho mayor que el ancho y la profundidad, la esbeltez puede producir efectos de volcamiento al estar la estructura sometida a cargas laterales, como las producidas por un sismo.

### **3.5.5. Aspecto de Entorno**

Este aspecto pretende el considerar todos los elementos ajenos a la estructura a evaluar, para analizar la vulnerabilidad se valoran elementos tales como: la posición de la edificación en la manzana (en una esquina, al centro, con terrenos baldíos o sin ellos, etc.)

<sup>19</sup> Metodología para la evaluación de Establecimientos de Salud

si se habla de zona urbana, en las fachadas de los inmuebles contiguos se observa si estos presentan un determinado nivel daño en su parte frontal, igualmente se debe observar si presentan asentamientos en las cimentaciones de las edificaciones vecinas por una posible sobrecarga lateral en las paredes de la edificación evaluada, un ejemplo se puede observar en la figura 3.38.

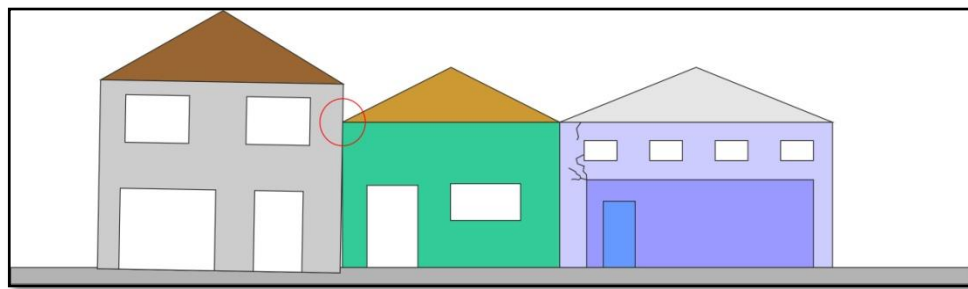


Figura 3.38. Posición de edificación (color verde) con respecto a construcciones aledañas y su posible repercusión en la edificación evaluada, a la izquierda un asentamiento diferencial, a la derecha muro colindante en colapso parcial.

Otras estructuras aledañas también pueden ser causa de riesgo en la edificación dado que la distancia de estos a la edificación pueden ser factores de daño si estos llegasen a fallar en su mayoría por volcamiento (torcerse hacia un lado hasta caer sobre algo), entre estas estructuras se pueden contar las cisternas o tanques de agua en altura, torres de red de alta tensión eléctrica y antenas de telefonía. Los sistemas de ventilación, transformadores internos y hasta antenas parabólicas han de tomarse en cuenta en aspectos no propios de un sistema constructivo pero si de entorno (ver figura 3.39).

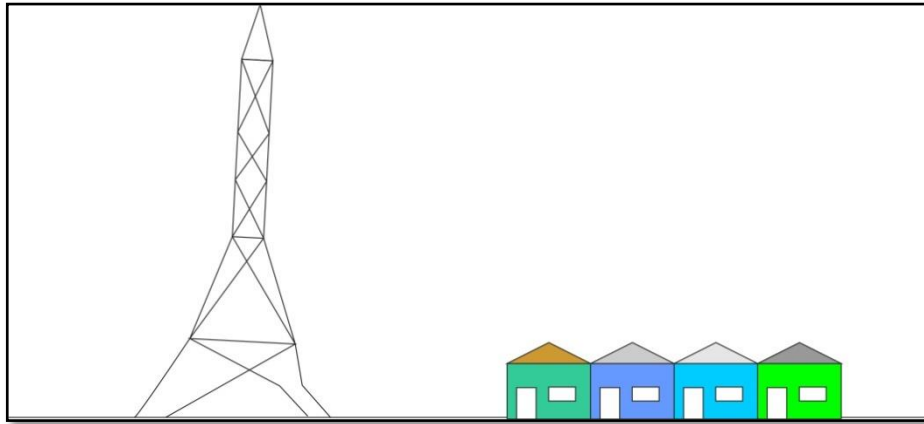


Fig. 3.39. Estructuras ajenas a la(s) edificación(es) que pueden repercutir en un daño.

Otro aspecto importante a prestar atención es la topografía como la mostrada en la figura 3.40, dado que para pendientes de hasta un 20% las edificaciones no presentarían problemas constructivos o de deslizamiento, para pendientes que estén en un rango del 20% al 30% podría requerir desde cimentaciones profundas en la zona más alta o diseñadas de forma escalonada o una mínima protección por deslizamiento de suelo; para pendientes mayores a un 30% se consideran elementos de protección para la edificación o para talud cercano con una obra de defensa que tenga un estudio de suelos por peligro de deslizamiento (por inestabilidad del suelo).

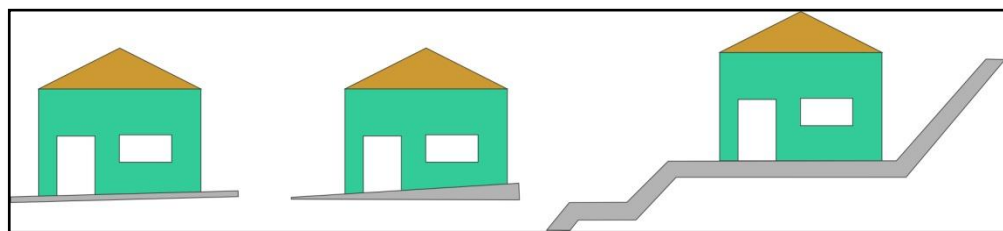


Figura 3. 40. Topografía del terreno, figura de la izquierda con desnivel de 0% - 20%, figura del centro con desnivel de 20% - 30% y figura de la derecha con taludes en la cercanía de la edificación.



Posteriormente también se valoran si algunos elementos del contorno, como la presentada en la figura 3.41, potencialmente ocasionen daños en una edificación, que en su mayoría se colocan de forma arbitraria y/o por necesidad, por ejemplo: vallas publicitarias, arboles de gran tamaño, soportes de alumbrado eléctrico (postes, tendido eléctrico, transformadores, etc.), tráfico en calle aledaña, entre otros, por lo que se observa la condición de estos, si se les da mantenimiento o es precario su estado actual, por una posible repercusión en la edificación si estos elementos de contorno colapsen.

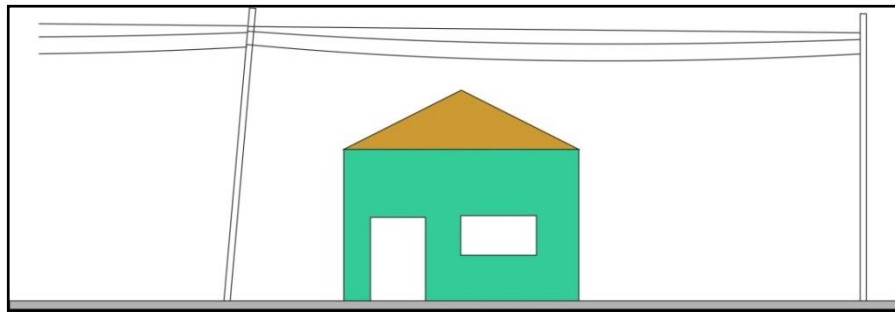


Figura 3.41. Ejemplo de un elemento de contorno, alumbrado eléctrico, que potencialmente cause daño a la estructura

Dependiendo de la ubicación geográfica del área de estudio o de la estructura se agregan elementos como la cercanía de ríos o quebradas o zonas de recarga acuífera por riesgo de licuefacción de suelo, cercanía de zona costera por tsunami por evento de un sismo.

CAPÍTULO 4:  
METODOLOGÍA  
DE EVALUACIÓN  
DE  
EDIFICACIONES  
DEL CENTRO  
HISTÓRICO DE  
SANTA ANA

## **4.1 INTRODUCCIÓN**

Dado que se tienen las bases teóricas de las generalidades de un sismo (Capítulo 2) y los aspectos evaluativos que influyen en la vulnerabilidad de las edificaciones ante un terremoto (Capítulo 3), se expone en los siguientes numerales de este capítulo, la metodología utilizada en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un sector del centro histórico de la ciudad de Santa Ana. Se describe el área de estudio, el método para obtener la muestra de edificaciones a evaluar, las características y funciones del personal que realizara la evaluación, y los recursos e instrumentos para la evaluación.

Finalmente se describen las fichas utilizadas en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del área de estudio: la primera de carácter diagnóstico para determinar el número de viviendas, tipologías y usos y la segunda evalúa los distintos parámetros (estructural, geotécnica, constructiva, geometría y de entorno) para estimar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas seleccionadas.

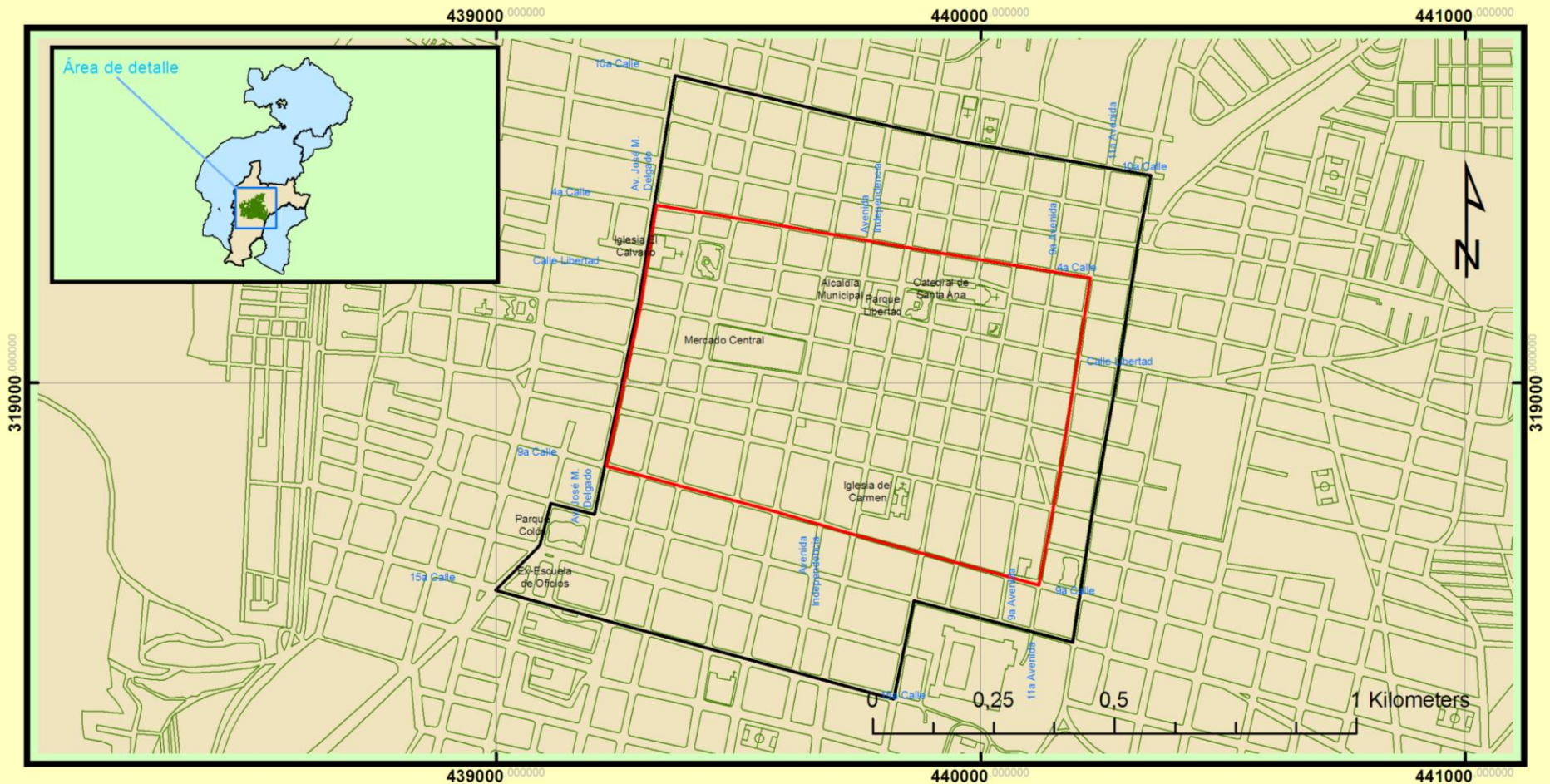
## **4.2 ÁREA DE ESTUDIO**

En la sección 2.4.2 se describen los límites del Centro Histórico adoptados por la Oficina Municipal del Centro Histórico de la Alcaldía Municipal de Santa Ana (ver figura 4.1) la cual abarca 157 cuadras o manzanas, pero para este estudio se realiza en una parte del

centro histórico que abarca 75 manzanas y el área cuenta con un total de 916 viviendas de las cuales se seleccionara una muestra representativa para realizar la Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica, los siguientes son límites establecidos para el Área de Estudio: Al norte con la 4ta Calle Poniente y Oriente, al sur con la 9a Calle Poniente y Oriente, al Este con la 9a Avenida Norte y Sur y al Oeste con la 12a Avenida Norte y Sur (Av. José Matías Delgado).

En el Mapa 4.1 se muestra la ubicación del Centro Histórico de Santa Ana adoptado por la Oficina de Centro Histórico y la delimitación del Área de Estudio con la que se realiza la investigación y la elaboración de este trabajo.

## MAPA 4.1 Ubicación del Centro Histórico de Santa Ana y delimitación del Área de Estudio



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADO:  
 Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del  
 Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruiz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez

SIMBOLOGÍA:

-  Delimitación del Centro Histórico
-  Delimitación del Área de Estudio

#### **4.2.1. Selección de la Muestra del Área de Estudio**

La selección de la muestra es sumamente importante para el estudio, es la clave del éxito o del fracaso de la investigación, ya que, por una muestra no representativa podrían darse conclusiones erróneas. La muestra es el subconjunto o porción del Área de Estudio, en la que se llevará a cabo el estudio, con el fin posterior de generalizar los resultados y dar un diagnóstico de las condiciones actuales de toda el Área de Estudio.

Para la selección de la muestra se utiliza una herramienta estadística, la cual permite calcular una muestra de poblaciones o universos de estudio finitos. A continuación se presenta dicha herramienta:

$$n = \frac{Z^2(P)(Q)(N)}{E^2(N - 1) + (Z^2)(P)(Q)}$$

Ecuación 4.1. Obtención de la muestra a partir de un Universo dado

#### **Dónde:**

n =Número de elementos de la muestra.

N =Número de elementos del universo.

P =Probabilidad de éxito = 0.6.

Q = Probabilidad de Fracaso (1-P) = 1 - 0.6 = 0.4.

Z<sup>2</sup> = Valor crítico correspondiente al nivel de confianza elegido = 2.

E =Margen de error permitido se utiliza de 8% (error muestral).

El valor de N se obtendrá de los resultados obtenidos de la información de campo, que se recabarán mediante la Ficha General de Inmuebles.

El valor de **n** es el número de edificaciones a evaluar, además sirve de parámetro para definir una muestra representativa de cada una de las diferentes tipologías encontradas. Esto con el fin de obtener una mayor precisión y validación al momento de inferir los resultados a toda el Área de Estudio.

#### **4.3 RECURSOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.**

Antes de realizar las evaluaciones de las edificaciones se debe verificar con que recursos se cuenta y que instrumentos se utilizarán para que las evaluaciones sean eficaces, eficientes y valederas. Muy importantes las cualidades mencionadas, pues se debe recordar que se cuenta con limitaciones de recursos y herramientas, además el factor tiempo juega un gran papel en la investigación, por lo tanto, los instrumentos de evaluación deberán cumplir las cualidades antes dichas, para lograr una exitosa investigación y resultados fidedignos en un tiempo considerablemente aceptable para el grupo evaluador.

Además se debe realizar una logística antes, durante y después de las evaluaciones, para obtener un buen manejo de los resultados, de la información aportada por los representantes de las edificaciones y para respaldar la validez de cada una de las evaluaciones.

#### **4.3.1. Grupo Evaluador**

El grupo evaluador estará conformado por dos grupos 1) Grupo de gestión y procesamiento de datos y 2) Grupo Evaluador de Campo, esto con el fin de lograr resultados exitosos para el estudio.

**1) Grupo de gestión y procesamiento de datos:** Este grupo está conformado por personas hábiles con el manejo del Microsoft Office Word y Excel, ellos recopilarán toda la información recabada en las evaluaciones en archivos digitales, para posteriormente hacer el respectivo análisis de cada uno. También se encarga de realizar la logística antes y después de cada evaluación, contactando a las entidades gubernamentales, municipales, privadas o particulares para realizar cada evaluación, se encargan de informarle al grupo de campo todo lo relevante con la edificación a evaluar.

**2) Grupo de Campo:** Este grupo está constituido multidisciplinariamente, lo conforma el titular o dueño de la propiedad, o sino por un representante de la propiedad, un agente policial, un representante de salubridad (en caso que se requiera), un notario (en caso lo solicite el propietario de la edificación), un electricista (en casos que se esté evaluando edificaciones que posean mini-subestación, o que sean generadoras de energía eléctrica), el técnico evaluador (responsable de toda la parte técnica de la evaluación, será el que dirija el grupo y estará encargado de llevar las anotaciones), y por último se solicitara la ayuda de



dos personas más como apoyo al técnico evaluador (pueden ser estudiantes de cuarto o quinto año de ingeniería civil o arquitectura), estos se encargan de hacer mediciones con cinta, tomar fotografías, escavar, martillar o hacer cualquier otra tarea que se requiera para la evaluación o que les solicite el técnico evaluador.

Se debe tener en cuenta que el técnico evaluador de preferencia debe ser un Ingeniero Estructurista o un Ingeniero Civil, a falta de estos un estudiante de ingeniería civil o arquitectura de quinto año de estudio podrá ocupar su lugar, pero deberá poseer conocimientos estructurales a poder realizar la evaluación.

#### **4.3.2. Equipos y Herramientas de Evaluación**

Antes de elegir los equipos y herramientas a utilizarse en las evaluaciones de las edificaciones es necesario poner en claro cuáles son las limitantes con respecto a estos rubros, se debe recordar que en la actualidad existen herramientas digitales de alta tecnología para la realización de evaluaciones, pero en el país es muy difícil adquirir, alquilar, prestar o comprar, por lo tanto se debe ser eficaz en ese sentido.

Los equipos más usados en una evaluación son los equipos de higiene y seguridad personal, y las herramientas más usadas son las herramientas menores, a continuación se describen brevemente:

**1) Herramientas Menores:** Son aquellas herramientas que caben en un bolsillo o hasta una mochila, estas herramientas son de uso común y fácil de adquirirlas, si se deben comprar no generan un mayor gasto y no se necesita de entrenamiento para su uso.

- a) **Grietómetro:** este sirve para medir el ancho de las grietas, ya sea en elementos estructurales o en elementos no estructurales como el piso o paredes divisorias. Además se puede usar un alambre fino y recto, para calcular la profundidad de la grieta.
- b) **Cinta Métrica:** sirve para la medición de cualquier elemento de la edificación o externo que sea necesario en la evaluación, con la cinta métrica se miden claros entre columnas, alturas de entrepisos, secciones de vigas, paredes, ventanas, etc.
- c) **Nivel:** Este sirve para verificar la verticalidad de paredes, columnas, postes de energía eléctrica u otros, horizontalidad de vigas, pisos, losas, además en casos que se requiera este mismo puede servir como plomada, se puede carga un nivel de mano como alternativa.
- d) **Herramientas Auxiliares:** son las herramientas que se utilizaran para excavaciones, cincelado de paredes, columnas, etc. Y está conformado por palas, piochas, picos, cordel, plomadas, cincel, martillo o almágana, cubetas y escalera.

Y para el desarrollo de la presente investigación para realizar las actividades generales correspondientes a la evaluación se utilizó la herramienta menor siguiente:

- Cinta métrica para conocer tanto las dimensiones de la edificación como de las secciones de los elementos estructurales, entre otras.
- Nivel para verificar la verticalidad de elementos estructurales de las edificaciones.
- En cuanto a herramienta auxiliar se utilizó plomadas, martillo y escalera.

**2) Equipos de Evaluación:** Los equipos de evaluación en su mayoría son alternativos, como se mencionó antes hay equipos accesibles y algunos que se es difícil su obtención, sin embargo se mencionan los siguientes equipos para una evaluación.

- a) **Equipo de Evaluación Estructural:** este equipo se utiliza solo cuando el equipo evaluador tenga acceso a él, no es de menor importancia pero su difícil acceso hace que no se tome muy en cuenta en la evaluación, cubriendo la mayor cantidad de detalles de forma visual. Este equipo está conformado por un Teodolito o Estación Total, Martillo Suizo o Pistola de Windsor, Pachometro, Sismógrafo o Acelerógrafo, Equipo SPT (para estudio de suelo in situ), extractor de núcleos de concreto y un taladro. Este equipo servirá para conocer detalladamente las condiciones actuales de la edificación, en cuanto a su situación estructural.

En lo referido a esta sección y para consolidar los resultados del estudio se realizaron sondeos con equipo SPT.

**b) Equipo Menor para la Evaluación:** este equipo estará conformado por lapiceros, lápices, reglas, planos de ubicación, brújula, lámpara de mano (servirá para la iluminación de grietas o de lugares con poca iluminación en las que es necesaria mayor visibilidad por ejemplo: bodegas o sótanos, además será de utilidad en aquellas edificaciones que tienen dañado su sistema eléctrico), y cámara fotográfica o de video (esta servirá para dejar evidencia de la evaluación y del estado actual de la edificación evaluada).

**3) Equipos de Protección Personal (EPP):** Este equipo ayuda a salvaguardar a los evaluadores ante cualquier accidente que ponga en riesgo su vida o la integridad física.



**Casco:** este se usara por los elementos colgantes o por los elementos que puedan caer de niveles altos y que pueden impactar en la cabeza del evaluador, además para evitar cualquier golpe en la cabeza por elementos salientes, como pedazos de varillas, repisas, balcones, clavos, etc.



**Botas con cubos o zapatos cerrados:** se deben usar zapatos cerrados de cuero, que protejan el pie, de elementos que puedan caer de nivel altos y de elementos corto punzantes que se encuentre en el suelo, como por ejemplo clavos, vidrio, laminas, maderas astilladas, etc.



**Lentes de protección:** Se deben usar gafas de protección, ya que pueden existir partículas flotantes en el ambiente de la edificación evaluada que pueda irritar o dañar los ojos, como por ejemplo el polvo o arenillas.



**Mascarilla o tapa bocas:** este elemento se usa cuando en el ambiente de la edificación existan muchas partículas flotantes que puedan introducirse en las fosas nasales o por la boca, además cuando existan gases tóxicos o vapores orgánicos.



**Tapones u orejeras:** para proteger a los oídos de ruidos de grande decibeles que se registren en la zona de evaluación, debido a pruebas que se estén realizando o debido a objetos que puedan caer o que ocasionen un ruido constante, como por ejemplo, motores, turbinas, etc.

Se debe recordar que al evaluar los elementos estructurales a veces es necesario usar escaleras o andamios, por lo que hay que usar arnés y línea de vida, los evaluadores deben usar ropa ajustada para evitar engancharse en objetos salientes de la edificación, o quedar atrapados en maquinarias o equipos que existan dentro del área o zona de la edificación evaluada.

**4) Equipo de Higiene:** es el equipo que velará por la salud del grupo evaluador, estará conformado por agua embotellada, celular, repelente contra insectos, botiquín de primeros auxilios (con pastillas para alergias, dolor de cabeza o muscular, gasas, alcohol, etc.).

#### **4.4 INSTRUMENTO PARA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA**

##### **4.4.1. Ficha de Evaluación Preliminar General**

La herramienta para realizar la Evaluación Preliminar General es una ficha que capta la información de las edificaciones relacionada a: las diferentes tipologías constructivas, niveles constructivos, ubicación o dirección, uso actual y régimen de propiedad. Durante la aplicación de esta ficha se verificará si por parte del dueño o encargado es posible obtener el acceso a la edificación para realizar la Evaluación Definitiva, en el Anexo 1 se muestra la Ficha de Evaluación Preliminar General.

El objetivo de una primera evaluación con esta ficha es conocer la cantidad de edificaciones del área de estudio y una breve descripción de ellas, para que el equipo evaluador pueda calcular la muestra representativa de todas las edificaciones, y levantar un listado de las edificaciones donde se tuvo un contacto con el dueño o encargado y dio permiso para que su vivienda fuera evaluada y con ello tener una serie de edificaciones confirmadas para continuar con el proceso de evaluación (segunda etapa).

#### **4.4.2. Ficha de evaluación específica.**

Con el término “Instrumento de Evaluación” se referirá exclusivamente en este estudio a la Ficha de Evaluación específica que se llena por el grupo evaluador de campo en la inspección de la edificación. Este instrumento es una extensión del trabajo de los investigadores encargados de la evaluación de las edificaciones, mediante la aportación de información documentada que organizaciones y/o universidades han abordado el tema, la metodología utilizada y de la tropicalización que se realice de estos; de esta forma se elabora un “check list” intuitivo y de fácil llenado que integre todos los aspectos evaluativos que señalen las deficiencias de la edificación que genere daño ante un terremoto.

#### **Metodología de Evaluación**

La metodología utilizada en la Evaluación de Vulnerabilidad es de tipo cualitativa, donde se inspeccionan de manera visual y con algunas herramientas y equipos básicos de medición los daños comunes generados en elementos estructurales (vigas, columnas, entrepisos, muros, entre otros) ante un sismo, información e inspección de los componentes geotécnicos (estructura y suelo de fundación), la observación de la tipología constructiva junto con la calidad actual, indicadores de la geometría del inmueble que pueda generar efectos no deseable en los componentes estructurales y los elementos de entorno que puedan establecer un grado de inseguridad en la edificación; estos parámetros o indicadores de vulnerabilidad (que se llaman Aspectos de forma general<sup>20</sup>) mencionados, tienen una

---

<sup>20</sup> Tomados como base de: Evaluación Simplificada de la Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas, CENAPRED.

calificación (o ponderación) que determina el grado de vulnerabilidad de una edificación evaluada. Esta metodología es parte de los tipos cualitativos que se utilizan para estudios de zonas extensas y con variedad de tipologías constructivas; en “El Capítulo 3, Tabla 3.1: se muestra la tabla resumen de clasificación de metodologías de evaluación” se puede observar que la metodología a utilizar encaja también en los tipos empíricos, dado que se emplea la inspección y el puntaje, y que se recurre en la ficha de evaluación presentada en el Anexo 2.

Por otra parte, debido a que en el área de estudio no hay trabajos similares de evaluación, se descartan metodologías analíticas porque no se tiene en la mayoría de las edificaciones planos estructurales y arquitectónicas que sirvan de insumos en este tipo de análisis especializado, tampoco se tiene información de datos estadísticos de daños de sismos pasados para tener como base para el uso de métodos estadísticos, mecánicos o experimentales que utilizan funciones y matrices de vulnerabilidad.

Al final se hace una ponderación de cada Aspecto evaluado para hacer la suma y poder estimar el grado de vulnerabilidad de la infraestructura, estas ponderaciones se presentan más adelante de este capítulo.

#### Formato de Ficha de Evaluación

Como parte de documentos revisados para generar la Ficha de Evaluación se tienen los siguientes como base: Formato de Captura de Datos para la Evaluación Estructural



elaborado por CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres, versión Febrero de 2011), la Guía de Inspección de Edificaciones Después de un Sismo elaborado por AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, mayo 2002) y la Guía Técnica para la Inspección de Edificaciones Después de un Sismo elaborado por ASIA (Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, no se tiene fecha de creación o versión), además en la Ficha de Evaluación se agrega gran parte de la información presentada en el Capítulo 2 y Capítulo 3.

La caracterización general de las construcciones en el país (y en la zona de estudio), en su mayoría no obedecen a ningún diseño estructural (vivienda popular por autoconstrucción) y son edificaciones de tres niveles como máximo que no se apegan a las normas de construcción (muchas han sido construidas antes de las normas vigentes), siendo las más afectadas por los sismos y forman un parámetro que la Ficha de Evaluación debe valorar, además, también existen construcciones más modernas, con técnicas constructivas más reciente, como las que se hacen con pórticos o mixtas con paredes de carga, por lo que se estableció que la Ficha de Evaluación también las valoraría; por lo tanto la Ficha de Evaluación debe tomar la mayoría de tipologías constructivas existentes que al mismo tiempo pueda recabar la información de las posibles modificaciones que tuviere en su vida de construcción, por lo tanto el “check list” de la Ficha de Evaluación tiene la opción de marcar varios parámetros que describan la edificación y sus componentes.

Los cinco aspectos evaluativos se han ordenado en la Ficha en base al grado de importancia, cada aspecto contiene las posibles fallas y daños, con el fin de describir las condiciones actuales en que se encuentra la edificación. El orden de los aspectos es de la siguiente manera: Aspecto Estructural, Aspecto Geotécnico, Aspecto Constructivo, Aspecto Geométrico y Aspecto de Entorno.

En todos los aspectos se colocaron espacios para observaciones para detallar algún parámetro que pueda tener gran importancia para el evaluador, pero se debe aclarar que se utiliza para futuras toma de decisiones para los encargados de la Evaluación, recabar mayor información por edificación, la posible intervención que necesite el inmueble, entre otros, siendo los cuadros de chequeo y espacios de datos (como altura de entepiso, numero de niveles, etc.) los necesarios para que al final se obtenga su grado de vulnerabilidad. En todos los Aspectos se han colocado los materiales más comunes, como también las fallas más frecuentes en el tipo de elemento.

Para la mejor comprensión del formato de la Ficha, se muestra anticipadamente una Figura de captura de pantalla, recortada en un área de la ficha que contiene un tema en específico, como por ejemplo, el espacio “Generalidades”, que a su vez tiene cuatro partes que la conforman, estas son: 1. Información de inspección, 2. Información General del Inmueble, 3. Áreas y Usos y 4. Ocupación Actual. Estas partes se describen brevemente luego de la figura para detallar aspectos de su llenado, por lo que en la representación se hace un

recuadro de color para diferenciarlo con un número al costado de cada espacio; también, pueden haber espacios que solo la conforme una parte descrita a continuación de la Figura.

A continuación se detalla cada una de las partes del Formato de Ficha de Evaluación:

- *GENERALIDADES*

En la figura 4.1 se muestra la parte de la ficha que recaba la información inicial que se necesita del inmueble, estos son:

1	FECHA:	HORA DE INICIO:	HORA FINAL:	INGENIERO/ ARQUITECTO	ESTUDIANTE							
	NOMBRE DE EVALUADOR:			ESTRUCTURISTA								
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL INMUEBLE</b>												
2	NOMBRE DEL INMUEBLE:			DIRECCIÓN:								
	NOMBRE DEL PROPIETARIO:			FECHA DE CONSTRUCCIÓN:								
	TELÉFONO O EMAIL DE CONTACTO			COORDENADAS:								
<b>ÁREAS Y USOS</b>												
3	Reunión	Centro social		Comunicaciones y transporte	Terminal de pasajeros		Oficina/Comercio	Oficinas/ Institucional		Salud/Soci	Hospital/ Clínica	
		Templo religioso			Estacionamiento			Tiendas			Asilo	
		Gimnasio			Antena transmisora			Mercado			Guardería	
		Salón de baile			Radio/televisión			Restaurante			<b>OCUPACIÓN ACTUAL</b>	
		Cine/teatro/auditórium			Telefonía/correos			Plaza comercial			Habitada/ En uso	
	Educativo	Parvularia		Educación superior		Habitación	Vivienda		Abandonada/Desocupada			
		Educación básica		Biblioteca			Multifamiliar		Desalojada por daños			
		Educación media		Museo			Hotel		Número de Ocupantes: _____			

Figura 4.1 Muestra la parte de la ficha que corresponde a información general y los usos de la edificación evaluada.

1. Aquí se detalla la fecha, hora de inicio y hora final de la evaluación del inmueble en cuestión, también se anota el nombre del responsable que evaluó la edificación y el nivel académico. De preferencia se debe colocar la hora en formato de 24 horas (en vez de 5:30 pm, escribir 17:30) para evitar errores de digitación y la fecha con el mes en letras por ejemplo: escribir 27/marzo/14 en vez de 27/03/14.

2. Este apartado es para escribir la información del nombre del inmueble, nombre del propietario o en su caso la persona en representación o a cargo, junto con su correo/ teléfono de contacto. Además para tener la ubicación en mapa se debe detallar la dirección y coordenadas de la vivienda o edificación, de ser favorable el tener datos catastrales del inmueble pueden anexarse en la ficha, esto sirve para que enriquezca los mapas de riesgo a elaborarse y la base de datos que se pueda generar. También se tiene un espacio para colocar la fecha de construcción, esto ayuda a tener una idea de la cantidad de sismos de importancia ha sufrido la estructura.
  
3. En la parte de “Áreas y Usos” se debe individualizar los diferentes espacios que pueda contener un inmueble. Un ejemplo puede ser una vivienda que tenga una tienda minorista por lo que se debe colocar un check en el espacio de “Habitacional” como “Vivienda” y otra en el espacio “Oficina/Comercio” como “Tiendas”.
  
4. En este espacio se debe colocar si está habitado, deshabitado o desalojado el inmueble, además, si fuere el caso, el número de personas que la ocupan.

- *ASPECTO ESTRUCTURAL*

Este aspecto contiene siete sub-espacios que contienen la información estructural de la edificación, estos son: Generalidades Estructurales, Muros, Entrepisos, Vigas, Columnas, Estructura/ Cubierta de Techo y Otros tipos de daño.

○ *Generalidades Estructurales*

Este apartado da un parámetro inicial del tipo de construcción y la intervención en la estructura que haya tenido hasta la actualidad.

GENERALIDADES ESTRUCTURALES										
1	Numero de Niveles		Altura de entrepiso	m	REPARACIÓN					
	SISTEMA CONSTRUCTIVO				Reparación de elementos		Mantenimiento preventivo			6
2	Mampostería Simple		Porticos de acero/concrt		Reparación de elementos NO		Mantenimiento correctivo			
	Mampostería Confinada		Otro, explique				Otro, explique			
	Mampostería Reforzada				ADAPTADA					
3	TIPO DE CONSTRUCCIÓN				Aberturas en paredes para puertas y/o		Discontinuidad/eliminación de elementos			7
	Diseño Estructural		Autoconstrucción		Eliminación de		Otro, explique			
	CARACTERISTICAS ACTUALES DE LA EDIFICACIÓN				Aumento de paredes					
4	Constr. Original		Reparada		Aumento de niveles					
	Reconstrucción		Remodelada		Cierre de espacios libre					
	REMODELADA				Observaciones					
5	Colocación de elementos NO		Cambio de elementos estructurales							
	Cambio de elementos NO estructurales		Cambio de sistema constructivo							
	Otro, explique									

Figura 4.2 Descripción preliminar estructural de la edificación.

1. Se debe colocar en formato de numero los niveles en el que este compuesto la edificación, y si fuere el caso, anotar la altura promedio de entrepiso.
2. El tipo de mampostería se chequea en este espacio, o en caso contrario si es pórtico se tiene que detallar, de aquí en adelante en los demás parámetros, se coloca un espacio llamado “Otro” que tiene una línea donde se debe dar una descripción breve del tipo no cubierto por el listado propuesto.
3. De la observación realizada y en mayor medida, de las consultas a los dueños o encargados de la edificación, se debe chequear si se tuvo un diseño estructural (planos y calculo estructural) o fue por “Autoconstrucción”, que es el proceso

realizado por mano de obra calificada (maestro de obra, albañil, electricista, entre otros) pero sin un documento de cálculo de la estructura.

4. En las “Características Actuales de la Edificación” se tienen seis posibles intervenciones que haya sufrido la edificación, estas son: Construcción Original, Reconstrucción, Reparada, Remodelada, Adaptada y Restauración.

El primero nos dice que no ha sufrido ningún cambio la construcción y se ha mantenido intacto al diseño estructural-arquitectónico. La “Reconstrucción” es aquella intervención que tenga como objetivo mantener algún elemento dañado en sus condiciones originales con los materiales que se hayan empleado inicialmente. El término “Reparada” se referirá a modificaciones realizadas con materiales nuevos que refuercen elementos dañados por un sismo. Cuando se haya realizado en una edificación cambio de elementos estructurales y no estructurales, como también cambio por algún otro sistema constructivo, se colocara en la parte de “Remodelada”. En algunas construcciones se observa que se hacen aumentan las aberturas en puertas y ventanas para colocar vitrales o garajes, siendo una “Adaptación” que se realiza con estas actividades, de la misma manera se adapta cuando se cierran los espacios libres o se aumentan paredes o niveles a la edificación. Ya la “Restauración” es en gran medida procesos constructivos que mantienen arquitectura original, siendo en buena medida en fachadas.

5. Si fuere el caso de una intervención realizada para “Reparar” algunos elementos que tiene la lista de este espacio, se describe en un check o en el espacio de “Otro”
6. De la misma manera se hará con reparaciones realizadas, teniendo un listado en este espacio o en el “Otro” que sea congruente a lo explicado en el literal 4 de Generalidades Estructurales.
7. Si la edificación hubiere sufrido algún tipo de “Adaptación” a su función original, este espacio debe ser llenado con alguno de los descritos en la lista.

○ *Muros*

También se les puede llamar paredes, estos elementos estructurales se describen a continuación:

MUROS			
1	TIPO		TIPOS DE FALLA Y/O DAÑOS
	Portante	No portante	
2	MATERIAL		Falla por cortante Separación de unión de paredes Pudrición/ataque de insectos Falla por volteo Otro, explique
	Mampostería	Concreto	
	Otros, especifique:	Madera	
3	*EXISTE MAS DE DOS MATERIALES O SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN MUROS*		Observaciones
	En Planta	En Elevación	
Explique material, nivel y % de área, según sea el caso			

Figura 4.3 Aquí se coloca la información concerniente a los muros (paredes) de la edificación.

1. Los muros o paredes portantes son aquellos que su función es la de soportar cargas, caso contrario que sean para delimitar un área y solo aporte peso a la estructura, es un muro no portante.

2. Aquí se debe colocar el tipo de material que está constituido el muro, sino se encuentra en los descritos, se puede escribir el tipo. Por conveniencia se puede colocar más de un tipo de material. En mampostería se encuentran los que se forman por unidades de elementos como lo es la piedra, ladrillo de barro, adobe, bloques de concreto, entre otros; la madera es otro material que se utiliza para paredes, aunque no es muy habitual por el riesgo de incendios; en concreto se debe colocar aquellos prefabricados.
3. Cuando exista más de un tipo de material en muro, existe la posibilidad que sea tanto en planta (paredes con materiales mixtos o paredes completas pero diversos materiales) como en altura (ejemplo de un primer nivel de bloque de concreto y los otros de ladrillo). Hay un espacio donde dar una descripción breve de los niveles (si es el caso), tipo de material y el porcentaje de los diversos materiales que existen en paredes.
4. Por último se coloca una lista de las posibles fallas que pueda tener una pared, de los cuales pueden chequearse más de una.

- *Entrepisos*

Los entrepisos son los que dividen los niveles de construcción de una edificación, aunque hay nuevos tipos de sistemas constructivos para entrepisos, se mencionan las más comunes junto con las fallas usuales acontecidas en estos elementos estructurales.



ENTREPISOS			
TIPO			
1	Losa Densa	<input type="checkbox"/>	Entrepiso de madera
	Losa Aligerada	<input type="checkbox"/>	Entrepiso de acero
	Otros, especifique: _____		
TIPOS DE FALLA Y/O DAÑOS			
2	Falla por flexión	<input type="checkbox"/>	Pudrición/ataque de insectos
	Falla por punzonamiento	<input type="checkbox"/>	Losetas de entrapiso con hundimientos
	Falla en tensión perimetral (acero)	<input type="checkbox"/>	Otro, explique _____
	Corrosión de acero	<input type="checkbox"/>	
	Efeco de fluorescencia	<input type="checkbox"/>	
	Observaciones		

Fig. 4.4 Muestra la información del estado en el que se encuentran los entrapisos.

1. Aquí se debe colocar el tipo de material que está constituido el entrapiso, se puede escribir en el espacio si es de otro tipo. Por conveniencia se puede colocar más de un material, aunque no sea muy común.
2. Las posibles fallas que pueda tener un sistema de entrapiso se coloca en la lista y puede chequearse más de una.

○ *Vigas*

Las vigas son las que transmiten las cargas contenidas en un área específica hacia las columnas o elementos de apoyo. El apartado para evaluar estos elementos se muestra en la siguiente figura:

VIGAS			
MATERIAL			
Acero	<input type="checkbox"/>	Concreto	<input type="checkbox"/>
Madera	<input type="checkbox"/>	Otros, especifique: _____	
TIPOS DE FALLA Y/O DAÑO			
Falla por flexión	<input type="checkbox"/>	Pandeo en elemento de acero	<input type="checkbox"/>
Falla por cortante	<input type="checkbox"/>	Pudrición/ ataque de insectos	<input type="checkbox"/>
Falla por torsión	<input type="checkbox"/>	Otro, explique	<input type="checkbox"/>
Corrosión en acero	<input type="checkbox"/>	Observaciones y dimensiones de elementos	
Efeco de flourescencia	<input type="checkbox"/>		

Fig. 4.5 Las vigas de la estructura de la edificación se chequean en esta sección de la ficha.

1. Los materiales más comunes que se utilizan para construir vigas de soporte, está el acero, el concreto y la madera, si es otro tipo de material, se puede escribir el tipo utilizado en el espacio. Por conveniencia se puede colocar más de un tipo de material.
2. Por último se coloca una lista de las posibles fallas que pueda tener una viga.

○ *Columnas*

Las columnas son elementos estructurales verticales que transmiten las cargas a la cimentación, pueden ser aisladas o conectadas y los materiales más utilizados está el acero y el concreto en construcciones modernas, y la madera y mampostería (casi siempre ladrillo de barro cocido) en viviendas antiguas o que se les quiera dar un toque rustico a su estilo.

COLUMNAS			
MATERIAL			
Acero	<input type="checkbox"/>	Concre	<input type="checkbox"/>
Madera	<input type="checkbox"/>	Mampostería	<input type="checkbox"/>
Otros, especifique: _____			
TIPOS DE FALLA			
Falla por cortante	<input type="checkbox"/>	Corrosión en acero	<input type="checkbox"/>
Falla por flexo-compres	<input type="checkbox"/>	Falla por	<input type="checkbox"/>
Falla por torsión	<input type="checkbox"/>	Pudrición/ ataque de insectos	<input type="checkbox"/>
Pandeo	<input type="checkbox"/>	Otro, explique	<input type="checkbox"/>
Efeco de flourescencia	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Observaciones y dimensiones de elementos			

Fig. 4.6 Tanto los materiales con las que se construyeron las columnas como sus fallas y/o daños se verifican en esta sección.

1. Aquí se debe colocar el tipo de material que está construida la columna, se puede escribir en el espacio si es de otro tipo. Por conveniencia se puede colocar más de un material, aunque no sea muy común.
2. Las posibles fallas que puedan tener columnas dependerá del material y se colocan en la lista, también pueden chequearse más de una.

○ *Estructura de Techo y Cubierta*

En esta parte de la Ficha de Evaluación se tiene dos espacios para detallar el Tipo de Estructura de Techo junto con algunas fallas y/o daños comunes y la Cubierta de Techo, que no es más que el tipo de material que cubre la edificación de inclemencias climáticas (sol, lluvia y viento).

ESTRUCTURA DE TECHO Y CUBIERTA								
1	TIPO DE ESTRUCTURA DE TECHO				TIPO DE CUBIERTA			
	Estructura de madera		Estructura de acero		Lámina tradicional		Lámina de asbesto	
	Losa		Otro, explique		Lámina de zinc-aluminid		Teja	
Otros, especifique:								
2	TIPOS DE FALLA Y/O DAÑO				TIPOS DE DAÑOS EN CUBIERTA			
	Falla por flexió		Pandeo en elementos		Fisura o hundimientos		Corrosión avanzada	
	Falla por corte		Corrosión en acero		Elementos quebrados o sin algunos de estos		Fallo parcial/ Sin cubierta en alguna	
	Fallo por punzonamiento en		Pudrición/ ataque de insectos		Infiltración/ humedad en losa		Otro, explique	
	Otros, especifique:							
Observaciones								

Fig. 4.7 El tipo de Cubierta y Estructura de Techo se chequea en este apartado junto con los tipos de falla y/o daños en estos elementos.

1. En el tipo de cubierta se tiene en la lista la lámina tradicional (también llamada acanalada u ondulada), lámina de zinc-aluminio, lámina de asbesto cemento y la teja (tradicional de barro cocido) como los más comunes, si hay otro tipo se escribe en el espacio. Por conveniencia se puede colocar más de un material, por ejemplo en construcciones antiguas se coloca lámina tradicional y sobre esta teja (a veces con mortero para que no se deslice).
2. Las posibles fallas que puedan tener la cubierta de techo se colocan en la lista, también pueden chequearse más de una.
3. Entre las estructuras de soporte más comunes están la de madera (cuartones, costaneras, reglas, entre otros), acero (polín tridimensional y polín C como los habituales) y losa de concreto. Al igual se coloca un espacio si existe algún otro tipo no contemplado.

4. Las fallas o deficiencias comunes de la estructura de techo suceden cuando la cubierta tiene problemas de infiltraciones o de ataque de insectos en el caso de la madera, además de los que se mencionan en el listado.

○ *Otros tipos de daño*

Este apartado contempla primeramente los daños en conexiones, esto es, elementos de unión de viga-columna, además de otros elementos no estructurales que pueden verse afectados por un sismo o tienen deficiencias actuales.

OTROS TIPOS DE DAÑO					
DAÑOS EN CONEXIONES					
1	Placas			Fisuras en el concreto	
	Pernos o remaches			Uniones en madera	
	Soldadura			Otro, explique	
DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES					
2	Escalera interna/externa			Instalación hidráulica	
	Cielo falso			Paredes/divisiones	
	Ventanas/puertas			Muebles o elementos altos no anclados	
	Instalación eléctrica				
	Otros, especifique:				
Observaciones					

Fig. 4.8 En esta parte se muestra otros elementos como conexiones y elementos no estructurales que tienen algún nivel de daño.

1. Los tipos más comunes de conexión son en el caso de acero-acero o acero-concreto, las placas, pernos o remaches y soldadura. En elementos de concreto solamente se revisa las uniones si tienen alguna fisura; en el caso de la madera se generaliza “Uniones en madera” que pueden ser clavos, placas de arriostre, entre otros. Además estas conexiones describe el anclaje de la estructura de techo a los elementos de mampostería o pórticos.

2. En elementos no estructurales se tienen las escaleras, cielo falso, ventanas y/o puertas entre otras más.

- *ASPECTO GEOTECNICO*

Este Aspecto tiene dos elementos que lo conforman, el primero es el Suelo de Fundación y el otro son los Elementos Estructurales de Fundación. En construcciones de adobe y en los de ladrillo de barro de paredes de ancho mayor de treinta centímetros (30cm) las fundaciones son soleras corridas de piedra, siendo todos los de mampostería simple. En las construcciones que ocupan mampostería confinada puede tener soleras de concreto en aquellas elaboradas de un máximo de veinte años (20) de vida útil a la actualidad, si es de ese tiempo para atrás se construyeron sus fundaciones de piedra. En las construcciones de bloque de concreto se consideran fundadas con soleras de concreto reforzados por ser necesaria la colocación del refuerzo vertical.

- *Suelo de Fundación*

Este primer elemento geotécnico es de gran importancia y se detalla en la siguiente figura de la ficha su contenido:

SUELO DE FUNDACIÓN			
TIPO			
1	Arcilla	Limo	Limos arcilloso
	Granular	Roca	Otro, explique
PROBLEMAS GEOTECNICOS EN EL SUELO			
2	Nivel freático superficial	Licuefacción	
	Socavación	Vibraciones perceptibles en el suelo	
	Hundimiento diferencial	Otro, explique	
	Erosión		

Fig. 4.9 Se muestra la parte de la ficha correspondiente al tipo de suelo en la que esta plantada la estructura.

1. En este espacio se especifican algunos tipos de suelo en los que se pueda haber fundado la edificación, para respaldar la información se puede recurrir desde mapas geológicos, estudios de suelo realizados y la inspección visual.
2. En esta parte de la ficha se enlistan problemas que pueden tener suelos y afectan potencialmente al inmueble inspeccionado.

○ *Elementos Estructurales de Fundación*

Para detallar estos elementos se muestra en la figura 4.10 el desglose:

ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE FUNDACIÓN			
CIMENTACIÓN SUPERFICIAL			
Fundación tradicional	Piedra		
	Solera de fundación		
	Otros, especifique: _____		
CIMENTACIÓN PROFUNDA			
	Pilotes		
		Pilas	
Observaciones			

Fig. 4.10 En esta parte de la ficha se describe los Elementos Estructurales de Fundación.

1. Primeramente se coloca la cimentación superficial por ser la más común en las tipologías constructivas, siendo subdividida en fundación tradicional, como lo son las fundaciones con piedra y las soleras de fundación (de concreto reforzado), estos elementos también son conocidas como cimentación en fajas. Para sistemas estructurales de pórticos (de concreto o acero) su fundación es con zapatas, entre estas están: aisladas, corridas y losas de fundación. Si hay algún otro tipo de cimentación superficial, se puede describir en el espacio “Otros”.

2. Si el suelo de fundación es muy blando o el estrato capaz de soportar la carga del edificio no se logra alcanzar por métodos tradicionales de construcción, se ocupan las cimentaciones profundas de pilotes o pilas.

En cuanto a esta sección el análisis se refiere a los elementos estructurales de cimentación que contienen las edificaciones, no tanto así verificar las posibles fallas que estos elementos posean, debido a la complejidad que tiene esta verificación por ser elementos subterráneos. No obstante una edificación puede tener fallas en paredes o en cualquier elemento estructural, pero difícilmente lo podemos asociar a posibles fallas en la cimentación, es así que éstas fallas en éstas paredes y elementos sencillamente estarán asociadas al comportamiento propio de ellos mismos y no asociados directamente a fallas de los elementos estructurales de cimentación. Mas sin embargo estas fallas en las paredes y elementos estructurales podrían ser ocasionadas en algunos casos a una combinación de posibles fallas tanto en la cimentación como estos mismos elementos estructurales.

- *ASPECTO CONSTRUCTIVO*

El Aspecto Constructivo se aplica en su totalidad en la mampostería, dado que para sistemas constructivos con pórticos se ha detallado considerablemente en el aspecto estructural; por lo tanto, se divide en el tipo de mampostería utilizado y su calidad constructiva.



- *Tipo de Mampostería (si es aplicable)*

Un elemento construido con mampostería es aquel que se hace por subelementos unidos por algún ligante, esto es mortero.

TIPO DE MAMPOSTERÍA (SI ES APLICABLE)			
1	Adobe		Piedra
	Ladrillo de barro cocido		Otro, especifique
	Bloque de concreto		
Observaciones generales			

Fig. 4.11 Muestra una lista de los materiales comunes que se utilizan para construir paredes de mampostería.

1. Como un elemento no muy común se menciona la piedra en el caso de un muro de contención, además, de la piedra, los materiales con los que se fabrica la mampostería son en su mayoría: Adobe, ladrillo de barro cocido, bloques de concreto.

- *Calidad Constructiva (mampostería y acabados)*

En este espacio hay dos listas que detallan la calidad constructiva en la mampostería y en los acabados respectivamente.

CALIDAD CONSTRUCTIVA (MAMPOSTERÍA Y ACABADOS)			
ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA		ACABADOS	
1	Deformaciones visibles en elementos de	Pared con repello	2
	Incorrecta disposición de elementos de	Grietas perceptibles	
	Juntas Irregulares	Repello con grietas/ desprendimiento	
Otros, especifique:		Grietas diagonales y anchas, entre 1mm y	

Fig. 4.12 La calidad constructiva de la mampostería se detalla en esta sección.

1. Entre los procesos constructivos que perjudican directamente en una pared de mampostería son por la falta de supervisión en dichos procesos y la utilización de materiales con deficiencias en su calidad. El utilizar elementos de mampostería que tengan deformaciones visibles, la incorrecta disposición como lo es la colocación en serie de los elementos de mampostería y no cumplir con la separación mínima de las juntas entre elementos son algunos ejemplos de estas deficiencias en las componentes de mampostería.
  
2. En los acabados puede generarse en general grietas por la baja calidad del material utilizado, como también, por una falla en la pared llegando la grieta hasta el repello o cualquier otro acabado.

- *ASPECTO GEOMETRICO*

A continuación se muestran las partes de la Ficha de Evaluación para el Aspecto Geométrico en una edificación:

- *Características Generales de la Edificación*

Para iniciar el Aspecto Geométrico se contempla especificar parámetros generales que pudiesen afectar a la edificación, en la siguiente figura se muestran dichos parámetros:

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA EDIFICACIÓN											
1	DIMENSIONES GENERALES					ALTURA DE ENTREPISO			Nº de sótanos	2	
	Frente o ancho	<input type="text"/>	m	Fondo o largo(L)	<input type="text"/>	m	Regular	<input type="text"/>	Irregular		<input type="text"/>

Fig. 4.13 En esta parte de la ficha se detalla las Características Generales de la Edificación en su Aspecto Geométrico.

1. Las dimensiones generales serán las de la edificación en evaluación, si en el terreno existiera más de una construcción bien definida, se llenara una Ficha de Evaluación por cada una. El frente o ancho (A) se refiere a las dimensiones que colindan con la calle de acceso, el Fondo o largo (L) es la dimensión del frente hacia atrás del terreno.

La altura de entrepiso se detalló en el Aspecto Estructural, en esta parte se pide que se detalle si son regulares, o sea, no cambia su dimensión en todos los niveles; caso contrario que las alturas de entrepiso son irregulares se detalla con un check en el espacio correspondiente.

2. Si existen sótanos de cualquier tipo se tiene este espacio para colocar el número, en el caso de Ático o azotea, solamente se chequea.

- *Irregularidad en Planta*

La irregularidad de una edificación afecta directamente a los elementos estructurales, ocasionando fenómenos de torsión, volteo, entre otros. Otros casos son la distribución de las paredes que mejoran la resistencia si existe una buena repartición en el área y, los cambios de sistemas constructivos dado que en todas las tipologías su comportamiento estructural varía notablemente.

IRREGULARIDAD EN PLANTA			
1	Simétrico (L<3A)		Distribución de paredes mínima en
	Largo > 3 veces el		En "L" u otra tipo de geometría irregular
	Distribución de paredes en ambos sentidos por igual		Cambio de sistema constructivo en planta

Fig. 4.14 Muestra la sección de la ficha que tiene la información de la Irregularidad en Planta de la edificación evaluada.

1. Se da un listado de los fenómenos que la geometría de una edificación pudiese afectar en planta en la edificación

- *Irregularidad en Elevación*

Algunos de los efectos no deseables en una edificación por una geometría deficiente o que no considere en su diseño las derivaciones en la estructura en elevación son la columna corta, piso débil, entre otros. Las consideraciones en diseño pueden ser las mostradas en la figura 4.15, mostrada a continuación:

IRREGULARIDAD EN ELEVACIÓN			
1	Elementos estructurales y		Discontinuidad total en las paredes y elementos del
	Variación en dimensión y alineación de elementos		Cambio de sistema constructivo en

Fig. 4.15 Describe la Irregularidad en Elevación de la edificación evaluada.

- *ASPECTO DE ENTORNO*

Los elementos de entorno que influyen en la edificación son: Topografía, la Posición de la Edificación en la Manzana, el Estado de las Estructuras (Edificaciones) Aledañas y

Elementos (otro tipo de estructuras) de Entorno. Cada uno se describe en los siguientes párrafos:

- *Topografía*

El relieve del terreno influye directamente en el método empleado en la cimentación, y de la misma manera las inclemencias climáticas pueden ser devastadoras en pendientes pronunciadas si no se tienen obras de mitigación en taludes cercanos o en áreas extensas sin drenaje eficiente; en forma global la topografía se ha desglosado de la siguiente manera:

TOPOGRAFÍA						
1	Ladera de cerro/volcán	<input type="checkbox"/>	Rivera de río/mar/lago	<input type="checkbox"/>	Planicie	<input type="checkbox"/>
	Zona costera	<input type="checkbox"/>	Quebrada	<input type="checkbox"/>	cerro/volcán	<input type="checkbox"/>
Otros, especifique: _____						
2	PENDIENTE DEL TERRENO					
	% < 10°	<input type="checkbox"/>	10° <% < 30°	<input type="checkbox"/>	30° < %	<input type="checkbox"/>
	TALUDES (SI ES APLICABLE)					
3	Sin obra de protección		<input type="checkbox"/>	Mínima protección		<input type="checkbox"/>

Fig. 4.16 El entorno topográfico se recaba en esta sección de la ficha.

1. En primera instancia se presenta una serie de relieves de terreno, sino se describe la que se ajuste al área de construcción, se puede especificar en otros.
2. La pendiente del terreno se especifica en los tres rangos mostrados, colocando el check en el observado.

3. Si la pendiente es pronunciada en las inmediaciones de la edificación, se debe observar si tiene alguna obra de protección (muros de contención, drenaje adecuado, entre otros).

○ *Posición de la Edificación en la Manzana*

Este parámetro describe si existe la posibilidad de movimientos de edificaciones vecinas que afecten directamente al inmueble evaluado

1	POSICIÓN DE LA EDIFICACIÓN EN LA MANZANA					
	Intermedia		Esquina		Aislada	

Fig. 4.17 Muestra la Posición de la Edificación en la Manzana.

1. En las primeras dos (Intermedia y Esquina) se tienen edificaciones cercanas, no mayor de 10cm de separación entre ellas. En Aisladas se refiere a aquellas que tienen una separación amplia entre edificaciones o literalmente está aislada y no hay edificaciones cercanas.

○ *Estado de Edificaciones Aledañas*

Si existen edificaciones aledañas, en este espacio se debe detallar si existe algún tipo de daño en ellas, dado que la edificación evaluada puede ser afectada si hubiese un sismo que desplome la construcción vecina.

1	ESTADO DE EDIFICACIONES ALEDAÑAS			
	Fisuras perceptibles		Presenta asentamiento	
	Severamente dañada			

Fig. 4.18 Se debe detallar lo concerniente con las edificaciones vecinas y su estado en esta parte.

1. Entre los daños o fallas que pueden tener edificaciones aledañas están: Fisuras perceptibles, Severamente dañada y la Presencia de asentamiento (inclinación de la edificación aledaña.

○ *Elementos de Entorno*

Los elementos de entorno representan las estructuras próximas a la edificación.

ELEMENTOS DE ENTORNO						
1	Postes de electricidad/telecomunicación/Transformador	<input type="checkbox"/>	Tanques/cisterna	<input type="checkbox"/>	Árboles	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	Torres/publicitaria	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Fig. 4.19 Los elementos que estén cercanos a la edificación corresponden a esta sección y se chequean.

1. Las potenciales causas de daños son si estuviesen en malas condiciones por la falta de mantenimiento en postes de electricidad, alumbrado público y telecomunicaciones; en la lista además de otros elementos de entorno, se puede colocar en “Otros” alguno no contemplado.

### Validación de la Ficha de Evaluación

Para utilizar definitivamente la Ficha de Evaluación se realiza un procedimiento de validación, esto es, el proceso en el que se verifica si la ficha al final pondera la vulnerabilidad de la edificación de una manera consistente, esto se realiza evaluando algunas edificaciones que presenten los tres tipos de vulnerabilidades baja media y alta.

Otra manera de validación es la opinión de personas con experiencia en evaluación de edificios (EXPERTOS)

En la elaboración de la ficha de evaluación se puede tener el recurso de un diseñador gráfico que optimice los espacios de las hojas sin despreciar ningún parámetro técnico evaluativo. De preferencia también se puede recurrir a un Ingeniero en Sistemas para que el proceso sea en una hoja de datos, como en Microsoft Excel u otro similar, con el fin, si los recursos son suficientes, de realizar una base de datos que las organizaciones puedan consultar de forma accesible y veraz.

#### Ponderaciones de Ficha de Evaluación

La Ficha de Evaluación establece parámetros que darán un nivel de vulnerabilidad en la edificación, por lo tanto cada parámetro debe tener una ponderación o calificación que al sumarse se obtenga una cuantificación cualitativa del daño actual de la edificación y se pueda dar una predicción de su comportamiento ante un sismo futuro.

Al tener la evaluación de una edificación finalizada, se tiene la siguiente pregunta: ¿la estimación que surge de la ficha es correspondiente a una apreciación realizada por el evaluador de campo?



Para iniciar, la forma de calificar es de la siguiente manera: se tiene una global del 100% que se distribuye en los cinco Aspectos evaluados, de la misma manera cada Aspecto tiene sus propios parámetros evaluativos que deben tener una calificación, por lo tanto se volvió a distribuir la valoración del Aspecto en cada uno de los parámetros que la conforman.

Como la parte más pequeña de la Ficha de Evaluación se tiene en algunos casos listados de materiales y daños, que tienen la característica de ser multiselección, por consiguiente se distribuye la calificación del parámetro en las listas que tiene en su contenido.

Para los cinco Aspectos se establece las siguientes ponderaciones:

**Tabla 4.1. Ponderaciones globales de los aspectos evaluativos de la ficha.**

<i>ASPECTO</i>	<i>Ponderación</i>
<i>Aspecto Estructural:</i>	<i>52%</i>
<i>Aspecto Geotécnico:</i>	<i>20%</i>
<i>Aspecto Constructivo:</i>	<i>12%</i>
<i>Aspecto Geométrico:</i>	<i>10%</i>
<i>Aspecto de Entorno:</i>	<i>6%</i>
<i>TOTAL:</i>	<i>100%</i>

Cada Aspecto tiene sus propias consideraciones que son descritas a continuación, junto con las ponderaciones internas que se establecieron.

- *ASPECTO ESTRUCTURAL*

Este es el Aspecto más importante por lo que tiene una ponderación del 52% (cincuenta y dos) y tiene siete parámetros que lo conforman. La característica principal es la diversidad de las tipologías constructivas junto con los niveles que tiene la edificación, por lo que se detallaron tres posibles casos que son superados al establecer una calificación por cada uno, sin la necesidad de cambiar de Ficha de Evaluación. Para todos los casos las Generalidades Estructurales no cambia su puntuación y se mantiene como un parámetro inicial de evaluación, siendo un elemento condicional para los siguientes parámetros al programar internamente la Ficha de Evaluación en cada caso.

El primer caso (Caso A) es el de una construcción de un nivel, entonces se omite una calificación a los elementos que sean columnas, vigas y entrepisos como también todo parámetro relacionado con una edificación de más de dos niveles constructivos. El segundo caso (Caso B) si incluye entrepisos para edificaciones de más de un nivel, con paredes de mampostería o madera, pero omite columnas y vigas, por lo que son entrepisos de áreas pequeñas que no necesiten vigas intermedias. El último caso (Caso C) incluye construcciones que contengan columnas y vigas, por lo que puede ser en pórticos o en mampostería reforzada.

A continuación se detallan las ponderaciones en los parámetros contenidos en el Aspecto Estructural, inicialmente las Generalidades Estructurales y luego los casos antes mencionados:

- GENERALIDADES ESTRUCTURALES: 7%
  - ✓ Número de Niveles: elemento condicionante, no contiene calificación.
  - ✓ Altura de Entrepiso: elemento condicionante, no contiene calificación.

**Tabla 4.2: Ponderaciones del aspecto estructural: generalidades estructurales.**

<b>✓ SISTEMA CONSTRUCTIVO: 2%.</b>	
<i>Mampostería simple: 1%.</i>	<i>Pórticos de acero/concreto: 0.2%.</i>
<i>Mampostería confinada: 0.5%.</i>	<i>Otro: 0.1%.</i>
<i>Mampostería reforzada: 0.2%.</i>	--
<b>✓ TIPO DE CONSTRUCCIÓN: 1%</b>	
<i>Diseño estructural: 0.3%</i>	<i>Auto construcción: 0.7%</i>
<b>✓ CARACTERÍSTICAS ACTUALES DE LA EDIFICACIÓN: 1%.</b>	
▪ <i>Construcción original: 0.1%.</i>	▪ <i>Remodelada: 0.3%.</i>
▪ <i>Reconstrucción: 0.1%.</i>	▪ <i>Adaptada: 0.3%.</i>
▪ <i>Reparada: 0.1%.</i>	▪ <i>Restauración: 0.1%.</i>
<b>✓ REMODELADA: 1%</b>	
▪ <i>Colocación de elementos no estructurales: 0.2%</i>	▪ <i>Cambio de sistema constructivo: 0.2%</i>
▪ <i>Cambio de elementos no estructurales: 0.2%</i>	▪ <i>Otro: 0.2%</i>
▪ <i>Cambio de elementos estructurales: 0.2%</i>	--
<b>✓ REPARACIÓN: 1%</b>	
▪ <i>Reparación de elementos estructurales: 0.2%</i>	▪ <i>Mantenimiento correctivo: 0.2%</i>

▪ <i>Reparación de elementos no estructurales: 0.2%</i>	▪ <i>Otro: 0.2%</i>
▪ <i>Mantenimiento preventivo: 0.2%</i>	--
✓ ADAPTADO: 1%	
▪ <i>Aberturas en paredes para puertas y/o ventanas: 0.2%</i>	▪ <i>Cierre de espacios libre: 0.1%</i>
▪ <i>Eliminación de paredes: 0.2%</i>	▪ <i>Discontinuidad/ eliminación de elementos estructurales: 0.2%</i>
▪ <i>Aumento de paredes: 0.1%</i>	▪ <i>Otro: 0.1%.</i>
▪ <i>Aumento de niveles: 0.1%</i>	--

#### CASO A

**Tabla 4.3. Ponderaciones del aspecto estructural: caso A**

□ MUROS (PAREDES): 22%	
✓ TIPO: 6%	
▪ <i>Portante: 4%</i>	▪ <i>No portante: 2%</i>
✓ MATERIAL: 6%	
▪ <i>Mampostería: 3%</i>	▪ <i>Madera: 1%</i>
▪ <i>Concreto: 1%</i>	▪ <i>Otro: 1%</i>
✓ EXISTEN MÁS DE 2 MATERIALES: 3%	
▪ <i>En planta: 1%</i>	▪ <i>En elevación 2%</i>
✓ TIPOS DE FALLA Y/O DAÑOS: 7%	
▪ <i>Falla por cortante: 3%</i>	▪ <i>Falla por volteo: 1%</i>
▪ <i>Separación de unión de paredes perpendiculares: 1%</i>	▪ <i>Otros: 1%</i>
▪ <i>Pudrición/ ataque de insectos: 1%</i>	--

<input type="checkbox"/> ESTRUCTURA DE TECHO Y CUBIERTA: 13%	
<input checked="" type="checkbox"/> TIPO DE ESTRUCTURA DE TECHO: 2%	
▪ Estructura de madera: 0.75%	▪ Estructura de acero: 0.25%
▪ Losa: 0.5%	▪ Otro: 0.5%
<input checked="" type="checkbox"/> TIPOS DE FALLA Y/O DAÑOS: 2%	
▪ Falla por flexión: 0.4%	▪ Corrosión en acero: 0.1%
▪ Falla por cortante: 0.4%	▪ Pudrición/ ataque de insectos: 0.5%
▪ Falla por punzonamiento en losa: 0.1%	▪ Otros: 0.4%
▪ Pandeo en elementos: 0.1%	--
<input checked="" type="checkbox"/> TIPO DE CUBIERTA: 7%	
▪ Lámina tradicional: 2%.	▪ Teja: 2%.
▪ Lámina de zinc aluminio: 1%.	▪ Otro: 1%.
▪ Lámina de asbesto cemento: 1%.	--
<input checked="" type="checkbox"/> TIPOS DE DAÑO EN CUBIERTA: 2%	
▪ Fisura o hundimientos: 0.6%.	▪ Corrosión avanzada: 0.2%.
▪ Elementos quebrados o sin alguno de estos: 0.2%.	▪ Fallo parcial/ sin cubierta en alguna(s) zona(s): 0.6%.
▪ Infiltración/ humedad en losa: 0.2%.	▪ Otros: 0.2%
<input type="checkbox"/> OTROS TIPOS DE DAÑO: 10%	
<input checked="" type="checkbox"/> DAÑOS EN CONEXIONES: 3%	
▪ Placas: 0.5%.	▪ Fisura en concreto: 0.5%.
▪ Pernos o remaches: 0.5%.	▪ Uniones en madera: 0.5%.
▪ Soldadura: 0.5%.	▪ Otro: 0.5%.

✓ DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES: 7%	
▪ Escalera interna/ externa: 1.5%	▪ Instalación hidráulica: 1%
▪ Cielo falso: 1%	▪ Paredes/ divisiones: 0.5%
▪ Ventanas/ puertas: 0.5%	▪ Muebles o elementos altos no anclados: 1%
▪ Instalación eléctrica: 1%	▪ Otros: 0.5%

## CASO B

Tabla 4.4. Ponderaciones del aspecto estructural: caso B

□ MUROS (PAREDES): 15%	
✓ TIPO: 5%	
▪ Portante: 3.5%	▪ No portante: 1.5%
✓ MATERIAL: 3%	
▪ Mampostería: 1%	▪ Madera: 1%
▪ Concreto: 0.5%	▪ Otro: 0.5%
✓ EXISTEN MÁS DE 2 MATERIALES: 3%	
▪ En Planta: 1%	▪ En Elevación 2%
✓ TIPOS DE FALLA Y/O DAÑOS: 4%	
▪ Falla por cortante: 2%	▪ Falla por volteo: 0.5%
▪ Separación de unión de paredes perpendiculares: 0.5%	▪ Pudrición/ ataque de insectos: 0.5%
	▪ Otros: 0.5%
□ ESTRUCTURA DE TECHO Y CUBIERTA: 12%	
✓ -TIPO DE ESTRUCTURA DE TECHO: 2%	
▪ Estructura de madera: 0.75%	▪ Estructura de acero: 0.5%

▪ Losa: 0.25%	▪ Otro: 0.5%
✓ TIPOS DE FALLA Y/O DAÑOS: 2%	
▪ Falla por flexión: 0.4%	▪ Corrosión en acero: 0.2%
▪ Falla por cortante: 0.4%	▪ Pudrición/ ataque de insectos: 0.4%
▪ Falla por punzonamiento en losa: 0.2%	▪ Otros: 0.2%
▪ Pandeo en elementos: 0.2%	
✓ TIPO DE CUBIERTA: 6%	
▪ Lámina tradicional: 1.25%.	▪ Teja: 2%.
▪ Lámina de zinc aluminio: 0.75%.	▪ Otro: 1%.
▪ Lámina de asbesto cemento: 1%.	
✓ TIPOS DE DAÑO EN CUBIERTA: 2%	
▪ Fisura o hundimientos: 0.6%.	▪ Corrosión avanzada: 0.2%.
▪ Elementos quebrados o sin alguno de estos: 0.2%.	▪ Fallo parcial/ sin cubierta en alguna(s) zona(s): 0.6%.
▪ Infiltración/ humedad en losa: 0.2%.	▪ Otros: 0.2%.
□ OTROS TIPOS DE DAÑO: 10%	
✓ DAÑOS EN CONEXIONES: 3%	
▪ Placas: 0.5%.	▪ Fisura en concreto: 0.5%.
▪ Pernos o remaches: 0.5%.	▪ Uniones en madera: 0.5%.
▪ Soldadura: 0.5%.	▪ Otro: 0.5%.
✓ DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES: 7%	
▪ Escalera interna/ externa: 1.5%	▪ Instalación hidráulica: 1%
▪ Cielo falso: 1%	▪ Paredes/ divisiones: 0.5%
▪ Ventanas/ puertas: 0.5%	▪ Muebles o elementos altos no anclados: 1%

▪ <i>Instalación eléctrica: 1%</i>	▪ <i>Otros: 0.5%</i>
<b>□ ENTREPISO: 8%</b>	
✓ TIPO: 4%	
▪ <i>Losa densa: 0.5%</i>	▪ <i>Entrepiso de acero: 0.5%</i>
▪ <i>Losa aligerada: 1%</i>	▪ <i>Otro: 1%</i>
▪ <i>Entrepiso de madera: 1%</i>	
✓ TIPOS DE FALLA Y/O DAÑOS: 4%	
▪ <i>Falla por flexión: 1%</i>	▪ <i>Efecto de fluorescencia: 0.5%</i>
▪ <i>Falla por punzonamiento: 0.5%</i>	▪ <i>Pudrición/ ataque de insectos: 0.5%</i>
▪ <i>Falla en tensión perimetral (acero visto): 0.25%</i>	▪ <i>Loseta de entrepiso con hundimientos: 0.5%</i>
▪ <i>Corrosión en acero: 0.5%</i>	▪ <i>Otro: 0.25%</i>

## CASO C

Tabla 4.5. Ponderaciones del aspecto estructural: caso C

<b>□ MUROS (PAREDES): 12%</b>	
✓ TIPO: 5%	
▪ <i>Portante: 3.5%</i>	▪ <i>No portante: 1.5%</i>
✓ MATERIAL: 3%	
▪ <i>Mampostería: 1.5%</i>	▪ <i>Madera: 0.5%</i>
▪ <i>Concreto: 0.5%</i>	▪ <i>Otro: 0.5%</i>
✓ EXISTEN MÁS DE 2 MATERIALES: 2%	
▪ <i>En Planta: 1%</i>	▪ <i>En Elevación: 1%</i>
✓ TIPOS DE FALLA Y/O DAÑOS: 2%	



▪ <i>Falla por Cortante: 0.4%</i>	▪ <i>Falla por Volteo: 0.4%</i>
▪ <i>Separación de unión de paredes perpendiculares: 0.4%</i>	▪ <i>Pudrición/ ataque de insectos: 0.4%</i>
▪ <i>Otros: 0.4%</i>	
<b>□ ESTRUCTURA DE TECHO Y CUBIERTA: 7%</b>	
<b>✓ TIPO DE ESTRUCTURA DE TECHO: 2%</b>	
▪ <i>Estructura de madera: 0.75%</i>	▪ <i>Estructura de acero: 0.2%</i>
▪ <i>Losa: 0.4%</i>	▪ <i>Otro: 0.65%</i>
<b>✓ TIPOS DE FALLA Y/O DAÑOS: 1%</b>	
▪ <i>Falla por flexión: 0.15%</i>	▪ <i>Corrosión en acero: 0.1%</i>
▪ <i>Falla por cortante: 0.15%</i>	▪ <i>Pudrición/ ataque de insectos: 0.2%</i>
▪ <i>Falla por punzonamiento en losa: 0.1%</i>	▪ <i>Otros: 0.2%</i>
▪ <i>Pandeo en elementos: 0.1%</i>	
<b>✓ TIPO DE CUBIERTA: 3%</b>	
▪ <i>Lámina tradicional: 0.7%.</i>	▪ <i>Teja: 1%.</i>
▪ <i>Lámina de zinc aluminio: 0.3%.</i>	▪ <i>Otro: 0.5%.</i>
▪ <i>Lámina de asbesto cemento: 0.5%.</i>	
<b>✓ TIPOS DE DAÑO EN CUBIERTA: 1%</b>	
▪ <i>Fisura o hundimientos: 0.3%.</i>	▪ <i>Corrosión avanzada: 0.1%.</i>
▪ <i>Elementos quebrados o sin alguno de estos: 0.1%.</i>	▪ <i>Fallo parcial/ sin cubierta en alguna(s) zona(s): 0.3%.</i>
▪ <i>Infiltración/ humedad en losa: 0.1%.</i>	▪ <i>Otros: 0.1%.</i>
<b>□ OTROS TIPOS DE DAÑO: 6%</b>	
<b>✓ DAÑOS EN CONEXIONES: 2%</b>	
▪ <i>Placas: 0.4%.</i>	▪ <i>Fisura en concreto: 0.4%.</i>

▪ Pernos o remaches: 0.4%	▪ Uniones en madera: 0.4%
▪ Soldadura: 0.4%	▪ Otro: 0.4%
<b>✓ DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES: 4%</b>	
▪ Escalera interna/ externa: 1%	▪ Instalación hidráulica: 0.4%
▪ Cielo falso: 0.4%	▪ Paredes/ divisiones: 0.4%
▪ Ventanas/ puertas: 0.4%	▪ Muebles o elementos altos no anclados: 0.75%
▪ Instalación eléctrica: 0.4%	▪ Otros: 0.25%
<b>□ ENTREPISO: 6%</b>	
<b>✓ TIPO: 3%</b>	
▪ Losa densa: 0.35%	▪ Entrepiso de acero: 0.35%
▪ Losa aligerada: 0.75%	▪ Otro: 0.8%
▪ Entrepiso de madera: 0.75%	
<b>✓ TIPOS DE FALLA Y/O DAÑOS: 3%</b>	
▪ Falla por flexión: 0.7%	▪ Efecto de fluorescencia: 0.4%
▪ Falla por punzonamiento: 0.3%	▪ Pudrición/ ataque de insectos: 0.4%
▪ Falla en tensión perimetral (acero visto): 0.2%	▪ Loseta de entrepiso con hundimientos: 0.4%
▪ Corrosión en acero: 0.4%	▪ Otro: 0.2%
<b>□ VIGAS: 7%</b>	
<b>✓ MATERIAL: 3.5%</b>	
▪ Acero: 0.5%	▪ Madera: 2%
▪ Concreto: 0.5%	▪ Otro: 0.5%
<b>✓ TIPOS DE FALLA Y/O DAÑO: 3.5%</b>	
▪ Falla por flexión: 0.5%	▪ Efecto de fluorescencia: 0.25%

▪ <i>Falla por cortante: 0.5%</i>	▪ <i>Pandeo en elementos: 0.5%</i>
▪ <i>Falla por torsión: 0.25%</i>	▪ <i>Pudrición/ ataque de insectos: 0.5%</i>
▪ <i>Corrosión en acero: 0.5%</i>	▪ <i>Otro: 0.5%</i>
<b>□ COLUMNAS: 7%</b>	
<b>✓ MATERIAL: 3%</b>	
▪ <i>Concreto: 0.5%</i>	▪ <i>Mampostería: 0.75%</i>
▪ <i>Acero: 0.5%</i>	▪ <i>Otro: 0.25%</i>
▪ <i>Madera: 1%</i>	
<b>✓ TIPOS DE FALLA Y/O DAÑO: 4%</b>	
▪ <i>Falla por cortante: 0.5%</i>	▪ <i>Corrosión en acero: 0.5%</i>
▪ <i>Falla por flexo-compresión: 0.6%</i>	▪ <i>Falla por aplastamiento: 0.7%</i>
▪ <i>Falla por torsión: 0.5%</i>	▪ <i>Pudrición/ ataque de insectos: 0.7%</i>
▪ <i>Pandeo en elementos: 0.5%</i>	▪ <i>Otro: 0.5%</i>
▪ <i>Efecto de fluorescencia: 0.25%</i>	

- **ASPECTO GEOTÉCNICO**

Con el 20% (veinte) en el Aspecto Geotécnico es importante tener información relevante de la geología del área de estudio o en mejor circunstancia, realizar pruebas SPT para determinar propiedades del suelo de fundación. De la misma manera se debe reconocer las tipologías constructivas y los tipos de estructuras de fundación que en cada uno prevalece. Con esta información inicial se colocan los elementos más comunes en los parámetros que evalúan la geotecnia de la estructura, quedando las ponderaciones de la siguiente manera:

**Tabla 4.6. Ponderaciones del Aspecto Geotécnico.**

<b>☐ SUELO DE FUNDACIÓN: 11 %</b>	
<b>✓ TIPO DE SUELO: 5%.</b>	
▪ <i>Arcilla: 1.5%</i>	▪ <i>Roca: 0.25%</i>
▪ <i>Granular: 1%</i>	▪ <i>Limo arcilloso: 1%</i>
▪ <i>Limo: 0.75%</i>	▪ <i>Otros: 0.5%</i>
<b>✓ PROBLEMAS GEOTÉCNICOS EN EL SUELO: 6%</b>	
▪ <i>Socavación: 0.75%</i>	▪ <i>Licuação: 1.25%</i>
▪ <i>Nivel freático superficial: 1.25%</i>	▪ <i>Vibraciones perceptibles en el suelo: 1.25%</i>
▪ <i>Hundimiento diferencial: 0.75%</i>	▪ <i>Otro: 0.5%</i>
▪ <i>Erosión: 0.25%</i>	
<b>☐ ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE FUNDACIÓN: 9%</b>	
<b>✓ CIMENTACIÓN SUPERFICIAL: 6%.</b>	
▪ <i>Fundación tradicional de piedra: 1.5%</i>	▪ <i>Zapatas corridas: 1%</i>
▪ <i>Fundación tradicional de solera (concreto reforzado): 0.75%</i>	▪ <i>Losas de fundación: 0.5%</i>
▪ <i>Zapatas aisladas: 1.5%</i>	▪ <i>Otro: 0.75%</i>
<b>✓ CIMENTACIÓN PROFUNDA: 3%.</b>	
▪ <i>Pilotes: 2%</i>	▪ <i>Pilas: 1%</i>

- **ASPECTO CONSTRUCTIVO**

Las ponderaciones que se establecieron en este Aspecto se aplican a la mampostería, que en el país son usuales con sistemas constructivos y procesos similares, las ponderaciones son de la siguiente manera:

**Tabla 4.7. Ponderaciones del Aspecto Constructivo.**

<b>□ TIPO DE MAMPOSTERÍA: 4%</b>	
▪ <i>Adobe: 1.5%</i>	▪ <i>Piedra: 0.6%</i>
▪ <i>Ladrillo de barro cocido: 0.6%</i>	▪ <i>Otro: 1%</i>
▪ <i>Bloque de concreto: 0.3%</i>	
<b>□ CALIDAD CONSTRUCTIVA (MAMPOSTERÍA Y ACABADOS): 8%</b>	
<b>✓ ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA: 4%.</b>	
▪ <i>Deformaciones visibles en elementos de mampostería: 1.4%</i>	▪ <i>Juntas irregulares: 1.2%</i>
▪ <i>Incorrecta disposición de elementos de mampostería: 1.4%</i>	
<b>✓ ACABADOS: 4%.</b>	
▪ <i>Pared con repello: 0.25%</i>	▪ <i>Grietas diagonales y anchas, entre 1mm y 3mm: 1.5%</i>
▪ <i>Grietas perceptibles en acabado: 0.75%</i>	▪ <i>Otros: 0.5%</i>
▪ <i>Repello con grietas y desprendimiento: 1%</i>	

- **ASPECTO GEOMETRICO**

Los elementos geométricos de las edificaciones se han calificado en mayor porcentaje a aquellos que afecten en gran medida la estructura, las ponderaciones son:

Tabla 4.8. Ponderaciones del Aspecto Geométrico.

<b>☐ CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA EDIFICACIÓN: 1%</b>	
✓ Dimensiones Generales: elemento condicionante, no contiene calificación. Al igual que el espacio para el N° de Sótanos y si existe Ático/ Azotea.	
✓ ALTURA DE ENTREPISO: 1%	
▪ Regular: 0.3%	▪ Irregular: 0.7%
✓ IRREGULARIDAD EN PLANTA: 5%	
▪ Simétrico: 0.25%	▪ Distribución de paredes mínima en una dirección: 1.5%
▪ Irregular, $L < 3A$ : 1.25%	▪ En "L" u otro tipo de geometría irregular: 1.25%
▪ Distribución de paredes en ambos sentidos por igual: 0.25%	▪ Cambio de sistema constructivo en planta: 0.5%
✓ IRREGULARIDAD EN ELEVACIÓN: 4%	
▪ Elementos estructurales y paredes son continuos: 0.3%	▪ Discontinuidad total en paredes y elementos de entrepiso: 2%
▪ Variación en dimensión y alineación en elementos estructurales: 0.7%	▪ Cambio de sistema constructivo en elevación: 1%

- *ASPECTO DE ENTORNO*

En las ponderaciones del Aspecto de Entorno cada parámetro se analiza desde el punto que fuera más perjudicial para la edificación. En este caso la topografía y los elementos de entorno tienen una mayor ponderación.

**Tabla 4.9. Ponderaciones del aspecto de entorno.**

✓ TOPOGRAFÍA: 2%	
▪ <i>Ladera de cerro/ volcán: 0.5%</i>	▪ <i>Planicie: 0.1%</i>
▪ <i>Zona costera: 0.1%</i>	▪ <i>Falda de cerro/ volcán: 0.2%</i>
▪ <i>Rivera de rio/ lago/ mar: 0.5%</i>	▪ <i>Otro: 0.1%</i>
▪ <i>Quebrada: 0.5%</i>	
✓ PENDIENTE DEL TERRENO. 0.3%	
▪ <i>% &lt; 10°: 0.05%</i>	▪ <i>30° &lt; %: 0.15%</i>
▪ <i>10° &lt; % &lt; 30°: 0.1%</i>	
✓ TALUD (SI ES APLICABLE): 0.2%	
▪ <i>Sin obra de protección: 0.15%</i>	▪ <i>Mínima protección: 0.05%</i>
✓ POSICIÓN DE LA EDIFICACIÓN EN LA MANZANA: 0.75%	
▪ <i>Intermedia: 0.35%</i>	▪ <i>Aislada: 0.1%</i>
▪ <i>Esquina: 0.3%</i>	
✓ ESTADO DE EDIFICACIONES ALEDAÑAS: 0.75%	
▪ <i>Fisuras perceptibles: 0.15%</i>	▪ <i>Presenta asentamientos: 0.3%</i>
▪ <i>Severamente dañada: 0.3%</i>	

✓ ELEMENTOS DE ENTORNO: 2%	
▪ <i>Postes de electricidad/ telecomunicación/ transformadores: 0.3%</i>	▪ <i>Torres/ antenas: 0.3%</i>
▪ <i>Valla publicitaria: 0.4%</i>	▪ <i>Árboles de gran tamaño: 0.3%</i>
▪ <i>Tanques/ cisternas elevados: 0.4%</i>	▪ <i>Otros: 0.2%</i>

### Factores de Ajuste

En muchos casos se obtiene información de ocurrencias a la edificación de carácter no sísmico, como lo son las inundaciones, colisión de vehículos en la edificación, carga vehicular considerable en vía, abandono, entre otros, que inciden en alguna medida con el estado actual de la edificación; también el parámetro por año de construcción se añade en esta última fase de calificación y se ha establecido por rangos de años entre sismos ocurridos de magnitud considerable en el país, por lo tanto en esta metodología se suman estos factores de ajuste y hace que afecte directamente los cinco aspectos evaluados (Estructural, Geotécnico, Constructivo, Geométrico y de Entorno) por lo tanto, se consideran los siguientes factores: Año de Construcción, Mantenimiento, Fenómenos no sísmicos y Carga Vehicular. En estos parámetros solamente se chequea un espacio en cada uno y se suman para obtener el factor de ajuste, a continuación se muestra los factores y sus valores:



FACTORES DE AJUSTE		
Año de construcción		
1	2002-	0
	1987-2001	0,2
	1951-1986	0,4
	1901-1950	0,6
	-1900	0,8
Mantenimiento		
2	regular	0,03
	deficiente	0,06
	abandonado	0,1
Por fenomenos no sismicos		
3	Medio	0,05
	Severo	0,1
Carga vehicular		
4	Perceptible	0,1

Figura 4.20 Valores concernientes a los Factores de Ajuste de cada edificación evaluada.

1. El Año de Construcción nos da un parámetro de los sismos que han afectado la edificación como también de la vida útil de esta, en el caso de los factores de ajuste para cada rango en cuanto al año de construcción, se establecen los limites después de la ocurrencia de un sismo que haya afectado considerablemente la zona en estudio, en el caso de los dos más recientes en el año 2001 se referirá a los construidos después de estos sismos, por lo que su valor es cero (0), de la misma manera los siguientes rangos son los que aparecen en la figura 4.20 junto con sus valores.
2. El factor de mantenimiento se refiere en dado caso a la atención que los dueños o encargados han tenido a través de los años a la edificación y su mantenimiento. En algunos casos se ha abandonado la edificación por lo que no hay personas que cambien daños ocurridos en el techo (estructura y cubierta), pintura que

impermeabilice de efectos climáticos en las paredes (sol y lluvia), entre otros fenómenos que aunque sean pequeños, a lo largo de varios años, perturban la edificación y sus componentes. En el caso de observar que el mantenimiento es óptimo, no se chequea ningún espacio.

3. En los Fenómenos no Sísmicos se encuentran lluvias torrenciales que conjuntamente con un mantenimiento precario o abandono de la edificación afecta en gran medida la estructura. Además con información de dueños o encargados se puede saber si ha ocurrido inundaciones, colisión de vehículos en la edificación, entre otros. Si el fenómeno ha dañado severamente alguna parte de la estructura se chequea dicho espacio, si es daño medio, el espacio correspondiente a este, si no hay ninguna ocurrencia de dichos fenómenos no se debe chequear los espacios.
4. Como muchas ciudades, la mancha urbana crece sin control y en cadena el comercio y las vías principales; la carga vehicular es un parámetro que no se toma en cuenta en diseños estructurales por lo que se valora en este estudio. Si no hay dicha carga vehicular no se chequea el espacio.

El Factor de Ajuste es la suma de estos parámetros, se muestra de esta manera:

$$\text{Factor de Ajuste} = \text{Año de Construcción} + \text{Mantenimiento} + \text{Fenómenos no Sísmicos} + \text{Carga Vehicular}$$

Ecuación 4.2 Fórmula para obtener el Factor de Ajuste de la vulnerabilidad de la edificación evaluada.

#### 4.5 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD

Para determinar cuan vulnerable es una edificación se tienen las ponderaciones de los Aspectos Evaluativos y el Factor de Ajuste como las cuantificaciones que nos indicarán el Grado de Vulnerabilidad, el producto del Factor de ajuste con cada Aspecto da el Grado de Vulnerabilidad por Aspecto Evaluativo, y la suma de estos productos, el grado de Vulnerabilidad Global de la Edificación. En forma de ecuación se muestra a continuación:

$$\text{Vulnerabilidad de Aspecto} = \text{Aspecto} * \text{Factor de Ajuste}$$

Ecuación 4.3 Fórmula para la Vulnerabilidad de un Aspecto Evaluativo.

$$\text{Vulnerabilidad Global de la Edificación} = \Sigma (\text{Aspecto} * \text{Factor de Ajuste})$$

Ecuación 4.4 Vulnerabilidad Global de la Edificación se obtiene por medio de esta fórmula.

Dado que se utiliza una metodología Cualitativa se utilizan los términos de Vulnerabilidad Media, Vulnerabilidad Media y Vulnerabilidad Alta, tanto en la edificación de forma global como en cada Aspecto Evaluado y se establecen los límites entre los términos por medio de rango de ponderaciones como el que sigue:

- Vulnerabilidad Baja: desde 0% hasta un 30%
- Vulnerabilidad Media: desde un 30% hasta un 60%
- Vulnerabilidad Alta: del 60% en adelante.

Esto es, aquellas edificaciones que se encuentren en determinado rango, resultado de las formulas 4.2, 4.3 y 4.4, tienen un grado de vulnerabilidad concerniente a ese valor. Al tener todas las edificaciones evaluadas se pueden contabilizar aquellas que caen en cada grado de vulnerabilidad, como también los Aspectos Evaluativos que tengan como factor común alguna deficiencia u otro parámetro que tenga una frecuencia determinada en las edificaciones.

#### **4.6 TECNICA DE EVALUACIÓN EN CAMPO.**

##### **4.6.1. Procedimiento de Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones**

Para la evaluación de las edificaciones es necesario verificar anticipadamente los insumos con que se cuentan, es decir, los instrumentos (material y equipo) y la preparación adecuada del equipo o grupo evaluador, además de contar con una ruta de evaluación.

De manera ordenada se presenta a continuación un itinerario del procedimiento que se puede seguir para la evaluación individual de las edificaciones:

- ✓ Llegar al inmueble previamente identificado en el plano de ubicación y el equipo evaluador debidamente identificado, de manera posible con EPP, y con su respectiva identificación (con gafete de identificación de la entidad que representa), esto para presentación y confiabilidad del propietario del inmueble.

- ✓ Presentarse ante el propietario o encargado de la edificación, mostrarle la solicitud de permiso, y de manera breve explicar el objetivo de la visita para obtener el libre acceso a la edificación.
  
- ✓ Hacer una inspección visual general de toda la propiedad a modo de reconocer e inspeccionar el perímetro de la edificación, observando de manera general las condiciones actuales de dicha edificación.
  
- ✓ Iniciar el llenado de la ficha de evaluación no sin antes hacer una pequeña entrevista al propietario o encargado para obtener información general del inmueble, esto ayuda a complementar el itinerario de las características generales del inmueble que posee la ficha de evaluación, como datos históricos de la edificación, modificaciones o reparaciones, año de construcción número de ocupantes entre otros.
  
- ✓ Se realiza la inspección detallada por cada aspecto de evaluación observando detenidamente toda el área del inmueble.
  
- ✓ Seguir ordenadamente el itinerario presentado en la ficha de evaluación si hay algunos datos que se requieran se pueden preguntar al propietario o encargado del inmueble, en cualquier caso se puede llevar a consideración entre el equipo evaluador algunas condiciones.

- ✓ Tomar las medidas de dimensiones del inmueble.
  
- ✓ Luego de concluida la inspección se procede a informar al propietario que la inspección a terminado para poder retirarse a la evaluación posterior de una nueva edificación.
  
- ✓ En el caso que en un terreno se ubique más de un edificio, se requiere el llenado de una ficha por cada uno de ellos, por ejemplo: si un Complejo Educativo tiene tres edificios de aulas y otro más administrativo, se deberá llenar cuatro fichas para todo el Centro Escolar, comentando las particularidades de cada uno y realizar una evaluación final global de la escuela

#### **4.6.2. Bitácora.**

De manera sistemática con la bitácora se pretende llevar a cabo el registro de las visitas individuales de las edificaciones con el objetivo de relatar y contabilizar el itinerario de evaluación de las edificaciones del Centro histórico de Santa Ana, de esta forma presentar cuanto tiempo se emplea en una evaluación, así como de las condiciones en que se toman los datos para llevar el control y ubicación organizada. La bitácora de evaluación deberá contener:

- ✓ Proyecto: hace referencia al título del estudio que se está realizando en este caso, de Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de las Edificaciones del Centro Histórico de Santa Ana.

- ✓ Contenido: Espacio donde se debe plasmar el nombre de la edificación, y lo acontecido en el transcurso de la evaluación a la edificación
  
- ✓ Fecha y Hora: deberá contar con un espacio donde se pueda ubicar la fecha y hora de la visita a la edificación.
  
- ✓ Firmas y Sellos: deberá guardar en la parte inferior un espacio para ubicar las firmas del equipo evaluador

CAPÍTULO 5:  
RESULTADOS Y  
ANÁLISIS



## 5.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo final presenta los resultados de la metodología empleada en el análisis de la vulnerabilidad a riesgo sísmico en edificaciones del Centro Histórico de Santa Ana, por lo que se inicia mostrando los datos que se obtuvieron de la evaluación general y la información recopilada en ésta inspección preliminar para luego deducir por medio de las herramientas estadísticas la cantidad de edificaciones para la evaluación definitiva de este estudio. En la evaluación definitiva se demuestran los aspectos evaluados y los grados de vulnerabilidad obtenidos resultado de la evaluación, se presentan ejemplos de cada grado de vulnerabilidad que dan una idea de las características que presentan las edificaciones con determinado nivel en la inspección.

También se realizaron estudios que complementen en alguna medida el análisis de vulnerabilidad como lo es el estudio de 5 puntos del Centro Histórico con ensayos SPT por medio de un laboratorio de suelos y la búsqueda de este tipo de estudios en otras edificaciones; de la misma manera se ensayaron 4 edificaciones con el esclerómetro para revisar la resistencia a compresión en elementos de concreto que nos dan un parámetro si estos cumplen con requisitos mínimos en la capacidad de carga.

Por último se realiza un análisis final de todos los datos obtenidos para obtener patrones de análisis o la frecuencia de aspectos evaluados que demuestren deficiencias en construcciones del Área de Estudio.

## **5.2 EVALUACIÓN GENERAL**

El análisis inicial en el Área de Estudio se realiza por medio de información recabada en la zona, por medio de la ficha mencionada en la sección 4.4.1 se obtuvieron algunas generalidades del Área, las tipologías constructivas principales, los usos, régimen de propiedad y los niveles constructivos que se detallaran en esta sección.

En la información presentada de la Evaluación General se detallan inicialmente en tablas los datos pertinentes de cada característica a explicar para luego construir un gráfico circular que de la visión de la distribución porcentual de los aspectos descritos en ese ítem; por último se elabora una gráfica de barras que tiene anexado una tabla con la cantidad de edificaciones con la característica descrita que nos sirve para representar la distribución de dicha característica en las zonas evaluadas.

En esta parte preliminar de la evaluación no se elaboran planos por ser una cantidad de información de edificaciones muy elevada que tienen una variedad de características a exponer, por lo tanto se necesita contar con una base catastral que pueda detallar área por cada edificación y por ende procesamiento muy pesado de datos en una computadora con un software GIS que debe soportar dicha carga de información muy compleja, por lo que solamente se darán datos obtenidos con tablas y gráficos.

### **5.2.1. Generalidades del Área de estudio**

En la sección 4.2 se muestra el plano del centro urbano de la ciudad de Santa Ana y la delimitación del área de estudio, en ella se debe recordar que siendo la segunda ciudad más importante de El Salvador el comercio es dominante en muchas zonas del Centro Histórico que además cuenta con un mercado municipal que abarca dos cuadras y existen calles principales (entre estas las avenidas Independencia y la 2ª y las calles Libertad, la 1ª y la 3ª tanto poniente como oriente) que los comercios abarcan hasta las aceras.

Por otra parte, también hay oficinas contables y despachos jurídicos alrededor de toda el Área de Estudio, igualmente se encuentra la Alcaldía Municipal, varios Juzgados y centros educativos que hacen de toda la zona un área de mucha afluencia de personas por trabajo. También existen atracciones turísticas como lo es la Catedral de Santa Ana, el Teatro Nacional, el Centro de Artes, el Museo Regional de Occidente, entre otras, que hace ser un centro de turismo tanto nacional como internacional fines de semana y en fiestas patronales.

Toda esta mezcla cultural se ha establecido en el área y es por eso que el estudio de vulnerabilidad de las edificaciones es necesario para conocer cómo se comportarían varias construcciones en un evento sísmico, por lo tanto las 10 zonas en las que se desarrolla el estudio se presentan en el siguiente mapa:



De toda la zona se tuvo un censo de 916 edificaciones que representan el universo a estudiar y se presenta en la siguiente tabla la cantidad de edificaciones por zona:

**Tabla 5.1. Total de edificaciones en cada Zona y cantidad global en el área.**

ZONA	#
A	80
B	38
C	18
D	58
E	55
F	68
G	125
H	110
I	143
J	221
TOTAL	916

La mayor cantidad de edificaciones lo aporta la Zona J con 221 construcciones siendo el 24% del total, ósea la suma del conjunto de unas cuatro o cinco zonas pequeñas, como lo muestra la gráfica 5.1 la menor cantidad la aporta la Zona C con un 2% del total correspondiente a 18 edificaciones, de esto se debe recordar que la Alcaldía Municipal y el Parque Libertad ocupan una cuadra cada una y el Centro Judicial con el Teatro Nacional otra, por lo que de las 6 manzanas solamente 3 aportan la mayor parte de edificaciones para esta zona.

Los otros porcentajes varían del 4% al 16% para las demás zonas y se muestran en la siguiente gráfica:

## EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO

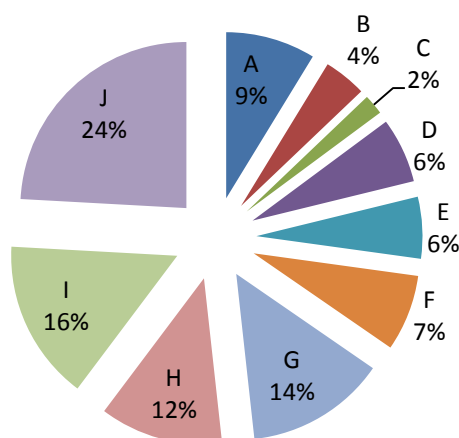


Gráfico 5.1. Muestra los porcentajes del número de edificaciones en cada Zona.

### Tipologías constructivas

Para conocer cuáles son las tipologías constructivas principales en forma general, la ficha cuenta con 5 tipos principales que se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 5.2. Muestra las cantidades de edificaciones con determinada tipología constructiva.**

TIPOLOGÍA	#
ADOBE, LADRILLO, MIXTO	474
BLOQUE, CONCRETO	70
ADOBE, LADRILLO	32
ADOB, LADRIL, CONCRE,MIX	34
LADRILLO,CONCRETO	306
TOTAL	916

De estas las de “adobe, ladrillo y mixto” son las más frecuentes con 474 (un 52%) observadas, luego aparecen las que se catalogaron como “ladrillo, concreto” que son aquellas de mampostería simple con elementos de concreto como refuerzo o se les ha

agregado bloques de concreto. Las de “bloque, concreto” son aquellas de mampostería reforzada y también las de pórticos de concreto, siendo un 8% del total; las otras dos están prácticamente empatadas con 32 y 34 edificaciones, estas son “adobe, ladrillo” y “adobe, ladrillo, bloque, mixto” respectivamente. En la gráfica que se presenta a continuación se detallan los porcentajes de las tipologías constructivas obtenidas con la ficha de evaluación general.

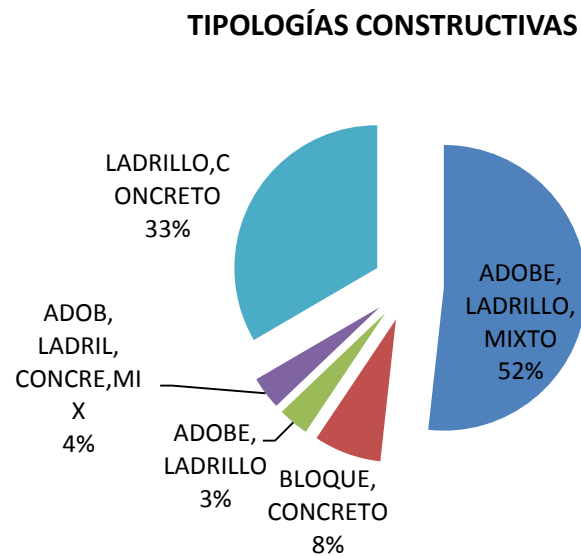


Gráfico 5.2. Muestra las tipologías constructivas con los respectivos porcentajes de cada una.

Se debe aclarar que estas tipologías adoptadas en la evaluación preliminar son del tipo general. Para representar la cantidad de determinada tipología en cada zona, se construye la siguiente gráfica con una tabla en la cual se aprecia la distribución de las tipologías en el área de estudio.

### TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA

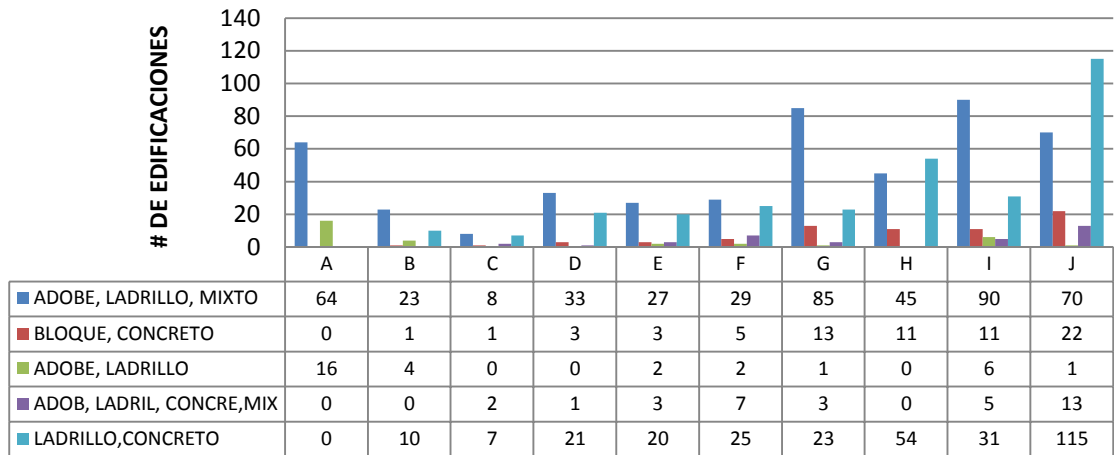


Gráfico 5.3. Muestra las tipologías constructivas con los respectivos números de edificaciones por cada una.

### Usos

En cada edificación se evaluó el uso actual que tiene y se observaron 5 tipos principales que se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 5.3. Se indica la cantidad de edificaciones por uso actual.**

USOS	#
HABITACIONAL	362
COMERCIAL	471
INSTITUCIONAL	76
USO ORIGINARIO	7
	916

La mayor parte de las edificaciones es para fines comerciales por lo que hay muchas que se han adaptado ya sea en fachada o en su estructura para diversos comercios, aun se han dividido el inmueble en varias partes o secciones para rentarlos para este fin, mismo



procedimiento se realiza en el caso de las edificaciones para uso habitacional en la que los dueños “particionan” la edificación.

En las destinadas para uso institucional se encuentran las escuelas y colegios, juzgados, alcaldía, templos religiosos, entre otros, y como lo muestra la Grafica 5.4 representa el 8% de todas las edificaciones. Por último los que se catalogan como uso originario solamente son 7 y con ayuda de la Grafica 5.5 se observa que se encuentran 3 en la zona B, 2 en la zona C, 1 en la zona F y la última en la zona J, y son aquellos que no han cambiado su uso desde que fueron construidas, un ejemplo son la Catedral de Santa Ana y el Teatro Nacional ubicadas en la zona B y C respectivamente.

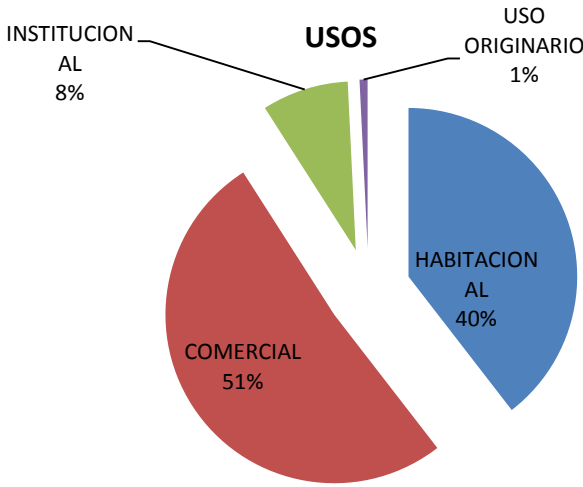


Gráfico 5.4. Muestra los porcentajes por uso de las edificaciones del Centro Histórico.

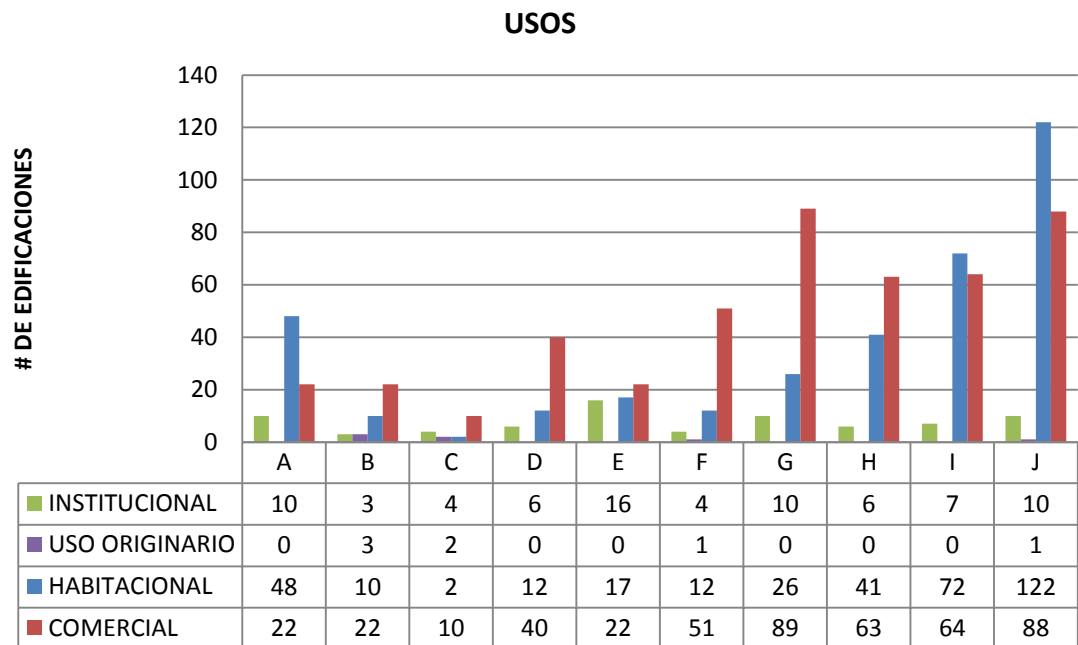


Gráfico 5.5. Muestra la distribución por uso de las edificaciones del Centro Histórico en cada zona.

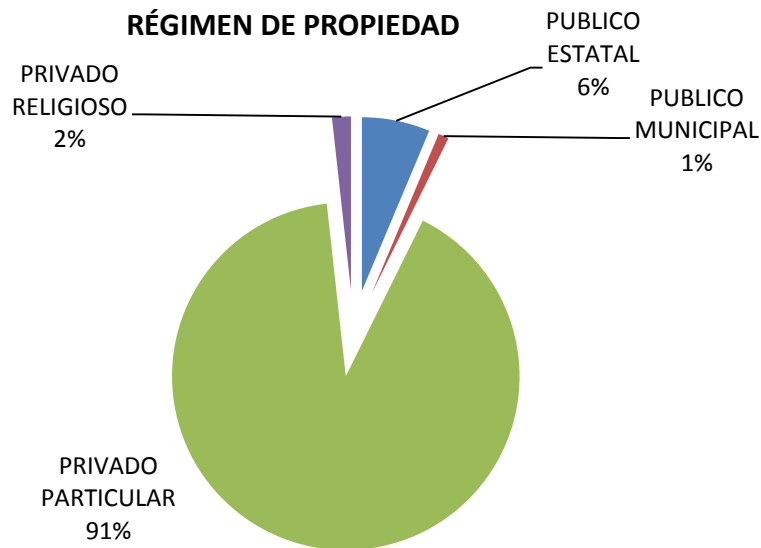
### Régimen de Propiedad

Con esta característica se pretende obtener información de propietarios de los inmuebles para procesos de permisos en la inspección final, en su mayoría son de carácter privado teniendo un total de 833 edificaciones (ver Tabla 5.4) en el área; para personas particulares en muchos casos una constancia que explique la elaboración del trabajo de grado basta para evaluarlo posteriormente, caso contrario con las demás, siendo necesario una carta extendida por las instituciones involucradas y un tiempo de respuesta variable para cada tipo de institución consultada. Los demás regímenes de propiedad se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 5.4. Muestra los regímenes de propiedad de las edificaciones del área de estudio.**

REGIMEN DE PROPIEDAD	TOTAL
PUBLICO ESTATAL	58
PUBLICO MUNICIPAL	9
PRIVADO PARTICULAR	833
PRIVADO RELIGIOSO	16
	916

En el caso de la Alcaldía Municipal es la que cuenta con menos edificaciones en la que son propietarios o arrendan en el Centro Histórico (solamente 9 edificaciones), lo siguen las instituciones religiosas con 16 que corresponden al 2% del total (ver Gráfico 5.6) siendo las más destacadas la Catedral, la Iglesia El Calvario y la Iglesia del Carmen. En las de carácter público estatal se encuentran los centros escolares, juzgados, entre otros, que representan el 6% del total como lo muestra la siguiente gráfica:



**Gráfico 5.6. Muestra los regímenes de propiedad en porcentaje de las edificaciones.**

Es notoria la predominancia de las propiedades particulares y su distribución en las zonas del Centro Histórico como lo indica el Gráfico 5.7 mostrado a continuación:

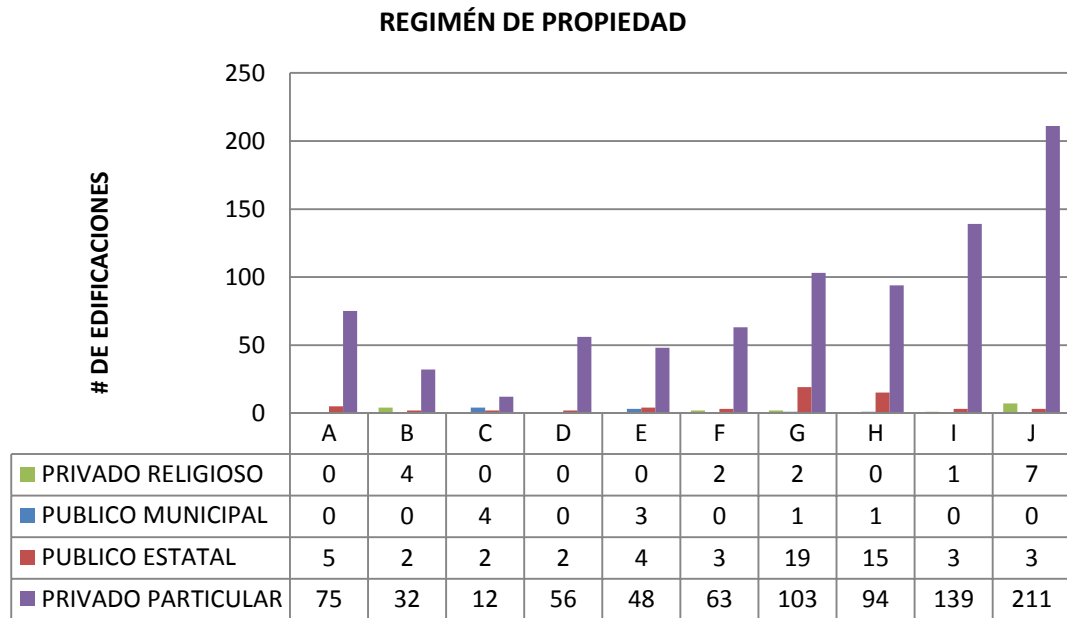


Gráfico 5.7. Muestra la distribución de los regímenes de propiedad en las zonas evaluadas preliminarmente.

### Niveles Constructivos

Esta última característica se recopila en la Tabla 5.6 y muestra como las construcciones de un nivel son las más frecuentes en toda el Área de Estudio con 825 edificaciones representando el 90% de todas éstas; luego están las de dos niveles con 76 observadas que representan el 8% (ver porcentajes en Gráfico 5.8), las de tres son solamente 12 y representan el 1% al igual que las que tienen más de tres niveles (por aproximación al entero más cercano) con solamente 3 y son: el Centro Judicial, el edificio García Rossi y el edificio Salvadoreño.

**Tabla 5.5. Contabiliza las edificaciones con los niveles constructivos.**

NIVELES	TOTAL
UNO	825
DOS	76
TRES	12
MAS DE TRES	3
	916

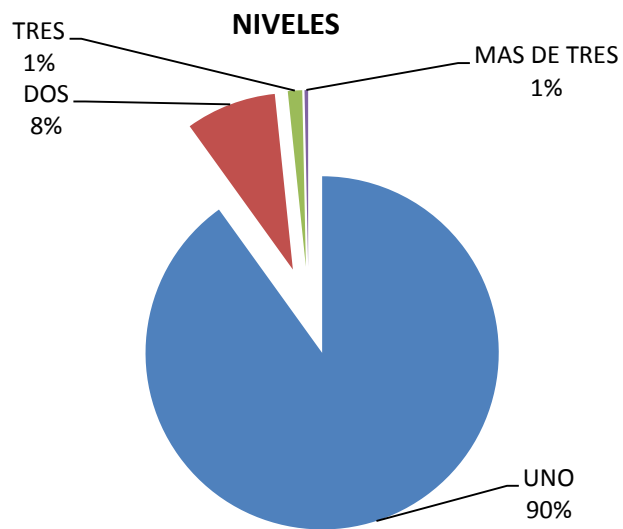


Gráfico 5.8. Muestra los porcentajes de las edificaciones con determinados niveles constructivos.

El gráfico 5.8 presenta que las edificaciones de un nivel son predominantes en el Centro Histórico de Santa Ana, respecto a las edificaciones de dos o más niveles.

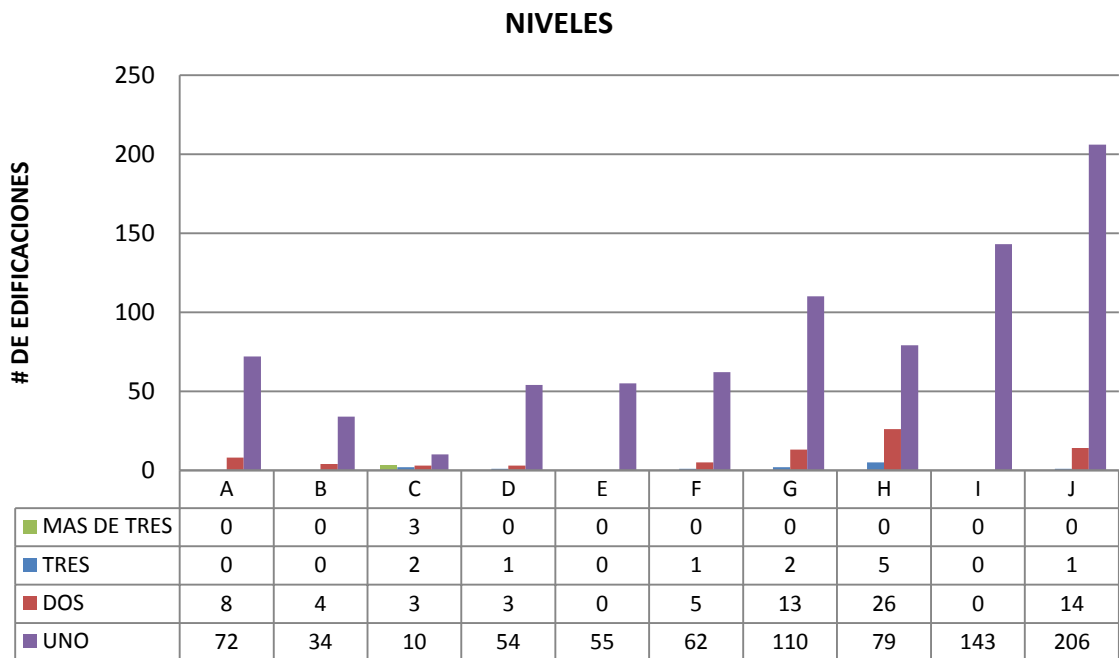


Gráfico 5.9. Muestra la distribución de las edificaciones en el Centro Histórico y sus niveles constructivos.

### 5.2.2. Muestra del Área de Estudio

Para la selección de la muestra se utilizó una herramienta estadística, la cual permite calcular una cantidad de las poblaciones o universos de estudio finitos. Sin embargo para elegir las edificaciones a evaluar ya no se pudo continuar con la metodología estadística, la cual consistía en seleccionar al azar o aleatoriamente las edificaciones que se evaluarían, pero debido a la limitantes de permisos para ingresar a las edificaciones se tuvo recurrir a evaluar solamente aquellas en las cuales existía una autorización para ingresar a evaluar.

Esto no significa que los resultados de la evaluación se verán afectados, sino solamente que estadísticamente no se pudo continuar con la elección de aquellas edificaciones a evaluar,

limitando en alguna manera el abarcar en su totalidad toda el área de estudio, ya que la elección se tuvo que realizar de forma restringida.

A continuación se presenta la herramienta estadística para calcular la muestra de estudio:

$$n = \frac{Z^2(P)(Q)(N)}{E^2(N - 1) + (Z^2)(P)(Q)}$$

**Dónde:**

n =Número de elementos de la muestra.

N =Número de elementos del universo.

P =Probabilidad de éxito = 0.3

Q = Probabilidad de Fracaso (1-P) = 1 - 0.3 = 0.7

Z<sup>2</sup> = Valor crítico correspondiente al nivel de confianza elegido = 1.54

E =Margen de error permitido se utiliza de 8% (error muestral).

Sustituyendo los valores:

$$n = \frac{(1.54)^2(0.3)(0.7)(916)}{(0.08)^2(916 - 1) + (1.54)^2(0.3)(0.7)} = 71.80$$

Da como resultado **n = 71.80**, que aproximando es igual a decir que **n = 72 edificaciones a evaluar.**

### **5.3 EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES**

En el proceso de evaluación del número de edificaciones obtenidas del muestreo y con los procesos de solicitud de permisos pertinentes, se alcanzó la cantidad dada por el análisis estadístico, por lo tanto se procede a exponer las características y particularidades de las edificaciones como también de los resultados obtenidos en las evaluaciones en los siguientes ítems.

Para tener un orden determinado en la presentación de resultados se presentan inicialmente las tablas resumen que describen algunos aspectos a comentar para luego resumirlos en un gráfico que muestre los porcentajes entre los aspectos, además en algunos casos se construye un gráfico con tabla anidada que correlacione las cantidades de edificaciones con algún parámetro evaluado y las zonas que las contengan, igualmente se presentan determinados planos y mapas que ayuden a tener una idea del espacio del Centro Histórico y la distribución de las características que tiene cada edificación.

#### **5.3.1. Edificaciones Evaluadas**

Todas las edificaciones que se encuentran contempladas en la Tabla 5.xx están contenidas en el Centro Histórico de Santa Ana, por lo que se detalla en la tabla la zona a la que pertenecen (según la Oficina de Centro Histórico) y la dirección (ubicación) de cada edificación.



**Tabla 5.6 Muestra las edificaciones evaluadas como también la información de la zona y dirección de cada una de ellas.**

#	Zona	Nombre	Dirección
1	A	Casa Particular (Rodríguez)	9ª Av. Norte entre 2ª y 4ª Calle poniente
2	A	Taller Carwash	Calle libertad entre 7ª y 9 Av. Sur
3	A	Casa Ex-presidente	Calle Libertad y 5a Av. Sur
4	A	Sede FMLN	1a C.O. entre 3a y 5a Av. Sur
5	A	Casa (Intervención Alcaldía)	Calle Libertad y 7a Av. Norte
6	B	Oficina Parroquial, Catedral.	3a Av. S entre Callejuelas de Catedral
7	B	Salón Parroquial	Callejuela Norte Catedral entre 1a 3a C.O.
8	B	Casa Tigo Money	Calle Libertad y 2ª Av. Sur
9	B	Comedor (A.N.D.A)	3a C.O. entre 1a y 3a Av. Sur
10	C	Pakamara Café	2a C.P. entre Av. Independencia y 2a Av. Norte
11	C	Iglesia Comunidad de Fé	1a C.O. entre Av. Independencia y 1a Av. Sur
12	C	Centro Judicial	4 C. O. entre 1 y 2 Av. Sur
13	C	Alcaldía Municipal	Entre Av. Independencia y 2a Av. y entre C. Libertad y 1a C.
14	D	C.E. José Martí (Nuevo)	4a Av. Norte y 2a C.P.
15	D	C.E. José Martí (Viejo)	4a Av. Norte y 2a C.P.
16	D	C.E. José Martí (Aulas)	4a Av. Norte y 2a C.P.
17	D	Comedor (madera)	C. Libertad entre 2a y 4a Av. Sur
18	D	Librería	Calle Libertad y 4ª y 6 Av. Norte
19	E	C.E. Napoleón Ríos (antiguo)	Calle libertad y 8ª Av. Sur
20	E	C.E. Napoleón Ríos (nuevo)	Calle libertad y 8ª Av. Sur
21	E	Casa Abandonada (Villa Morena)	2a C.P. entre 6a y 8a Av. Norte
22	E	C.E. Dr. Humberto Quinteros (antiguo)	C. Libertad entre 6a y 8a Av. Sur
23	E	C.E. Dr. Humberto Quinteros (nuevo)	C. Libertad entre 6a y 8a Av. Sur
24	E	Hogar Casa del Niño	10a Av. Sur y 1a C.P
25	F	Muebles Sn José (Abandonado)	Av. José Matías Delgado y 3a C.P.
26	F	Comedor Livingstone	10a Av. Sur entre 7a y 9a C.P.

#	Zona	Nombre	Dirección
27	F	Muebles Millenium	10Av Sur entre 7a y 9a C.P.
28	F	Muebles Gallardo	9a C.P. y 10a Av. Sur
29	F	Casa SPT	Av. José Matías Delgado entre 7a y 9a C.P.
30	F	C.E. Tomas Medina (Viejo)	Av. José Matías Delgado y 9a C.P.
31	F	C.E. Tomas Medina (Nuevo)	Av. José Matías Delgado y 9a C.P.
32	F	Parqueo Esquina	1a C.P. y 10a Av. Sur
33	G	Tipcom (Ventas)	7º Av. Sur y 1º Calle Oriente
34	G	Tipcom (Taller)	7º Av. Sur y 1º Calle Oriente
35	G	Mercado Central (Tramo Norte)	1a y 3a C.P. entre 4a y 8a Av. Sur
36	G	Mercado Central (Tramo Este)	1a y 3a C.P. entre 4a y 8a Av. Sur
37	G	Mercado Central (Tramo Sur)	1a y 3a C.P. entre 4a y 8a Av. Sur
38	G	Mercado Central (Tramo Oeste)	1a y 3a C.P. entre 4a y 8a Av. Sur
39	G	Mercado Central (Galera Este)	1a y 3a C.P. entre 4a y 8a Av. Sur
40	G	Mercado Central (Galera Oeste)	1a y 3a C.P. entre 4a y 8a Av. Sur
41	G	Carpintería	3a C.O. entre 3a y 5a Av. Sur
42	H	U.M.A. Clínica y Biblioteca	Calle diagonal entre 3º y 5º calle oriente
43	H	Barbería	5a C.P. y 3a Av. Sur
44	H	Parqueo SPT	5a C.P. entre 6a y 8a Av. Sur
45	H	Comedor Centro	3a C.O. y 1º Av. Sur
46	H	Muebles y óptica (Alcaldía)	8a Av. Sur y 5a C.P.
47	H	Comercial Sandoval	2a Av. Sur y 3a C.P.
48	H	Parqueo Mercado	3a C.P. y 6a Av. Sur
49	H	Parqueo (Ferretería)	5a C.P. y 4a Av. Sur
50	I	Venta de Ropa "Amy"	8a Av. Sur y 7a C.P.
51	I	Casa Particular (Mariachi)	9a Av. Norte entre 2a y 4a C. P.
52	I	Mesón Mariachi	9a Av. Norte entre 2a y 4a C. P.
53	I	Ciber Café (UMA)	7a C.O. entre 7a y 9a Av. Sur
54	I	Talabaquería Reyes	8a Av. Sur y 5a C.P.
55	I	Casa Abandonada (Defens. Consumidor)	7a C.P. entre Av. Independencia y 2a Av. Sur

#	Zona	Nombre	Dirección
56	J	Marielos Salón	9a C.P. entre Av. Independencia y 2a Av. Sur
57	J	Marielos Salón (esquina)	Av. Independencia y 9a C.P.
58	J	Comedor (Josué)	7a C.P. y 5a Av. Sur
59	J	U.M.A. admón.	7a C.O. entre 5a y 7a Av. Sur
60	J	U.M.A. Edificio de Aulas	7a C.O. entre 5a y 7a Av. Sur
61	J	Casa Habitacional 1	7a Av. Sur entre 7 y 9 C.O.
62	J	Casa Habitacional 2	7 a Av. Sur entre 7 y 9 C.O.
63	J	Casa Habitacional 3	7 a Av. Sur entre 7 y 9 C.O.
64	J	Colegio Adventista (Templo)	9a C.P. y 9a Av. Sur
65	J	Colegio Adventista (Viejo)	9a C.P. y 9a Av. Sur
66	J	Colegio Adventista (Nuevo)	9a C.P. y 9a Av. Sur
67	J	Colegio Manchester (Viejo)	4a Av. Sur entre 7a y 9a C.P.
68	J	Colegio Manchester (Fondo)	4a Av. Sur entre 7a y 9a C.P.
69	J	Ciber Café Fénix	2a Av. Sur entre 7a y 9a C.P.
70	J	Colegio Dominicó (Edificio Norte)	Callejón Poniente Iglesia El Carmen
71	J	Colegio Dominicó (Edificio Este)	Callejón Poniente Iglesia El Carmen
72	J	Colegio Dominicó (Edificio Oeste)	Callejón Poniente Iglesia El Carmen

De las 10 zonas incluidas en el estudio se presenta en la Tabla 5.7 la cantidad de edificaciones evaluadas, la cantidad de manzanas (o cuadras) y el área aproximada de cada una de las zonas:

**Tabla 5.7 Muestra las la cantidad de edificaciones, número de manzanas, y el área aproximada de cada**

**zona**

ZONA	EDIFICACIONES EVALUADAS	MANZANAS EN ZONA	AREA APROX DE ZONA (Km2)
ZONA A	5	6	37,9
ZONA B	4	5	34,0
ZONA C	4	6	34,7
ZONA D	5	6	38,0
ZONA E	6	6	39,4
ZONA F	8	7	47,4
ZONA G	9	9	68,1
ZONA H	8	10	66,1
ZONA I	6	10	62,9
ZONA J	17	10	122,5
TOTAL	72	75	551,0

A partir de estas tablas 5.6 y 5.7 se pueden construir dos graficas comparativas para contemplar de mejor manera la distribución de área en cada zona y el porcentaje de edificaciones evaluadas y poder dar algunas observaciones con respecto a estos primeros datos de la evaluación final.

**ÁREA SUPERFICIAL DE LAS ZONAS DE ESTUDIO**

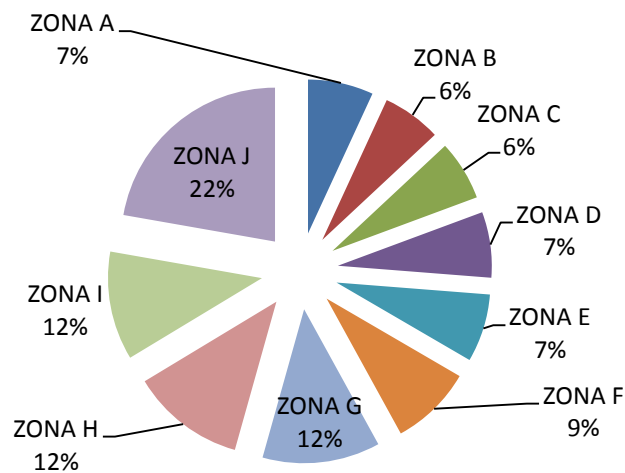


Grafico 5.10 Muestran los porcentajes de cada una de las áreas de las zonas de estudio

### PORCENTAJES DE EDIFICACIONES EVALUADAS

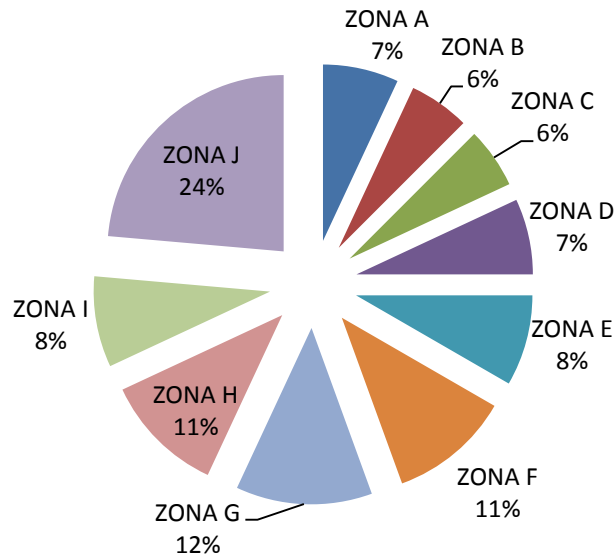


Grafico 5.11 Muestran los porcentajes de la cantidad de edificaciones evaluadas por zona.

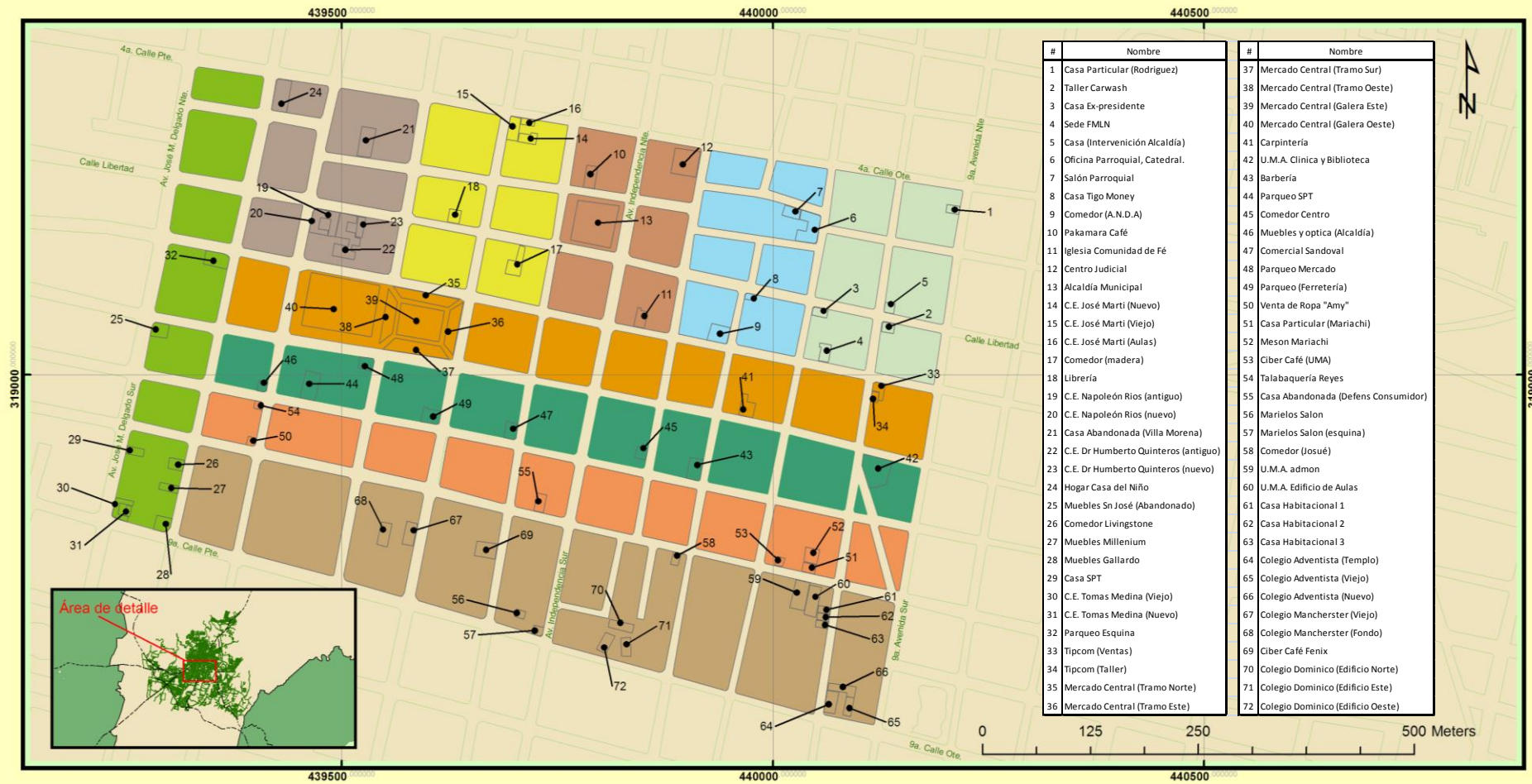
De la primer gráfica que puede apreciar que en la Zona J hay una cantidad de manzanas muy similar a las zonas G, H e I, pero su área es mucho mayor, siendo el 22% del total del área del Centro Histórico, un 10% más que en las tres zonas mencionadas, dado que cada una tiene un 12% del área total; si se correlaciona los porcentajes de las áreas evaluadas con el porcentaje de las edificaciones evaluadas se tiene que el 50% de las zonas coinciden en sus porcentajes, estas son las zonas A, B, C, D y G; la zona con más desigualdad en porcentajes de las dos graficas es la zona I con un 4% de entre ambas, las demás zonas tienen una diferencia de entre el 1% y 2%.

Se presentan estos datos para demostrar que aunque los permisos no se obtuvieron en muchas manzanas de la zonificación, el área topográfica del Centro de Santa Ana y las

características propias de cada edificación evaluada tienen muchos puntos en común a pesar que el proceso de las solicitudes no haya sido planeado de esa forma, siendo una característica que se indicó en la ponencia “Aspectos sobre la vulnerabilidad estructural ante sismos en El Salvador” por el Ing. y Maestro Luis Menjívar del MARN en el Conversatorio “Vulnerabilidad ante peligrosidades naturales: los retos en El Salvador” de la Maestría en Evaluación de Peligrosidades Naturales de la UES, impartida en el Edificio de Gobernación.

Retomando nuevamente las 72 inspecciones en las edificaciones enumeradas en la Tabla 5.6 y para tener una percepción más clara del espacio geográfico de cada una de ellas en el Centro Histórico de Santa Ana, se detalla la ubicación de los inmuebles en el plano presentado a continuación:

# MAPA 5.2 Ubicación geográfica de Edificaciones Evaluadas



#	Nombre	#	Nombre
1	Casa Particular (Rodríguez)	37	Mercado Central (Tramo Sur)
2	Taller Carwash	38	Mercado Central (Tramo Oeste)
3	Casa Ex-presidente	39	Mercado Central (Galera Este)
4	Sede FMLN	40	Mercado Central (Galera Oeste)
5	Casa (Intervención Alcaldía)	41	Carpintería
6	Oficina Parroquial, Catedral.	42	U.M.A. Clínica y Biblioteca
7	Salón Parroquial	43	Barbería
8	Casa Tigo Money	44	Parqueo SPT
9	Comedor (A.N.D.A)	45	Comedor Centro
10	Pakamara Café	46	Muebles y optica (Alcaldía)
11	Iglesia Comunidad de Fé	47	Comercial Sandoval
12	Centro Judicial	48	Parqueo Mercado
13	Alcaldía Municipal	49	Parqueo (Ferretería)
14	C.E. José Martí (Nuevo)	50	Venta de Ropa "Amy"
15	C.E. José Martí (Viejo)	51	Casa Particular (Mariachi)
16	C.E. José Martí (Aulas)	52	Meson Mariachi
17	Comedor (madera)	53	Ciber Café (UMA)
18	Librería	54	Talabaquería Reyes
19	C.E. Napoleón Ríos (antiguo)	55	Casa Abandonada (Defens Consumidor)
20	C.E. Napoleón Ríos (nuevo)	56	Marielos Salon
21	Casa Abandonada (Villa Morena)	57	Marielos Salon (esquina)
22	C.E. Dr Humberto Quinteros (antiguo)	58	Comedor (Iosué)
23	C.E. Dr Humberto Quinteros (nuevo)	59	U.M.A. admon
24	Hogar Casa del Niño	60	U.M.A. Edificio de Aulas
25	Muebles Sn José (Abandonado)	61	Casa Habitacional 1
26	Comedor Livingstone	62	Casa Habitacional 2
27	Muebles Millennium	63	Casa Habitacional 3
28	Muebles Gallardo	64	Colegio Adventista (Templo)
29	Casa SPT	65	Colegio Adventista (Viejo)
30	C.E. Tomas Medina (Viejo)	66	Colegio Adventista (Nuevo)
31	C.E. Tomas Medina (Nuevo)	67	Colegio Manchester (Viejo)
32	Parqueo Esquina	68	Colegio Manchester (Fondo)
33	Tipcom (Ventas)	69	Ciber Café Fenix
34	Tipcom (Taller)	70	Colegio Dominicó (Edificio Norte)
35	Mercado Central (Tramo Norte)	71	Colegio Dominicó (Edificio Este)
36	Mercado Central (Tramo Este)	72	Colegio Dominicó (Edificio Oeste)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADO:  
 Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del  
 Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruiz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez

**SIMBOLOGÍA**

<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#d9ead3;"></span> Zona A	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#f4cccc;"></span> Zona E	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#f4cccc;"></span> Zona I
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#cfe2f3;"></span> Zona B	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#d9ead3;"></span> Zona F	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#f4cccc;"></span> Zona J
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#f4cccc;"></span> Zona C	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#d9ead3;"></span> Zona G	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black;"></span> Edificaciones
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#d9ead3;"></span> Zona D	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#cfe2f3;"></span> Zona H	

**NOTA:**  
 Las áreas de las edificaciones en el  
 mapa son meramente ilustrativas y  
 no representan el área real de los  
 inmuebles evaluados.  
 De la Tabla 5.6 se extraen los  
 nombres de las edificaciones con el  
 respectivo número correlativo.

### 5.3.2. Descripción General de Edificaciones Evaluadas.

Cada una de las edificaciones tienen sus propias particularidades que se observaron en la evaluación, pero entre las características generales que interesan en este estudio está la tipología constructiva, el tipo de material de mampostería con la que está conformada o la más predominante en la edificación, el uso actual y los niveles constructivos; todas estas características son de vital importancia y se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 5.8 Muestra las características generales de las edificaciones evaluadas.**

Zona	Nombre	Tipología Constructiva	Tipo de mampostería predominante	Uso	Nivel
A	Casa Particular (Rodríguez)	Mixto	A-L-B	Habitacional	1
A	Taller Carwash	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
A	Casa Ex-presidente	Mamp Simp	L	Habitacional	2
A	Sede FMLN	Mamp Simp	A-L	Institucional	1
A	Casa (Intervención Alcaldía)	Mamp Simp	A-L	Otro	1
B	Oficina Parroquial, Catedral.	Mamp Simp	A-L	Religioso	1
B	Salón Parroquial	Port - Pared Car	B	Religioso	2
B	Casa Tigo Money	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
B	Comedor (A.N.D.A)	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
C	Pakamara Café	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
C	Iglesia Comunidad de Fé	Mamp Simp	A-L-B	Religioso	1
C	Centro Judicial	Port Concre	B	Institucional	5
C	Alcaldía Municipal	Mamp Simp	L	Municipal	2
D	C.E. José Martí (Nuevo)	Port Concre	B	Educativo	2
D	C.E. José Martí (Viejo)	Mamp Simp	A-L	Educativo	1
D	C.E. José Martí (Aulas)	Mixto	L	Educativo	1
D	Comedor (madera)	Mixto	A-L	Comercial	2



Zona	Nombre	Tipología Constructiva	Tipo de mampostería predominante	Uso	Nivel
D	Librería	Mamp Simp	L	Comercial	1
E	C.E. Napoleón Ríos (antiguo)	Mamp Simp	A-L-B	Educativo	1
E	C.E. Napoleón Ríos (nuevo)	Mixto	L-B	Educativo	2
E	Casa Abandonada (Villa Morena)	Mamp Simp	A-L	Otro	1
E	C.E. Dr. Humberto Quinteros (antiguo)	Mamp Simp	A-L	Educativo	1
E	C.E. Dr. Humberto Quinteros (nuevo)	Mamp - Port	L	Educativo	2
E	Hogar Casa del Niño	Mampt Simp	L	Institucional	3
F	Muebles Sn José (Abandonado)	Mamp Simp	A-L	Otro	1
F	Comedor Livingstone	Mixto	A-L	Comercial	1
F	Muebles Millenium	Port - Pared Car	L	Comercial	2
F	Muebles Gallardo	Mamp Si - Port	A-L	Comercial	1
F	Casa SPT	Mixto	A-L	Comercial	1
F	C.E. Tomas Medina (Viejo)	Mamp Simp	A-L	Educativo	1
F	C.E. Tomas Medina (Nuevo)	Port - Pared Car	L	Educativo	2
F	Parqueo Esquina	Mamp Simp	A-L	Particular	1
G	Tipcom (Ventas)	Mixto	L-B	Comercial	2
G	Tipcom (Taller)	Port Concre	B	Comercial	2
G	Mercado Central (Tramo Norte)	Mamp Simp	A-L	Municipal	1
G	Mercado Central (Tramo Este)	Mamp Simp	A-L	Municipal	1
G	Mercado Central (Tramo Sur)	Mamp Simp	A-L	Municipal	1
G	Mercado Central (Tramo Oeste)	Mamp Simp	A-L	Municipal	1
G	Mercado Central (Galera Este)	Pórtico Acero	N/A	Municipal	1
G	Mercado Central (Galera Oeste)	Pórtico Acero	N/A	Municipal	1
G	Carpintería	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
H	U.M.A. Clínica y Biblioteca	Mamp Simp	L-B	Educativo	1
H	Barbería	Mamp Simp	A-L	Particular	1
H	Parqueo SPT	Mamp Si - Port	A-L-B	Particular	2

Zona	Nombre	Tipología Constructiva	Tipo de mampostería predominante	Uso	Nivel
H	Comedor Centro	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
H	Muebles y óptica (Alcaldía)	Mamp Simp	A-L-B	Otro	1
H	Comercial Sandoval	Mixto	A	Comercial	1
H	Parqueo Mercado	Mamp Simp	A-L	Particular	1
H	Parqueo (Ferretería)	Mamp Simp	A-L	Particular	1
I	Venta de Ropa "Amy"	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
I	Casa Particular (Mariachi)	Mamp Simp	A-L	Habitacional	1
I	Mesón Mariachi	Mamp Simp	A-L	Habitacional	1
I	Ciber Café (UMA)	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
I	Talabaquería Reyes	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
I	Casa Abandonada (Defens. Consumidor)	Mamp - Port	A-L	Otro	1
J	Marielos Salón	Mamp - Port	B	Comercial	2
J	Marielos Salón (esquina)	Mamp Simp	A-L	Otro	1
J	Comedor (Josué)	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
J	U.M.A. admón.	Mamp Simp	A-L	Educativo	1
J	U.M.A. Edificio de Aulas	Port Concre	B	Educativo	3
J	Casa Habitacional 1	Port - Pared Car	B	Habitacional	2
J	Casa Habitacional 2	Port - Pared Car	B	Habitacional	2
J	Casa Habitacional 3	Port - Pared Car	B	Habitacional	2
J	Colegio Adventista (Templo)	Mamp - Port	L	Religioso	1
J	Colegio Adventista (Viejo)	Mamp - Port	B	Educativo	2
J	Colegio Adventista (Nuevo)	Mamp- Port	B	Educativo	2
J	Colegio Manchester (Viejo)	Mamp Simp	A-L	Educativo	1
J	Colegio Manchester (Fondo)	Mamp- Port	A-L-B	Educativo	2
J	Ciber Café Fénix	Mamp Simp	A-L	Comercial	1
J	Colegio Dominico (Edificio Norte)	Mamp - Port	L	Educativo	2
J	Colegio Dominico (Edificio Este)	Port - Pared Car	B	Educativo	3
J	Colegio Dominico (Edificio Oeste)	Port - Pared Car	B	Educativo	3

Dónde: Mamp Simp: Mampostería Simple  
 Port-Pared Car: Pórtico con paredes de carga  
 Port Concre: Pórtico de Concreto  
 Mamp-Port: Mampostería y algunos refuerzos con pórticos.  
 A: Adobe  
 B: Bloque de concreto  
 L: Ladrillo

### Tipologías Constructivas

En las tipologías constructivas observadas en las edificaciones se tienen seis tipos principales, estos se detallan en la siguiente tabla y sus porcentajes relativos al total evaluado se presentan en la gráfica posterior:

**Tabla 5.9 Muestra las tipologías constructivas del área de estudio.**

TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS	TOTAL
PORT ACERO	2
PORT CONCRE	4
PORT-PARED CAR	8
MIXTO	8
MAMP SIMP-PORT	10
MAMP SIMP	40
	72

### TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

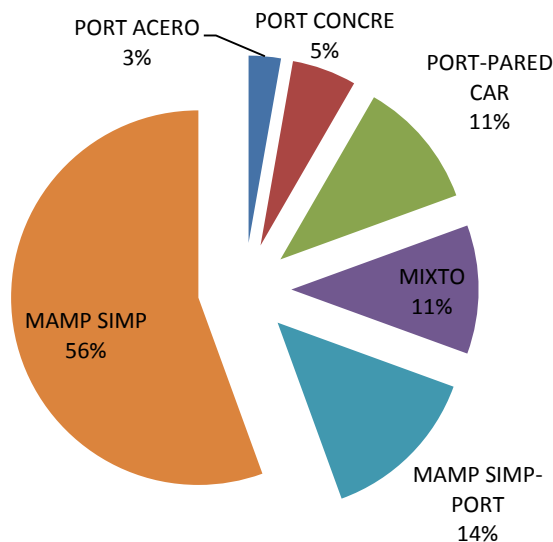


Grafico 5.12 Muestra los porcentajes de las tipologías constructivas encontradas en las edificaciones evaluadas.

Las edificaciones de mampostería simple son las más comunes en el Centro Histórico de Santa Ana siendo más de la mitad del total (56%); la zona de estudio, por ser el centro de la expansión de la mancha urbana de la ciudad, en la mayoría de edificaciones tienen elementos en común de la época y el proceso constructivo predominante de ese tiempo, como lo es construcciones hechas con Adobe y ladrillo, y una combinación de ambas. Este es el caso de la Catedral de Santa Ana, aunque no se evaluó su tipología constructiva se observa en los costados y es de ladrillo de barro cocido, también lo es la Casa del Ex presidente, la Alcaldía Municipal, entre otros.

Por otra parte por tratarse de edificaciones que pasan de los 50 años de construcción, muchas han sufrido deterioro por lo tanto hay edificaciones a las que se han añadido elementos de refuerzo de concreto a la mampostería como se detalla en la tipología “Mamp Si-Port” (Mampostería simple con pórticos) y tienen un 14% del total.

En tercer posición están las que tienen adaptaciones arbitrarias a su diseño original y se le agregan varios tipos de materiales en paredes, estos son los “Mixtos” con un 11%, misma cantidad que las de tipo pórticos con paredes de carga (Port-Pared Car) que son edificaciones que evolucionaron con el paso del desarrollo de procesos constructivos y se construyen en un tiempo más reciente que las antes ya mencionadas, de estas se pueden mencionar las construcciones recientes en algunos de los Centros Escolares evaluados, como: C.E. Tomas Medina y los edificios del Colegio Dominico (Este y Oeste). También se encuentra el Salón Parroquial y tres casas habitacionales de la zona J.

En los dos últimos casos de tipologías constructivas están los pórticos de concreto y pórticos de acero, estos se construyen en base a diseños estructurales, ya sea para instituciones públicas y privadas que tengan recursos suficientes para construir una obra de este tipo, como es el caso del Centro Judicial, las galerías del mercado central, el edificio de aulas de la U.M.A., entre otros. En la siguiente grafica-tabla se resume la cantidad de edificaciones con las distintas tipologías constructivas en cada zona:

### TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

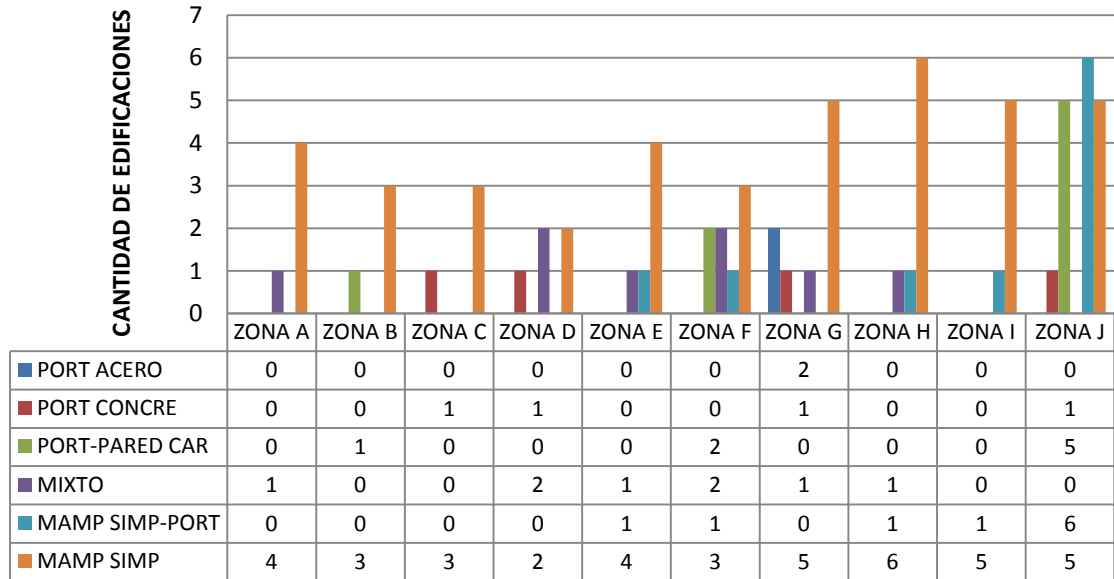
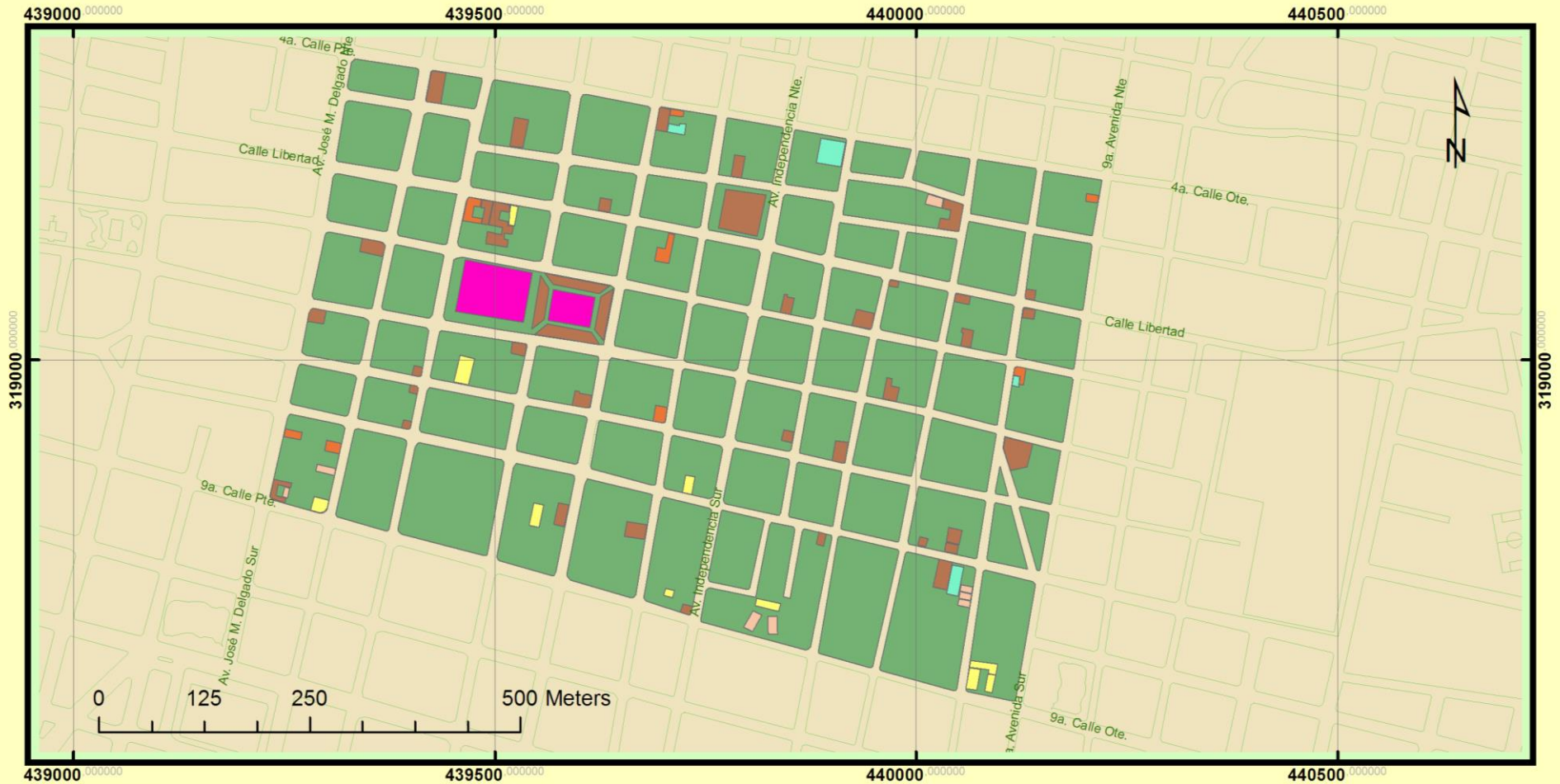


Grafico 5.13 Muestra las cantidades de edificaciones de cada tipología en cada zona

En el mapa que se presenta a continuación se muestra la ubicación de las edificaciones y la tipología constructiva de cada una de ellas, de este mapa se observa como la mampostería simple es más frecuente en las edificaciones evaluadas:

## MAPA 5.3 Tipologías Constructivas de Edificaciones Evaluadas



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADO:  
 Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del  
 Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruíz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez

### Tipologías Constructivas

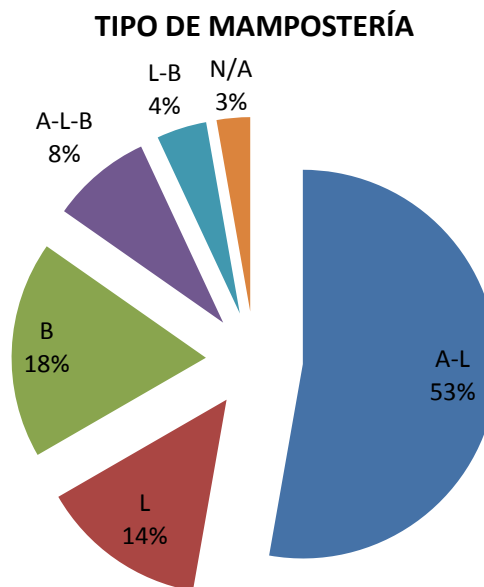
- |                |                  |
|----------------|------------------|
| Mamp Si - Port | Port - Pared Car |
| Mamp Simp      | Portico Acero    |
| Mixto          | Portico Concre   |

### Tipos de Mampostería

Esta característica nos puede proyectar más adelante de este estudio cual tipo de mampostería tiene un comportamiento mecánico que ponga en riesgo a la edificación y sus ocupantes, a continuación se presenta una tabla y una gráfica de los tipos de mampostería.

**Tabla 5.10 Muestra los tipos de mampostería y la cantidad de edificaciones por cada una de estas.**

TIPO DE MAMPOSTERÍA	TOTAL
A-L	38
L	10
B	13
A-L-B	6
L-B	3
N/A	2
	72



**Grafico 5.14 Muestra los porcentajes de las tipos de mampostería.**



Se puede apreciar que los porcentajes de A-L (adobe y ladrillo) son muy parecidos al de Mampostería Simple de la Grafica 5.14 siendo una similitud entre estas dos características, para el 3% de N/A (No Aplica) es para el caso de las galeras de perfiles de acero del mercado central, siendo la estructura principal.

Para representar cuantas edificaciones de cada tipo de mampostería se hallan en cada zona se presenta la siguiente grafica-tabla:

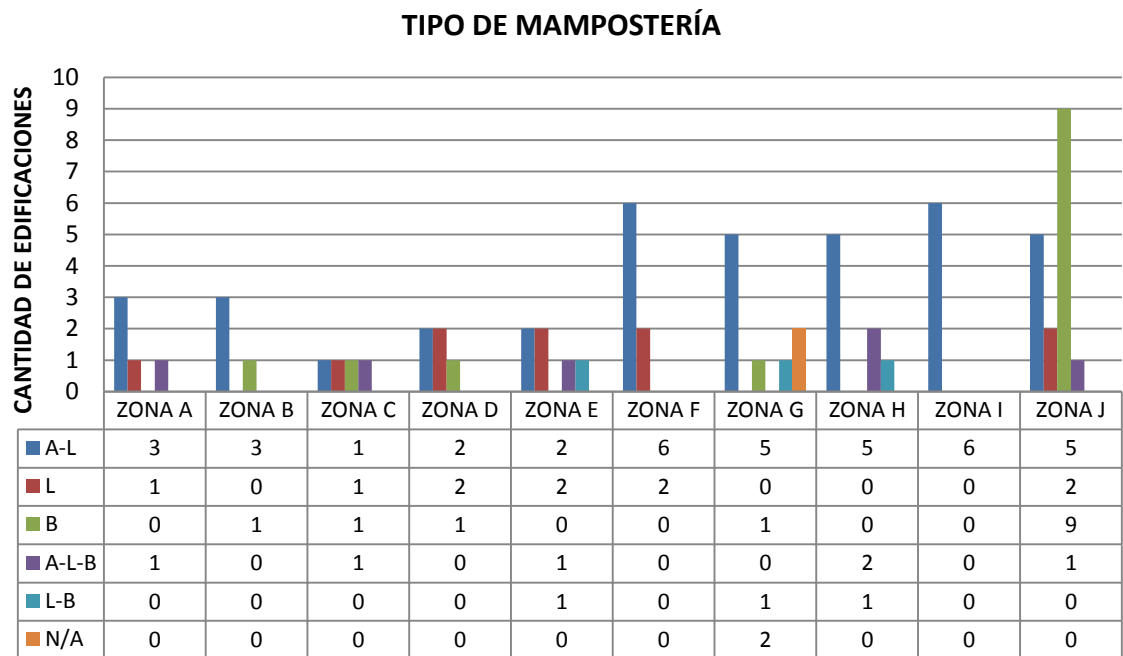


Grafico 5.15 Muestra las cantidades de edificaciones que tiene determinados materiales como mampostería.

En el mapa 5.4 se muestra la simbología de los tipos de mampostería en las edificaciones evaluadas y como es la distribución de esta característica en la zona, siendo la de mayor porcentaje más usuales, es decir la de Adobe y Ladrillo (A-L).

## MAPA 5.4 Tipos de mampostería de Edificaciones Evaluadas



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA







TRABAJO DE GRADO:  
 Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del  
 Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruiz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez

### Tipos de mampostería

 A-L	 L
 A-L-B	 L-B
 B	 No Aplica

## Usos

En los usos se puede obtener una cantidad aproximada de personas en diversas horas, como también un margen de aproximación de una pérdida socio-económica por un evento sísmico en el área de estudio. Los principales usos obtenidos son 8 y se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 5.11** Contabiliza los usos que tienen las edificaciones.

USOS	TOTAL
HABITACIONAL	7
COMERCIAL	21
INSTITUCIONAL	3
EDUCATIVO	19
RELIGIOSO	4
OTRO	6
PARTICULAR	5
MUNICIPAL	7
	72

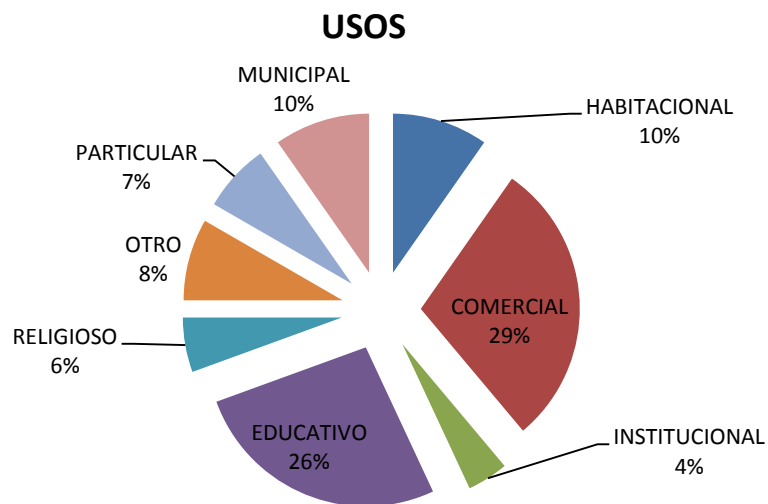


Grafico 5.16 Muestra los porcentajes de las usos que tienen las edificaciones evaluadas.

La mayor parte del uso de infraestructura del Centro Histórico de Santa Ana es para comercios varios y servicios educativos, siendo más de la mitad de las edificaciones evaluadas la suma de ambas; en el caso de muchas edificaciones, se debe recordar que existen inmuebles de gran área construida que se han dividido en varias propiedades solamente con la construcción de paredes divisorias manteniendo la fachada principal intacta, como es caso de la Casa Tigo Money, los dos ciber cafés evaluados, el comedor ANDA, entre otros, que son parte de una edificación mayor junto con otras aledañas y son de uso comercial.

En el caso de los centros escolares cuentan con terrenos amplios y con varias edificaciones que lo conforman, en total hay 8 instituciones educativas a las que se tuvo oportunidad de evaluar, tanto de educación básica como superior, pero son 19 edificaciones en total las que se inspeccionaron que tienen fines educativos evaluados en esas 8 instituciones, dichas instituciones son: la U.M.A., el C.E. Tomas Medina, el Colegio Dominico, C.E. Napoleón Ríos, C.E. Dr. Humberto Quinteros, Colegio Adventista, Colegio Manchester y C.E. José Martí.

La zona J presenta la mayor densidad de edificaciones para uso educativo, totalizando 9. Se presenta en la siguiente gráfica-tabla los diferentes usos de las edificaciones evaluadas y la cantidad en las diferentes zonas:

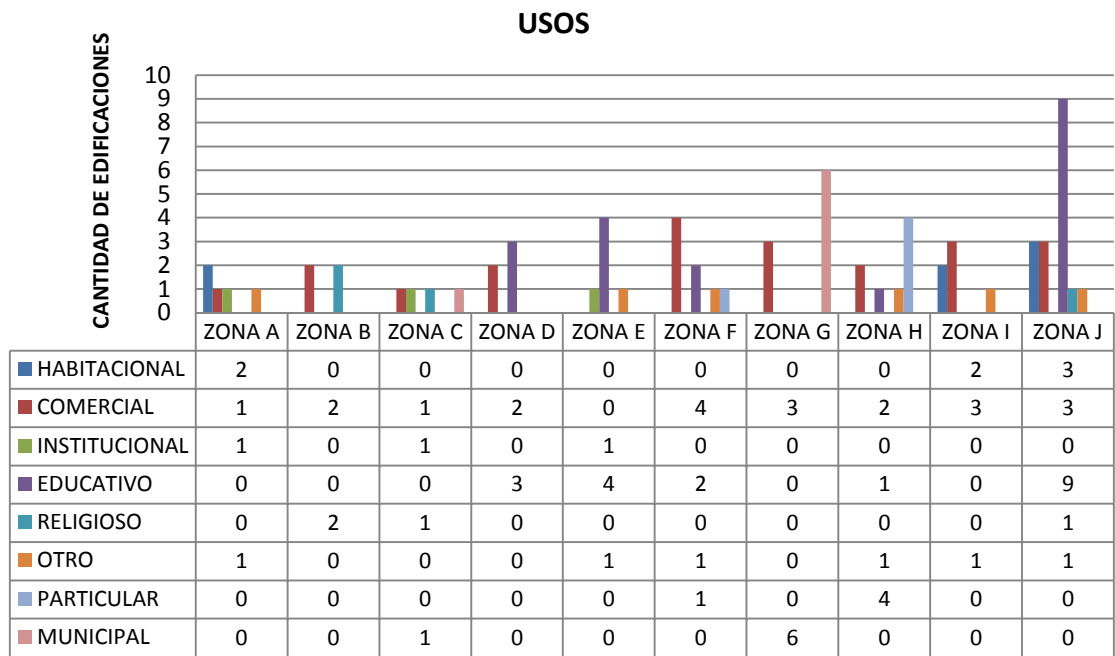


Grafico 5.17 Muestra los diferentes usos que tienen las edificaciones.

Como se observó en la tabla 5.11 y los gráficos 5.16 y 5.17 los usos más predominantes son los comerciales y educativos, pero no hay diferencias tan marcadas en esta característica como en las tipologías constructivas y el tipo de mampostería descritos en los párrafos anteriores. En el mapa 5.5 se muestra las edificaciones evaluadas y la distribución de los usos en el área de estudio.

## MAPA 5.5 Usos principales de Edificaciones Evaluadas



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADO:  
 Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del  
 Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruíz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez

### Tipos de Usos

- |               |            |
|---------------|------------|
| Comercial     | Municipal  |
| Educativo     | Otro       |
| Habitacional  | Particular |
| Institucional | Religioso  |



## Niveles

En este estudio solamente se toman construcciones de hasta tres niveles y las demás se resumen como “más de 3”, siendo éstas últimas las de menor cantidad en el área de estudio.

**Tabla 5.12 Muestra cuantas edificaciones existen en el área de estudio por nivel constructivo.**

NIVELES	TOTAL
1	47
2	20
3	4
MAS DE 3	1
	72

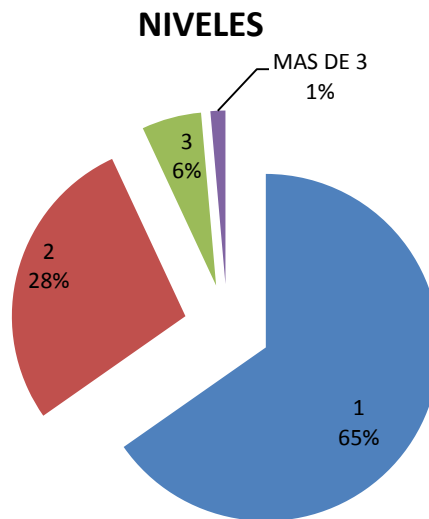
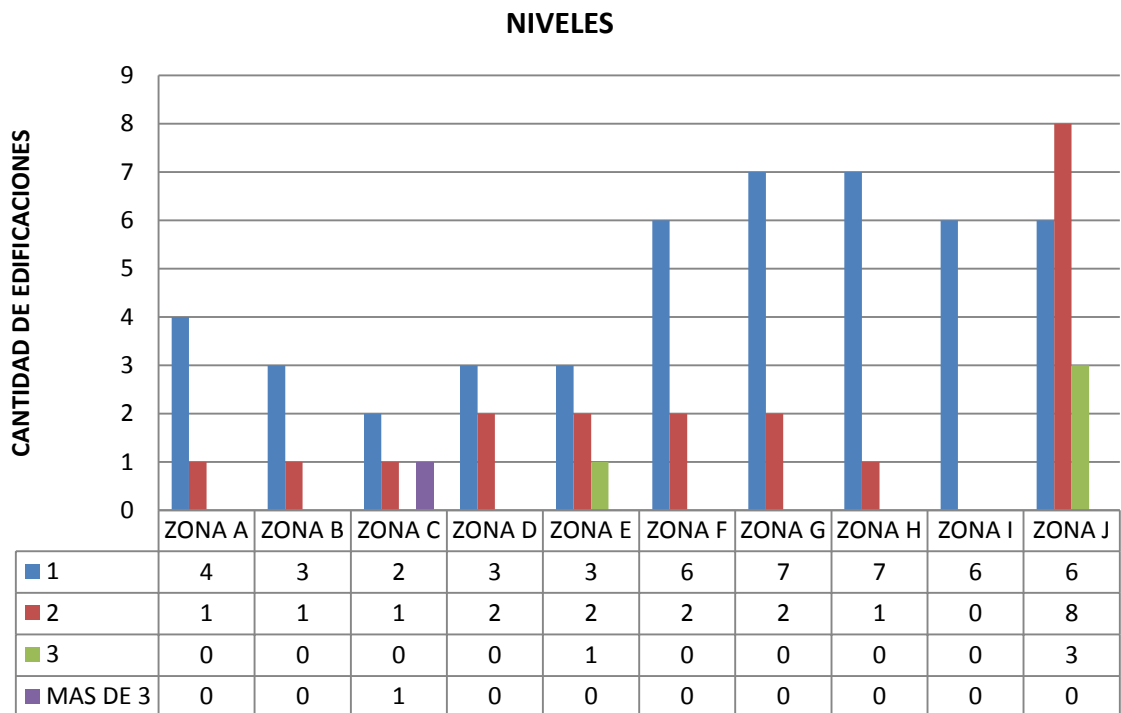


Grafico 5.18 Los porcentajes de los niveles constructivos se presentan en el gráfico.

Con 47 edificaciones evaluadas que corresponden al 65% del total, las construcciones de un nivel son las más frecuentes en el Centro Histórico de Santa Ana, en contraste con la única edificación evaluada de más de tres niveles que es el Centro Judicial que representa por aproximación a un número entero el 1%.

El 6% de las construcciones de tres niveles son representadas solamente por 4 edificaciones evaluadas, de éstas, tres están ubicadas en la zona J (dos son del Colegio Dominicano y el otro es el edificio de aulas de la U.M.A.) y la otra en la zona E (Hogar Casa del Niño).

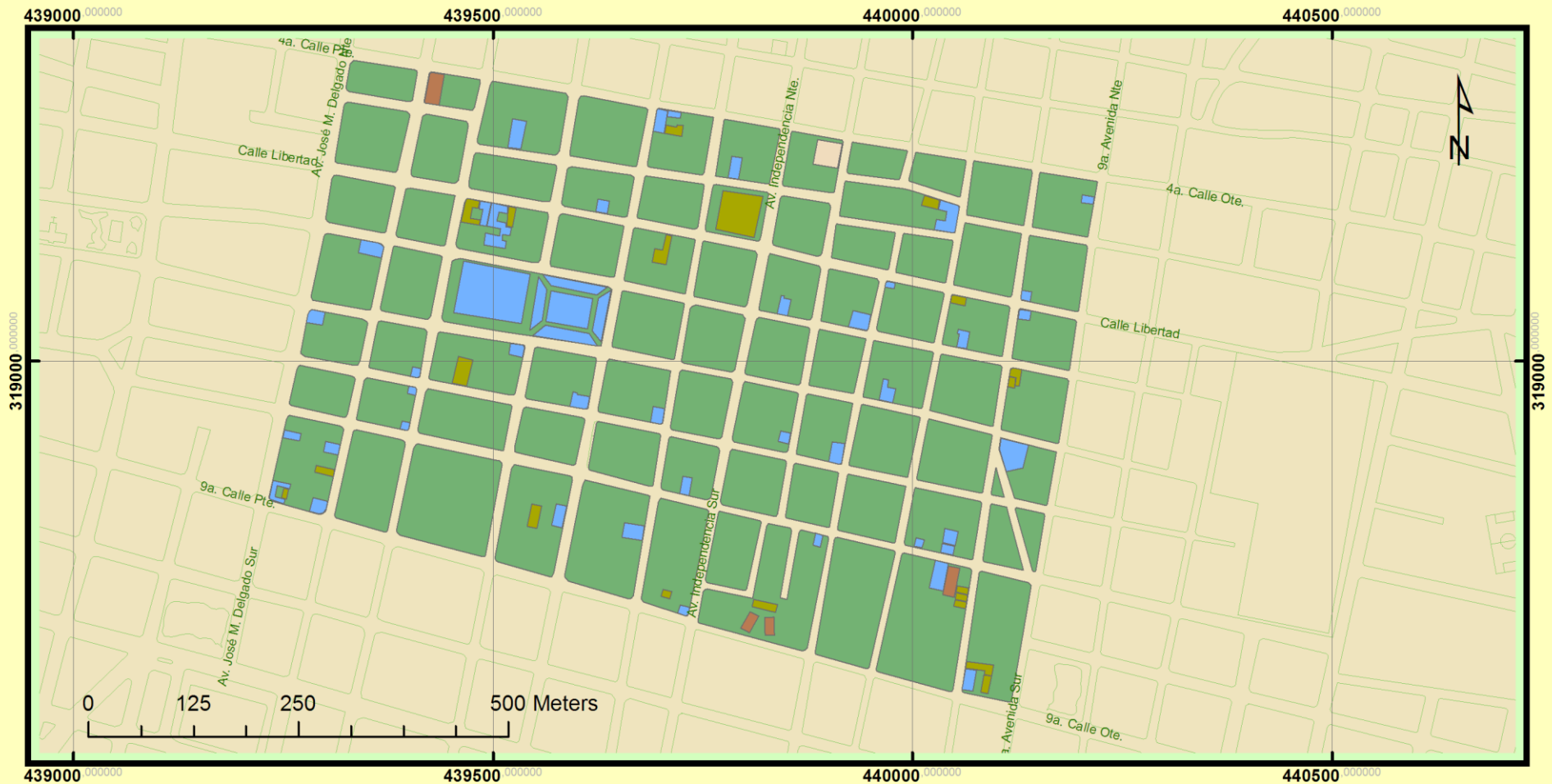
Nuevamente se presenta una gráfica tabla que ejemplifica la distribución de las edificaciones y los niveles constructivos en cada zona.



Gráfica 5.19 Se detalla la cantidad de edificaciones por zona y niveles constructivos.



## MAPA 5.6 Niveles Constructivos de Edificaciones Evaluadas



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADO:  
 Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del  
 Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruíz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez

### Niveles Constructivos

- 1
- 2
- 3
- Más de 3

Del mapa anterior se percibe como las edificaciones de un nivel son las más comunes en el Centro Histórico, esto debido a que son construcciones antiguas o las más económicas que las de dos niveles o más, esto implica que en la mayoría de los casos se ha obviado un diseño estructural y por ende normas de construcción.

### **5.3.3. Resultados de Evaluación**

En las evaluaciones se toman los parámetros descritos en los capítulos 3 (aspectos que ayudan a evaluar) y 4 (metodología) para inspeccionar las 72 edificaciones con la ficha de evaluación como herramienta principal, en las ponderaciones de vulnerabilidad baja (hasta 30% de las ponderaciones de la ficha) se coloca además un color verde como símbolo, amarillo en el caso de vulnerabilidad media (rango entre 30% y 60% de la ficha) y rojo para vulnerabilidad alta (más del 60%). Por el momento se presenta la tabla 5.ddd con los colores que simbolizan los grados de vulnerabilidad.

**Tabla 5.13. Caracterización de la Vulnerabilidad**

<b>GRADO DE VULNERABILIDAD</b>		
<b>VULNERABILIDAD</b>	<b>RANGO</b>	<b>COLOR DESCRIPTIVO</b>
<b>BAJA</b>	0% - 30%	<b>VERDE</b>
<b>MEDIA</b>	31% - 60%	<b>AMARILLO</b>
<b>ALTA</b>	61%	<b>ROJO</b>

**Tabla 5.14 Muestra las edificaciones evaluadas y su grado de vulnerabilidad global y por Aspecto evaluado.**

Zona	Nombre	ASPECTO EVALUATIVO					GRADO DE VULNERABILIDAD
		Estructural	Geotécnico	Constructivo	Geométrico	Entorno	
A	Casa Particular (Rodríguez)	Yellow	Green	Yellow	Red	Green	Yellow
A	Taller Carwash	Red	Green	Red	Yellow	Green	Yellow
A	Casa Ex-presidente	Red	Green	Red	Red	Yellow	Red
A	Sede FMLN	Yellow	Green	Red	Green	Green	Yellow
A	Casa (Intervención Alcaldía)	Red	Green	Red	Yellow	Yellow	Red
B	Oficina Parroquial, Catedral.	Red	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow
B	Salón Parroquial	Green	Green	Green	Green	Green	Green
B	Casa Tigo Money	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
B	Comedor (A.N.D.A)	Yellow	Green	Yellow	Green	Green	Yellow
C	Pakamara Café	Red	Yellow	Red	Green	Yellow	Yellow
C	Iglesia Comunidad de Fé	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Yellow
C	Centro Judicial	Green	Green	Green	Green	Green	Green
C	Alcaldía Municipal	Red	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
D	C.E. José Martí (Nuevo)	Green	Green	Green	Green	Green	Green
D	C.E. José Martí (Viejo)	Red	Green	Red	Yellow	Yellow	Red
D	C.E. José Martí (Aulas)	Green	Green	Green	Green	Green	Green
D	Comedor (madera)	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Green	Yellow

Zona	Nombre	ASPECTO EVALUATIVO					GRADO DE VULNERABILIDAD
		Estructural	Geotécnico	Constructivo	Geométrico	Entorno	
D	Librería						
E	C.E. Napoleón Ríos (antiguo)						
E	C.E. Napoleón Ríos (nuevo)						
E	Casa Abandonada (Villa Morena)						
E	C.E. Dr. Humberto Quinteros (antiguo)						
E	C.E. Dr. Humberto Quinteros (nuevo)						
E	Hogar Casa del Niño						
F	Muebles Sn José (Abandonado)						
F	Comedor Livingstone						
F	Muebles Millenium						
F	Muebles Gallardo						
F	Casa SPT						
F	C.E. Tomas Medina (Viejo)						
F	C.E. Tomas Medina (Nuevo)						
F	Parqueo Esquina						
G	Tipcom (Ventas)						
G	Tipcom (Taller)						
G	Mercado Central (Tramo Norte)						

Zona	Nombre	ASPECTO EVALUATIVO					GRADO DE VULNERABILIDAD
		Estructural	Geotécnico	Constructivo	Geométrico	Entorno	
G	Mercado Central (Tramo Este)	Red	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
G	Mercado Central (Tramo Sur)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
G	Mercado Central (Tramo Oeste)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
G	Mercado Central (Galera Este)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
G	Mercado Central (Galera Oeste)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
G	Carpintería	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
H	U.M.A. Clínica y Biblioteca	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
H	Barbería	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
H	Parqueo SPT	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
H	Comedor Centro	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
H	Muebles y óptica (Alcaldía)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
H	Comercial Sandoval	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
H	Parqueo Mercado	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
H	Parqueo (Ferretería)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
I	Venta de Ropa "Amy"	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
I	Casa Particular (Mariachi)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
I	Mesón Mariachi	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
I	Ciber Café (UMA)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

e	Nombre	ASPECTO EVALUATIVO					GRADO DE VULNERABILIDAD
		Estructural	Geotécnico	Constructivo	Geométrico	Entorno	
I	Talabaquería Reyes	Red	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
I	Casa Abandonada (Defens Consumidor)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Marielos Salón	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Marielos Salón (esquina)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Comedor (Josué)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	U.M.A. admón.	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	U.M.A. Edificio de Aulas	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Casa Habitacional 1	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Casa Habitacional 2	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Casa Habitacional 3	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Colegio Adventista (Templo)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Colegio Adventista (Viejo)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Colegio Adventista (Nuevo)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Colegio Manchester (Viejo)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Colegio Manchester (Fondo)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Ciber Café Fénix	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Colegio Dominicó (Edificio Norte)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Colegio Dominicó (Edificio Este)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
J	Colegio Dominicó (Edificio Oeste)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Para empezar con los comentarios se debe notar algo interesante en el Aspecto Geotécnico y es que ninguno está en la categoría de alto grado de vulnerabilidad, solamente 11 de las 72 edificaciones en nivel medio y el restante se encuentra con un grado de vulnerabilidad baja. Del mismo modo el Aspecto de Entorno no tiene ninguna edificación con un alto grado de vulnerabilidad y hay 25 de las 72 que están en nivel medio (un poco más de un tercio) y el resto en con un bajo grado nivel de vulnerabilidad. En el caso del Aspecto Geotécnico se podría dar un comentario adelantado del bajo puntaje obtenido de todas las edificaciones demostrando que el área del Centro Histórico presenta buenas características para cimentar y su comportamiento ante un sismo presenta una baja vulnerabilidad, no obstante, además de las evaluaciones se realizó un estudio de suelo en varios puntos del Centro Histórico y se recopilaron estudios de otras dos edificaciones y se comentará más a profundidad más adelante en este capítulo.

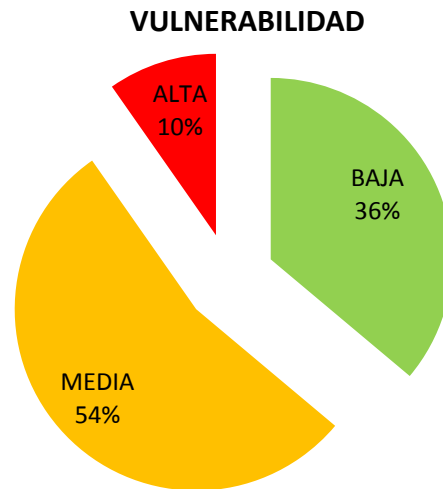
De la tabla 5.13 se sustrae un resumen de las edificaciones por grado de vulnerabilidad, y se contabilizan en la tabla 5.14 mostrada a continuación:

**Tabla 5.15 Muestra los grados de vulnerabilidad general de las edificaciones.**

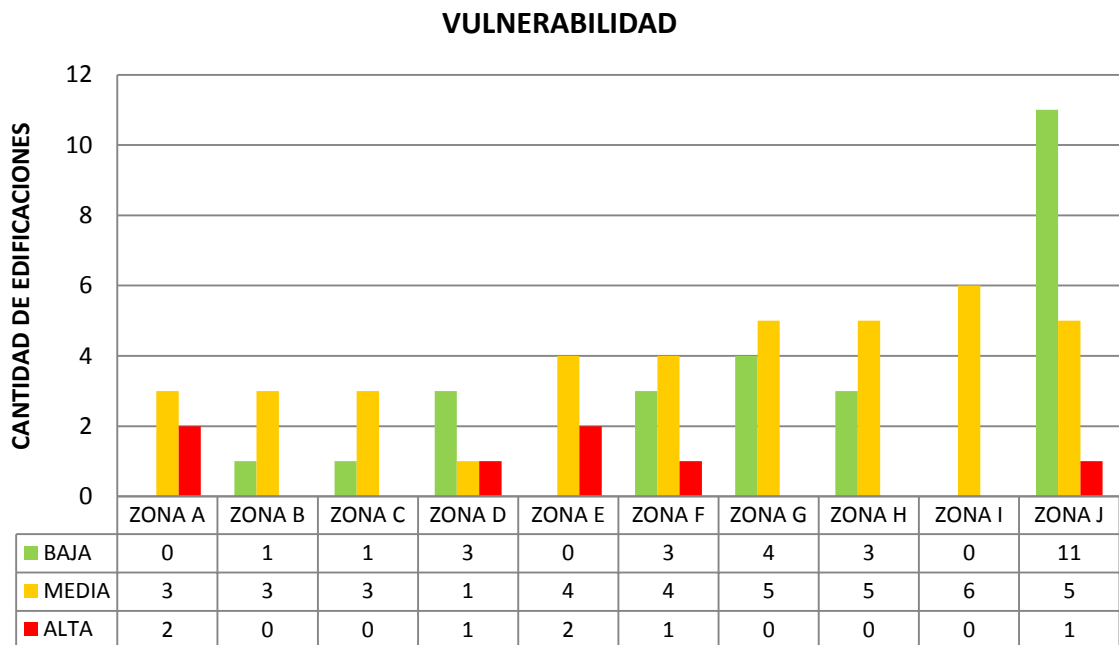
VULNERABILIDAD	#
BAJA	26
MEDIA	39
ALTA	7
	72

La mayor parte de edificaciones tienen un grado de vulnerabilidad media y en orden descendente están los niveles bajo y medio que se presentan en la gráfica 5.20 los

porcentajes de cada uno. Del mismo modo en la gráfica-tabla 5.21 se muestran las zonas y la cantidad de edificaciones que tienen determinado nivel de vulnerabilidad.



Grafica 5.20 Muestra los porcentajes obtenidos por grado de vulnerabilidad.



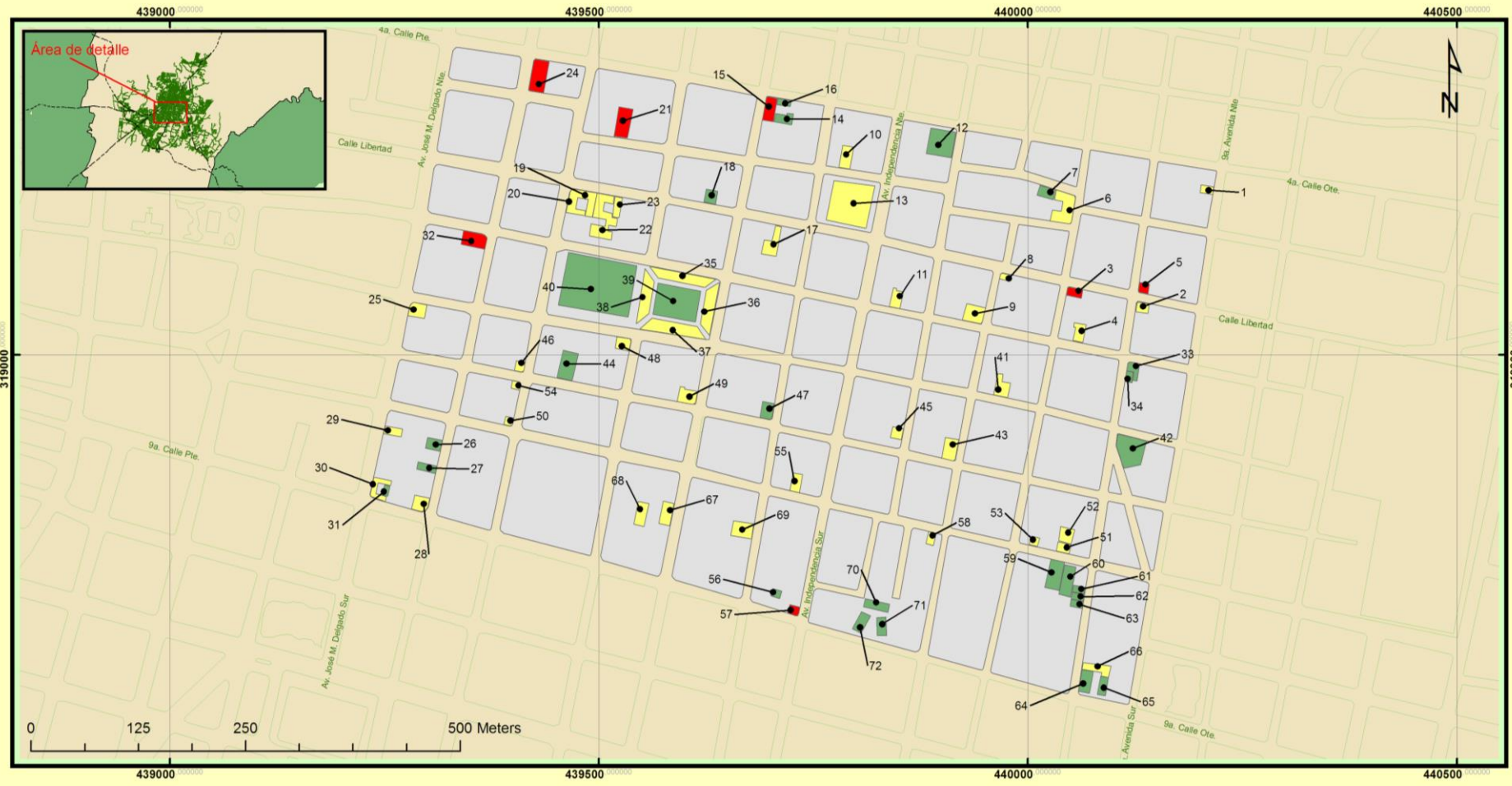
Grafica 5.21 Muestra las cantidades de edificaciones por grado de vulnerabilidad.



De la gráfica 5.21 se observa que en todas las zonas existen edificaciones con vulnerabilidad media, siendo un caso particular la zona I donde todas las construcciones inspeccionadas se encuentran en esta categoría. En la mitad de las zonas existen construcciones con nivel alto de vulnerabilidad (5 zonas de 10) y en 7 zonas de las 10 hay edificaciones se encuentran con vulnerabilidad baja, siendo la zona J la que tiene la mayor cantidad (11) de edificaciones.

En el mapa 5.7 se muestra cada una de las edificaciones con el color que le cataloga su grado de vulnerabilidad, se aprecia como todos los niveles de vulnerabilidad no presentan un patrón por zona de riesgo dado que no hay fallas geológicas cercanas que puedan generar directamente una influencia en las edificaciones.

# MAPA 5.7 Grados de Vulnerabilidad



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADO:  
 Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del  
 Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruiz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez

**SIMBOLOGÍA**

<span style="color: green;">■</span>	0% - 30%	Vulnerabilidad Baja
<span style="color: yellow;">■</span>	30% - 60%	Vulnerabilidad Media
<span style="color: red;">■</span>	60% - 100%	Vulnerabilidad Alta
<span style="color: lightgrey;">■</span>		Área de Estudio

**NOTA:**  
 Las áreas de las edificaciones en el  
 mapa son meramente ilustrativas y  
 no representan el área real de los  
 inmuebles evaluados.  
 En la Tabla 5.6 se muestran los  
 nombres de las edificaciones con el  
 respectivo número correlativo.

Para comprender de mejor manera las evaluaciones y los grados de vulnerabilidad de las edificaciones, se presentan los tres tipos de vulnerabilidad, la baja, media y alta en los siguientes párrafos con ejemplos en cada uno de ellos.

#### Edificaciones con Vulnerabilidad Baja

Este nivel que llega hasta un 30% de la calificación de la ficha de evaluación nos indica aquellas edificaciones que corren un riesgo menor en un evento sísmico por lo que estudiar las características de estas, muestra los parámetros que hacen de una edificación tenga un mejor comportamiento ante dicho evento.

De las 26 edificaciones que están en esta categoría, casi un tercio se ubica en la zona J debido a que es el área que aporta la mayor cantidad de edificaciones evaluadas del Centro Histórico de Santa Ana.

A continuación se presenta una tabla que contiene todas las edificaciones con vulnerabilidad baja con todas las características descritas en la sección 5.3.2 de este capítulo, los porcentajes de cada aspecto evaluado y la calificación total, para luego mostrar cuatro tablas

**Tabla 5.16 Muestra cada edificación con nivele bajo de vulnerabilidad junto con algunos parámetros y aspectos evaluados.**

Zona	Nombre	Tipología Constructiva	Tipo de mampostería predominante	Uso	Nivel	ASPECTO EVALUATIVO					GRADO DE VULNERABILIDAD
						Estructural	Geotécnico	Constructivo	Geométrico	Entorno	
B	Salón Parroquial	Port - Pared Car	B	Religioso	2	6,24	2,4	0,36	1,02	1,08	11,1
C	Centro Judicial	Pórtico Concre	B	Institucional	5	9,75	4,13	0,45	0,83	0,75	15,91
D	C.E. José Martí (Nuevo)	Pórtico Concre	B	Educativo	2	10,06	3,11	0,62	1,24	0,85	15,88
D	C.E. José Martí (Aulas)	Mixto	L	Educativo	1	15,23	2,33	1,13	0,33	1,53	20,55
D	Librería	Mampost Simp	L	Comercial	1	20,12	2,68	1,3	1,22	0,99	26,31
F	Comedor Livingston	Mixto	A-L	Comercial	1	15,67	4,23	3,06	1,04	1,04	25,04
F	Muebles Millenium	Port - Pared Car	L	Comercial	2	14,62	4,42	3,74	5,1	0,88	28,76
F	C.E. Tomas Medina (Nuevo)	Port - Pared Car	L	Educativo	2	10,91	4,32	1,13	1,13	1,06	18,55
G	Tipcom (Ventas)	Mixto	L-B	Comercial	2	11,73	3,93	0,79	3,58	2	22,03
G	Tipcom (Taller)	Pórtico Concre	B	Comercial	2	13,51	3,85	0,77	1,19	1,96	21,28
G	Mercado Central (Galera Este)	Pórtico Acero	N/A	Municipal	1	2,46	2,66	0	0,33	1,13	6,58
G	Mercado Central (Galera Oeste)	Pórtico Acero	N/A	Municipal	1	15,72	3,16	0	0,4	1,34	20,62
H	U.M.A. Clínica y Biblioteca	Mampost Simp	L-B	Educativo	1	15,48	5,1	1,38	3,66	0,6	26,22
H	Parqueo SPT	Mamp Si - Port	A-L-B	Particular	2	11,96	3,16	3,91	1,27	1,32	21,62
H	Comercial Sandoval	Mixto	A	Comercial	1	13,69	4,97	4,21	1,99	2,07	26,93
J	Marielos Salón	Mamp Si - Port	B	Comercial	2	15,08	4,23	2,02	6,18	0,65	28,16
J	U.M.A. admón.	Mampost Simp	A-L	Educativo	1	18,79	3,25	3,84	2,99	0,65	29,52
J	U.M.A. Edificio de Aulas	Pórtico Concre	B	Educativo	3	9,88	3,58	0,72	1,04	1,24	16,46
J	Casa Habitacional 1	Port - Pared Car	B	Habitacional	2	9,22	2,06	1,08	1,24	0,82	14,42

Zona	Nombre	Tipología Constructiva	Tipo de mampostería predominante	Uso	Nivel	ASPECTO EVALUATIVO					GRADO DE VULNERABILIDAD
						Estructural	Geotécnico	Constructivo	Geométrico	Entorno	
J	Casa Habitacional 2	Port - Pared Car	B	Habitacional	2	9,22	2,06	1,08	1,24	0,82	14,42
J	Casa Habitacional 3	Port - Pared Car	B	Habitacional	2	9,22	2,06	1,08	1,24	0,82	14,42
J	Colegio Adventista (Templo)	Mamp Si - Port	L	Religioso	1	14,46	2,68	2,45	0,38	0,92	20,89
J	Colegio Adventista (Viejo)	Mamp Si - Port	B	Educativo	2	9,95	3,58	2,02	6,18	0,91	22,64
J	Colegio Dominicó (Edificio Norte)	Port - Pared Car	L	Educativo	2	12,17	3,66	1,13	1,46	1,2	19,62
J	Colegio Dominicó (Edificio Este)	Port - Pared Car	B	Educativo	3	7,15	2,2	0,61	2,59	0,77	13,32
J	Colegio Dominicó (Edificio Oeste)	Port - Pared Car	B	Educativo	3	6,6	2,2	0,61	3,96	0,77	14,14

Tabla 5.17

TIPOLOGÍA	#
Mixto	4
Mamp Simp	3
Port - Pared Car	9
Portico Concre	4
Mamp Si - Port	4
Portico Acero	2
<b>26</b>	

Tabla 5.18

TIPO DE MAMPOSTERÍA	#
A-L	3
L	6
B	12
A-L-B	1
L-B	2
N/A	2
<b>26</b>	

Tabla 5.19

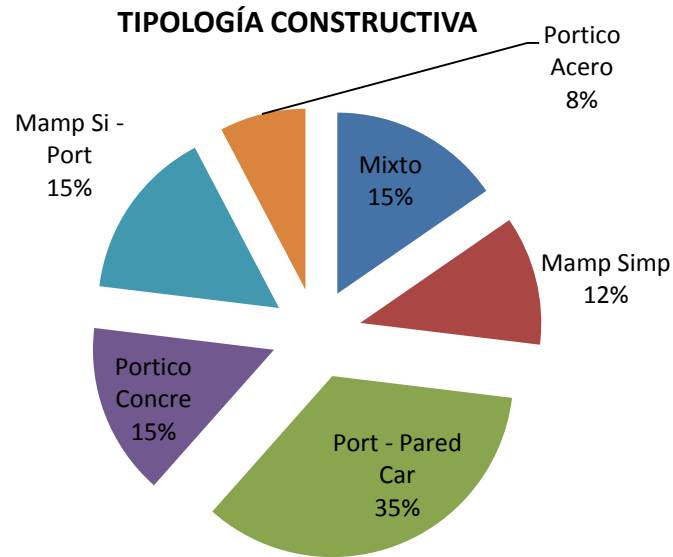
USOS	#
Habitacional	3
Comercial	7
Institucional	1
Municipal	2
Educativo	10
Particular	1
Otro	0
Religioso	2
<b>26</b>	

Tabla 5.20

NIVELES	#
1 nivel	9
2 niveles	13
3 niveles	3
MAS DE 3	1
<b>26</b>	

Las Tablas 5.17 a la 5.19 muestran las características de las edificaciones que tienen bajo nivel de vulnerabilidad y las cantidades de edificaciones respectivas.

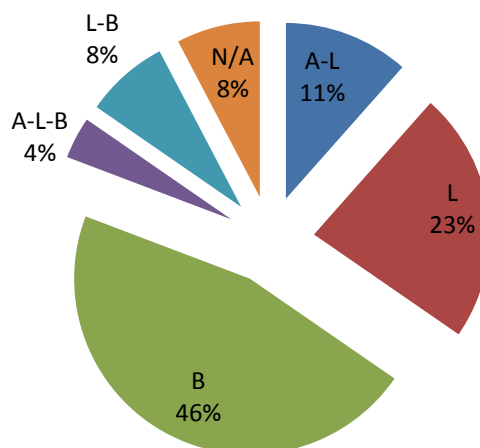
Para representar de mejor manera los resultados se comparan en graficas circulares las tablas mostradas para ver en los porcentajes de las características algunos patrones que puedan ayudar a dar unas conclusiones al final del estudio de vulnerabilidad.



Grafica 5.22 Muestra las tipologías constructivas con vulnerabilidad baja.

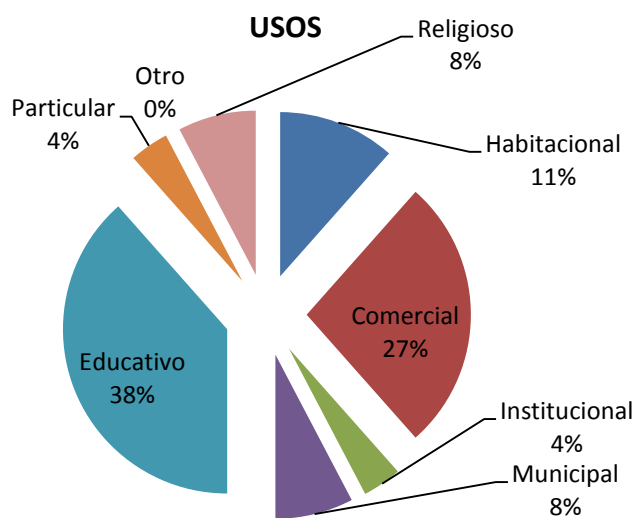
De esta gráfica se puede mencionar que las edificaciones de pórticos de concreto (4) y pórticos de acero (2) están todas con un grado de vulnerabilidad baja, siendo uno de los sistemas constructivos más eficientes por su diseño estructural ante un terremoto. En contraste con las construcciones de mampostería simple que en primera instancia son antiguas y tienen solo 3 edificaciones (el 12%) con bajo nivel de vulnerabilidad (un 7.5% de todas las edificaciones de esta tipología). De las otras tipologías hay dispersas en los tres grados de vulnerabilidad y se verán más adelante.

### TIPO DE MAMPOSTERÍA



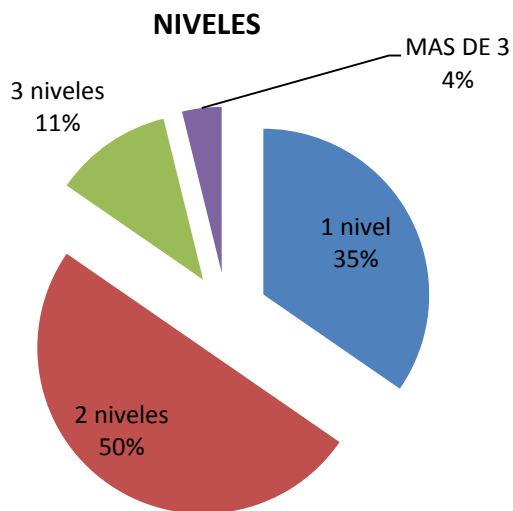
Grafica 5.23 Muestra los tipos de mampostería en las edificaciones con vulnerabilidad baja.

La característica más relevante de esta gráfica es que en todo el área evaluada existen 13 edificaciones con bloque de concreto, de estas hay 12 (46% de la gráfica) en esta categoría que se está describiendo, ósea el 92% de todas las construidas con este material.



Grafica 5.24 Muestra cuales son los usos predominantes en las edificaciones evaluadas como grado de vulnerabilidad baja.

Es muy importante destacar que el 38% de las evaluaciones (10 edificaciones) pertenecen a centros educativos (19 de las 72 inspeccionadas) en la mayoría de los casos son construcciones más contemporáneas que algunas edificaciones del mismo centro educativo.



Grafica 5.25 Muestra cuales son los usos predominantes en las edificaciones evaluadas como grado de vulnerabilidad baja.

Esta gráfica también es consecuente con las anteriores, dado que las construcciones de los centros educativos del gráfico anterior son de dos niveles y elaborados de pórticos o pórticos con paredes de carga como sistema constructivo y paredes de bloque de concreto.

Con grado de vulnerabilidad baja se comentan a continuación el edificio de aulas de la U.M.A. y los edificios del Colegio Dominico:



### *Colegio Dominico*

Fue inspeccionado el día 22 de mayo de 2014 desde las 3:00p.m. (15:00 horas), y se tuvieron detalles de estudios de suelo y planos estructurales por parte de la Hna. Rosa, directora del centro de estudios y otros datos manifestados por ella; en la institución se encuentran tres edificaciones principales, siendo todas de pórticos con paredes de carga, dos de tres niveles (paredes de bloques de concreto) construidas en el año 2010 y una de dos niveles (paredes de ladrillo cocido) construida en la década de los 90, teniendo en todos los casos un mantenimiento efectivo contra cualquier evento



Figura 5.1 Se aprecia el pasillo de edificio norte del colegio y las columnas de concreto.

El edificio norte tiene tres aulas por nivel y el entepiso es de losa densa, el techo es de lámina de fibrocemento; en los aspectos evaluados no se encontraron grietas en elementos estructurales ni señales de filtración en los techos, solamente un detalle de la ubicación de una cisterna que se encuentra en la parte alta de las escaleras de acceso a la segunda planta.



Figura 5.2 Muestra el pasillo del edificio este y detalles como pasamanos, cielo falso y mantenimiento a la estructura



Figura 5.3 Muestra el costado del edificio oeste.

Los dos edificios Este y Oeste tienen construcciones muy modernas y en los elementos estructurales solamente se encontraron pequeñas fisuras en la losa del primer nivel (losa aligerada) en las líneas de las viguetas, siendo superficiales por el momento.

*Edificio de Aulas de la U.M.A.*

En este edificio se tuvo acceso a todas las aulas aunque no se pudo tener información de esta, por lo tanto en la inspección se realizó un estudio con el esclerómetro que en las siguientes secciones se retoma. En término general todo el edificio se encuentra en óptimas condiciones y en el diseño se pudo constatar que se seccionó en cuatro partes teniendo juntas de dilatación en forma simétrica a la mitad de sus longitudes principales en planta. El techo no tiene fisuras y los elementos de aire acondicionado están anclados de forma correcta.



Figura 5.4 Muestra el costado del edificio oeste.



Figura 5.5 Muestra la fachada principal de la universidad, se puede apreciar la junta de dilatación.

### Edificaciones con Vulnerabilidad Media

De antemano se conoce que en este rango de 30% al 60% de la ficha de evaluación se tiene la mayor cantidad de edificaciones, un total de 39 estructuras evaluadas, siendo el 56% del total.

Nuevamente se procede a presentar primeramente la tabla 5.eee donde se encuentra la lista de edificaciones en esta categoría, junto con las calificaciones que se dieron en la inspección para luego presentar las cuatro tablas que presentan un resumen de las cantidades de edificaciones con cada categoría general, después se presentan las gráficas de estas tablas y por último unos ejemplos de edificaciones evaluadas con grado de vulnerabilidad media.

**Tabla 5.21 Muestra todas las edificaciones con grado de vulnerabilidad media.**

Zona	Nombre	Tipología Constructiva	Tipo de mampostería predominante	Uso	Nivel	ASPECTO EVALUATIVO					GRADO DE VULNERABILIDAD
						Estructural	Geotécnico	Constructivo	Geométrico	Entorno	
A	Casa Particular (Rodríguez)	Mixto	A-L-B	Habitacional	1	20,61	5,23	4,11	6,12	1,29	37,36
A	Taller Carwash	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	39,7	4,33	7,79	3,46	0,87	56,15
A	Sede FMLN	Mampost Simp	A-L	Institucional	1	29,45	3,83	7,42	2,3	0,77	43,77
B	Oficina Parroquial, Catedral.	Mampost Simp	A-L	Religioso	1	35,52	5,4	5,64	2,91	1,91	51,38
B	Casa Tigo Money	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	25,34	6,06	4,07	3,03	2,77	41,27
B	Comedor (A.N.D.A)	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	23,78	3,75	4,28	1,13	1,13	34,07
C	Pakamara Café	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	39,34	6,05	8,09	0,93	1,86	56,27
C	Iglesia Comunidad de Fé	Mampost Simp	A-L-B	Religioso	1	27,15	4,88	6,83	3	1,05	42,91
C	Alcaldía Municipal	Mampost Simp	L	Municipal	2	35,39	4,53	2,9	1,54	2,08	46,44
D	Comedor (madera)	Mixto	A-L	Comercial	2	21,19	4,23	3,71	3,71	1,3	34,14
E	C.E. Napoleón Ríos (antiguo)	Mampost Simp	A-L-B	Educativo	1	30,32	7,24	6,15	5,61	1,99	51,31
E	C.E. Napoleón Ríos (nuevo)	Mixto	L-B	Educativo	2	38,67	4,33	5,8	4,76	1,99	55,55
E	C.E. Dr. Humberto Quinteros (antiguo)	Mampost Simp	A-L	Educativo	1	34,77	7,23	9,95	2,98	1,96	56,89
E	C.E. Dr. Humberto Quinteros (nuevo)	Mamp Si - Port	L	Educativo	2	17,9	7,27	2,07	3,44	1,76	32,44
F	Muebles Sn José (Abandonado)	Mampost Simp	A-L	Otro	1	31,12	4	6,56	0,4	2,4	44,48
F	Muebles Gallardo	Mamp Si - Port	A-L	Comercial	1	30,97	3,9	9,13	5,07	2,03	51,1
F	Casa SPT	Mixto	A-L	Comercial	1	33,38	4,29	4,84	5,07	1,01	48,59
F	C.E. Tomas Medina (Viejo)	Mampost Simp	A-L	Educativo	1	27,03	4,25	5,27	2,13	1,28	39,96

Zona	Nombre	Tipología Constructiva	Tipo de mampostería predominante	Uso	Nivel	ASPECTO EVALUATIVO					GRADO DE VULNERABILIDAD
						Estructural	Geotécnico	Constructivo	Geométrico	Entorno	
G	Mercado Central (Tramo Norte)	Mampost Simp	A-L	Municipal	1	36,35	4,15	9,3	4,98	1,41	56,19
G	Mercado Central (Tramo Este)	Mampost Simp	A-L	Municipal	1	36,35	4,15	10,13	4,98	1,41	57,02
G	Mercado Central (Tramo Sur)	Mampost Simp	A-L	Municipal	1	36,02	4,15	7,22	4,98	1,41	53,78
G	Mercado Central (Tramo Oeste)	Mampost Simp	A-L	Municipal	1	38,84	4,15	10,13	4,98	1,41	59,51
G	Carpintería	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	28,13	3,75	5,4	1,13	1,5	39,91
H	Barbería	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	35,61	6,27	8,4	4,44	2,12	56,84
H	Comedor Centro	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	28,11	4,33	5,36	3,98	1,56	43,34
H	Muebles y óptica (Alcaldía)	Mampost Simp	A-L-B	Otro	1	27,44	4	5,44	2,8	2,64	42,32
H	Parqueo Mercado	Mampost Simp	A-L	Particular	1	32,78	6,65	10,45	6,18	2,38	58,44
H	Parqueo (Ferretería)	Mampost Simp	A-L	Particular	1	32,11	4,75	7,6	6,65	2,95	54,06
I	Venta de Ropa "Amy"	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	25,43	3,75	4,28	2,63	0,68	36,77
I	Casa Particular (Mariachi)	Mampost Simp	A-L	Habitacional	1	18,53	2,63	3,53	5,7	1,2	31,59
I	Mesón Mariachi	Mampost Simp	A-L	Habitacional	1	34,79	2,73	4,84	7,49	1,25	51,10
I	Ciber Café (UMA)	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	28,73	3,75	4,65	0,38	1,5	39,01
I	Talabaquería Reyes	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	33,45	4,15	12,37	5,4	1,58	56,95
I	Casa Abandonada (Defens Consumidor)	Mamp Si - Port	A-L	Otro	1	41,27	5,25	6,51	2,1	3,26	58,39
J	Comedor (Josué)	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	36,19	4,29	7,96	3,12	1,25	52,81
J	Colegio Adventista (Nuevo)	Mamp Si - Port	B	Educativo	2	15,3	3,74	4,76	5,37	1,09	30,26
J	Colegio Manchester (Viejo)	Mampost Simp	A-L	Educativo	1	25,58	3,75	4,28	0,38	1,95	35,94
J	Colegio Manchester (Fondo)	Mamp Si - Port	A-L-B	Educativo	2	18,3	3	4,5	3,6	1,56	30,96
J	Ciber Café Fénix	Mampost Simp	A-L	Comercial	1	23,78	3,75	3,53	3,38	1,2	35,64

**Tablas 5.22 a la 5.25 Muestran las características generales de las edificaciones con nivel medio de vulnerabilidad**

Tabla 5.22

TIPOLOGÍA	#
Mixto	4
Mampost Simp	30
Port - Pared Car	0
Portico Concre	0
Mamp Si - Port	5
Portico Acero	0
<b>39</b>	

Tabla 5.23

TIPO DE MAMPOSTERÍA	#
A-L	30
L	2
B	1
A-L-B	5
L-B	1
N/A	0
<b>39</b>	

Tabla 5.24

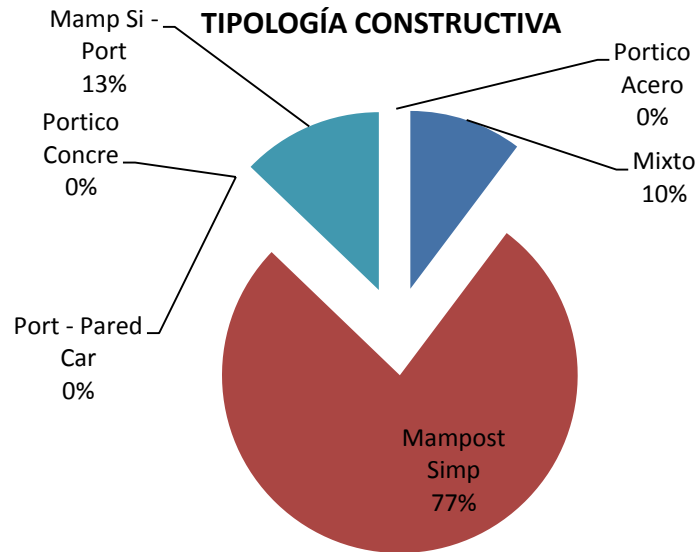
USOS	#
Habitacional	3
Comercial	14
Institucional	1
Municipal	5
Educativo	8
Particular	3
Otro	3
Religioso	2
<b>39</b>	

Tabla 5.25

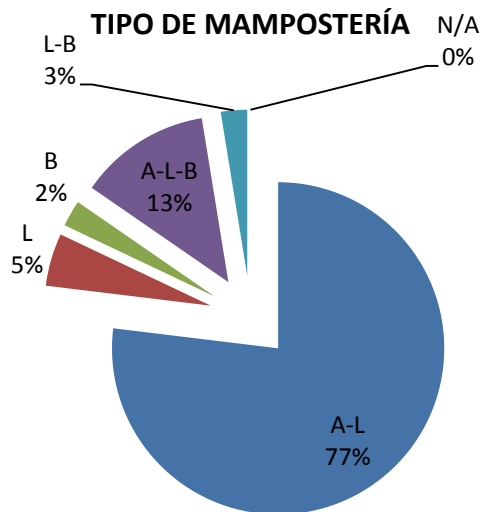
NIVELES	#
1 nivel	33
2 niveles	6
3 niveles	0
3+	0
<b>39</b>	

De las dos primeras tablas se puede correlacionar la mampostería simple en Tipologías constructivas y A-L (adobe con ladrillo) en el tipo de mampostería que aunque tienen ambas 30 edificaciones, en 27 de estas se encuentran ambas, esto es el 69% de todas las edificaciones con vulnerabilidad media. De la misma manera al comparar las edificaciones que tienen un solo nivel, de las 33 hay 26 que son de mampostería simple y paredes de adobe con ladrillo cocido siendo un patrón frecuente en este grado de vulnerabilidad.

A continuación se muestra la gráfica de las tipologías constructivas:

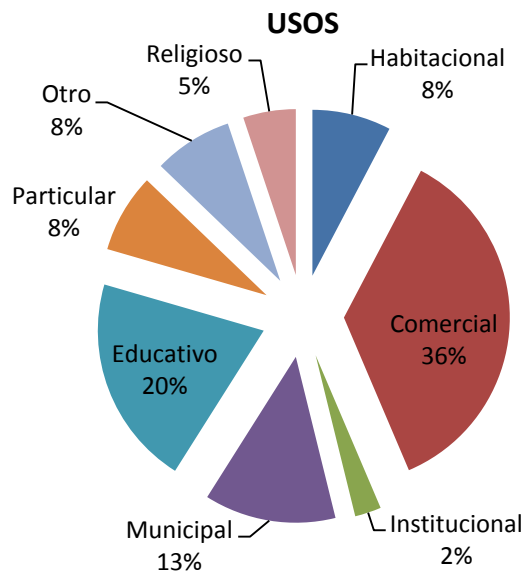


Tablas5.26 Muestran los porcentajes de las tipologías constructivas encontradas en las evaluaciones con vulnerabilidad media



Tablas5.27 Muestran los porcentajes correspondientes a los tipos de mampostería de las edificaciones con nivel medio.



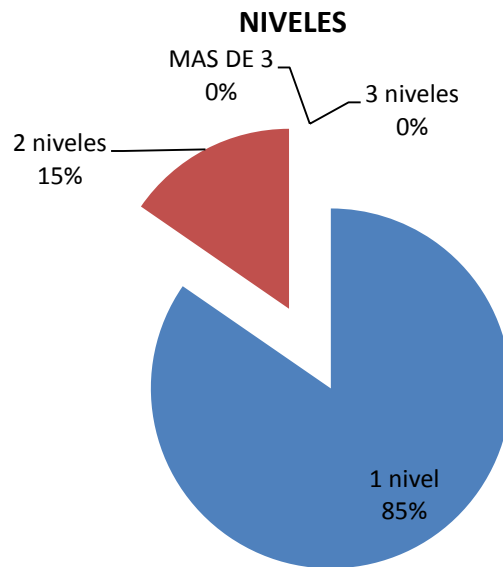


Tablas5.28 Muestran las características generales de las edificaciones

En la gráfica 5.28 de los usos se puede comentar que del 20% correspondiente a las edificaciones con fines educativos, 3 de estas 8 estructuras tienen más del 50% en la puntuación de la ficha por lo que se debe hacer una revisión especializada en los aspectos evaluados para que los educandos puedan estar de forma segura al intervenir en las áreas con deficiencia.

Otro comentario importante es las de carácter municipal, exactamente remarcando el mercado municipal por su avanzado deterioro de la parte oeste que fue afectada en 1998 por un incendio que dañó el techo y en las partes altas de las puertas de acceso al interior (donde están la galera oeste) no hay estructuras que las unan, por lo tanto se comportan aisladamente en cuatro segmentos. Las ponderaciones del mercado central construido de adobe y ladrillo varían entre el 53.78% y el 59.51%, muy cercano al grado de

vulnerabilidad alto. El otro edificio perteneciente a la Municipalidad de Santa Ana es la que funciona como Alcaldía Municipal, es una estructura de dos plantas hecha de ladrillo calavera y entrepiso de madera, en el sector sur oeste se deterioró la estructura de entrepiso y es un riesgo para los usuarios de los servicios que presta la alcaldía y el personal que labora en el mismo.



Tablas5.29 Muestran las características generales de las edificaciones

Los niveles constructivos son de un nivel en su mayoría por lo que se observa que la mayoría son de Adobe con ladrillo o tienen elementos de mampostería simple en su construcción.

De las edificaciones que se comentaran con grado de vulnerabilidad media están: la Casa Rodríguez, Pakamara Café, C.E. Napoleón Ríos.

### *Casa Rodríguez*

Esta es una edificación de uso habitacional con paredes perimetrales de adobe con ladrillo, internamente se ha construido un cuarto de ladrillo cocido, el techo es de estructura de madera y cubierta con materiales que van desde láminas de fibrocemento, lámina tradicional y teja.



Figura 5.6 Muestra la fachada principal de la vivienda.

Entre los elementos de riesgo observados esta en los marcos de dos puertas que tienen ventanal a un nivel diferente sin ningún refuerzo como columnas o pared, por esta razón la parte arriba de las puertas solamente la sostiene el angular que sirve de mocheta de la puerta, se observa en la siguiente figura este detalle.



Figura 5.7 Muestra la parte alta de la puerta solamente sostenida por un angular de hierro de 1” a un nivel distinto del ventanal. También se observa el estado del cielo falso en deterioro

La puerta debería tener alrededor suyo un marco de concreto que sostenga el peso de la mampostería y arriostre el ventanal al colocarlo a nivel de una solera de coronamiento, además el ventanal solamente es sostenido por su peso dado que la lechada (mortero) entre baldosas es mínima y se le ha colocado una varilla que no tiene función alguna de refuerzo.

La estructura que sostiene el techo se encuentra con ataque de insectos tanto en vigas principales como secundarias (Figura 5.7), que sumadas al tipo de techo que es pesado, se puede desplomar con algún temblor de magnitud considerable. Las paredes tienen algunas fisuras por cortante y en las uniones de paredes, que aunque son reducidas pueden seguir dañando la estructura al propagarse con otros terremotos.



Figura 5.8 Vista parcial de los cargaderos que sostienen la estructura de techo, tiene algunos daños por insectos y pudrición interna.

### *Pakamara Café*

Este establecimiento se encuentra al norte de la Alcaldía Municipal y su estructura principal es de adobe y ladrillo, a principios del siglo XX funcionó como centro escolar junto con las edificaciones aledañas y ahora es ocupada como un café gourmet y para el alquiler de bicicletas personalizadas para turistas. Entre los elementos que lo distinguen se puede mencionar el tipo de cielo falso que es de lámina repujada, que en la mayoría de los casos fue importada de Europa y tiene algunas señales de oxidación, probablemente por filtración de agua, se muestra en la figura 5.re el detalle de este elemento.



Figura 5.9 Vista del cielo falso de lámina repujada.

Del total del área del inmueble evaluado, el 50% que es el frontal se encuentra en buenas condiciones y es el utilizado para el Pakamara Café, el área posterior se encuentra severamente dañada y no se utiliza, el techo ya no se encuentra y esta como área libre. La figura 5.qqq muestra los servicios sanitarios que se utilizaron cuando funcionó como centro escolar, la figura 5.ww es una sección de puerta con una fisura muy grande en la pared del costado. Por no utilizarse esta área su calificación no subió al nivel alto de vulnerabilidad, siendo necesario reemplazarlo totalmente si se quisiese utilizarlo a futuro.

En estas últimas figuras mencionadas se puede observar el ladrillo de barro cocido alrededor de las puertas que servían como refuerzo y la demás área de paredes de adobe, siendo una característica de muchas construcciones anteriores al año 1950.





Figura 5.10 Vista de daños en las paredes y huecos de puertas.

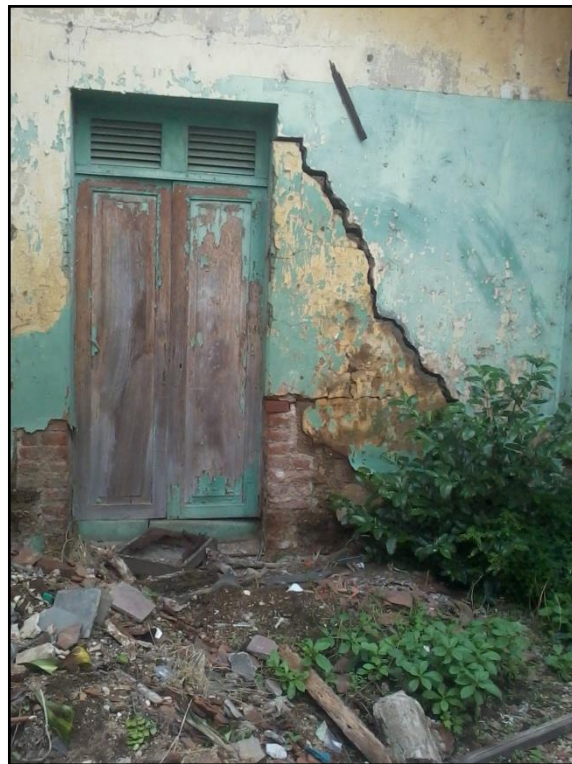


Figura 5.11 Vista de falla por corte en paredes.

### *C.E. Napoleón Ríos*

La infraestructura que actualmente alberga al C.E. Napoleón Ríos funcionó como cuartel de los 44 en la revolución contra los Zetas a finales del siglo XIX, aldaño tiene al C.E. Dr. Napoleón Ríos y otras dos instituciones públicas que igualmente eran el cuartel y actualmente se dividió para cada institución.

Además la infraestructura contó con 3 niveles y en la actualidad posee dos que se divide en dos secciones, una que tiene un solo nivel y es de adobe y ladrillo, la otra que se le agregaron estructuras de marcos de concreto a la mampostería y escaleras. Todos estos fenómenos hacen que la calificación sea de 51.31% para la parte denominada vieja y 55.55% para la nueva, valores muy cercanos a una vulnerabilidad alta.

Desde el hecho de colocársele un nivel más a la estructura ya es alarmante por la capacidad portante de los elementos estructurales y del suelo de cimentación, por lo que en la inspección se observan fisuras en algunas columnas en el segundo nivel (ver figura 5.12), además hay grietas en el anclaje de la escalera externa y los barandales; otra observación es la de daños en algunas juntas de dilatación entre las edificaciones, posiblemente por la poca separación y el movimiento no sincronizado entre las dos estructuras en un movimiento telúrico que las generaron, las fisuras se muestran en la figura 5.13.





Figura 5.12 Acercamiento de grietas en columna del segundo nivel.



Figura 5.13 Vista la junta entre edificaciones y fisuras en la parte de la viga que esta frente a la columna.

También se presenta desmoronamiento del recubrimiento de la losa de entrepiso en un aula y otro daño alarmante es que el único acceso al centro escolar tiene fisuras alrededor de un marco de concreto que refuerza la puerta y tiene corrosión el acero de refuerzo.



Figura 5.14 Muestra el desmoronamiento de losa de entrepiso.



Figura 5.15 Daño en el marco de concreto que refuerza la puerta de acceso al centro escolar

### Edificaciones con Vulnerabilidad Alta

Solamente el 10% de todas las edificaciones evaluadas poseen una vulnerabilidad alta. Sin embargo estas edificaciones son las que tienen que ser intervenidas por especialistas estructurales porque son un riesgo para las personas que transitan frente a estas y las que tienen una interacción ya sea de trabajo o en algunos casos se utilizan como vivienda familiar.

En la tabla 5.26 se presenta la lista de las edificaciones con vulnerabilidad alta y en las Tablas 5.27 a la 5.30 las características de este listado como los descritos ya anteriormente en las edificaciones con vulnerabilidad baja y media.

**Tabla 5.26 Lista de edificaciones evaluadas con grado de vulnerabilidad alta**

Zona	Nombre	Tipología Constructiva	Tipo de mampostería predominante	Uso	Nivel	ASPECTO EVALUATIVO					GRADO DE VULNERABILIDAD
						Estructural	Geotécnico	Constructivo	Geométrico	Entorno	
A	Casa Ex-presidente	Mampost Simp	L	Habitacional	2	48,62	5,25	16,17	7,88	2,52	80,44
A	Casa (Intervención Alcaldía)	Mampost Simp	A-L	Otro	1	45,7	4,75	9,69	3,33	2,09	65,56
D	C.E. José Martí (Viejo)	Mampost Simp	A-L	Educativo	1	39,53	4,65	9,02	5,12	2,33	60,65
E	Casa Abandonada (Villa Morena)	Mampost Simp	A-L	Otro	1	51,98	5,25	9,14	11,55	3,57	81,49
E	Hogar Casa del Niño	Mampost Simp	L	Institucional	3	40,11	7,15	6,84	6,46	3,37	62,93
F	Parqueo Esquina	Mampost Simp	A-L	Particular	1	35,44	6,65	10,45	6,65	2,95	62,14
J	Marielos Salon (esquina)	Mampost Simp	A-L	Otro	1	44,18	4,75	10,17	1,43	2,57	63,1

Tabla 5.27

TIPOLOGÍA	#
Mixto	0
Mampost Simp	7
Port - Pared Car	0
Portico	0
Concre	0
Mamp Si - Port	0
Portico Acero	0
<b>7</b>	

Tabla 5.28

TIPO DE MAMPOSTERÍA	#
A-L	5
L	2
B	0
A-L-B	0
L-B	0
N/A	0
<b>7</b>	

Tabla 5.29

USOS	#
Habitacional	1
Comercial	0
Institucional	1
Municipal	0
Educativo	1
Particular	1
Otro	3
Religioso	0
<b>7</b>	

Tabla 5.30

NIVELES	#
1 nivel	5
2 niveles	1
3 niveles	1
3+	0
<b>7</b>	

Tablas 5.27 a la 5.30 Muestran las características de las edificaciones y las cantidades correspondientes para las de vulnerabilidad alta

En la tercera tabla se muestra la característica más trascendental de las edificaciones con alto grado de vulnerabilidad dado que todas son de mampostería simple (ver gráfico 5.30), entre los materiales de la mampostería hay 5 de estas que son de adobe y ladrillo y las otras 2 solamente de ladrillo (ver grafica 5.31).

En los usos se tiene hay 3 caen en la categoría “otro” que son edificaciones que están desalojadas por daños o en restauración, como es el caso de la Casa Intervención Alcaldía que en la evaluación se estaba restaurando solamente la fachada, la Casa Abandonada en Villa Morena que esta desalojada por muchos años por los daños en la estructura (aparte que no tiene techo) y Marielos Salón que fue desalojada por un accidente automovilístico que impacto en la edificación dañando una buena parte de la pared; los demás usos de las edificaciones aparecen en la gráfica 5.32 sus porcentajes.

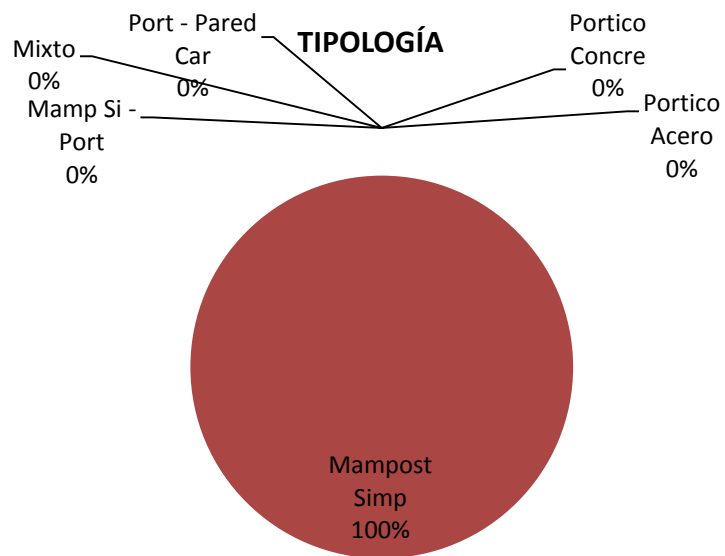


Figura 5.30 Tipologías de las edificaciones con vulnerabilidad alta.

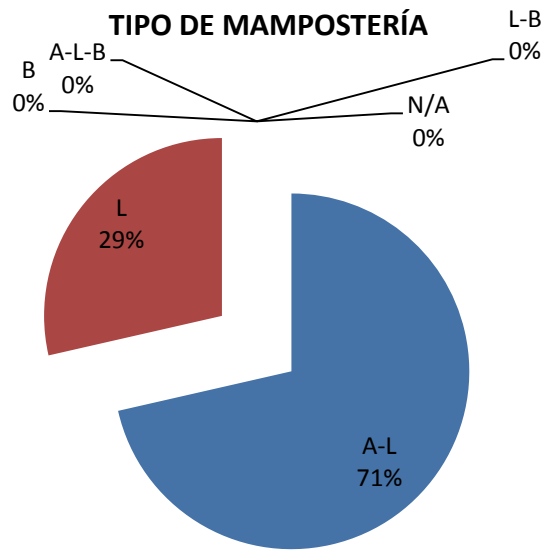


Figura 5.31 Muestra los tipos de mampostería existentes en las edificaciones con un grado de vulnerabilidad, se detalla en porcentaje.

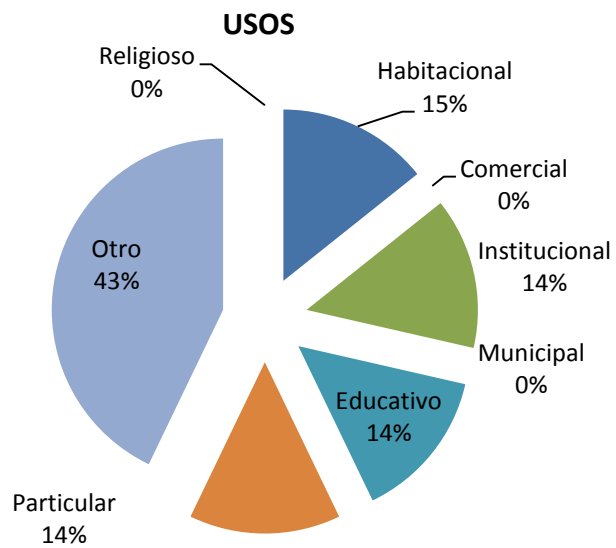


Figura 5.32 Muestra en porcentajes los usos de las edificaciones evaluadas en esta categoría descrita.

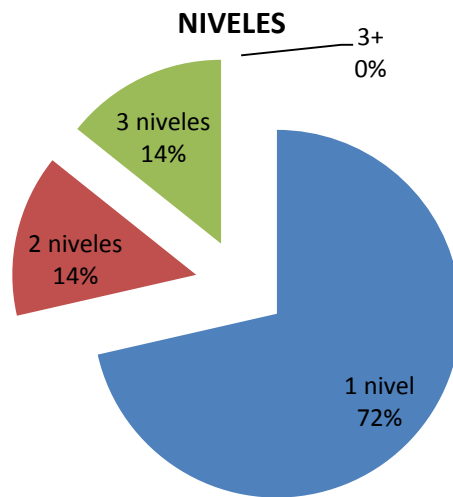


Figura 5.33 Muestra la cantidad en porcentaje de los niveles constructivos de las edificaciones inspeccionadas con alto grado de vulnerabilidad

De las edificaciones evaluadas con grado de vulnerabilidad alta se describirán la Casa Ex-presidente, C.E. José Martí (solamente las aulas antiguas) y Marielos Salón para mostrar cuan vulnerables son estas.

#### *Casa Ex-presidente*

Esta infraestructura fue construida entre 1820 a 1870 por el ex-presidente de la Republica de El Salvador, Pedro Escalón; es de paredes de 60cm de ladrillo cocido y cuenta con dos niveles, siendo el entrepiso una estructura de madera con lámina ondulada que sirve de soporte a las baldosas de cemento del piso, tiene pasillos en los dos niveles con columnas de madera y el techo esta soportada por una estructura de madera y la cubierta de teja tradicional. Entre los elementos de lujo que tiene es cielo falso de lámina repujada exportada, niveles con una altura promedio de 4.5m, enchapado con mármol, entre otros,

además de estar ubicada a dos cuadras de la Catedral de Santa Ana, por lo que fue construida en el apogeo del Centro Histórico de la ciudad.

Lo interesante es que a pesar del estado de la edificación hay personas viviendo en ésta, por lo que buena parte de lo descrito en estos párrafos fue manifestado por el encargado de la vivienda que esta juntamente con su familia (unas 8 personas, entre adultos y niños).

Entre los daños que tiene la estructura se describirán por niveles; por ejemplo en el primer nivel las escaleras de acceso al nivel superior están gravemente dañados, de los dos el que se encuentra al Este es de ladrillo de barro cocido y se desplomo una sección de este, el otro que se encuentra al oeste de la edificación es de madera que tiene un avanzado nivel de pudrición como lo muestra la figura 5.16. Las columnas que están en los pasillos tienen refuerzos ya sea desde el segundo nivel o en la base del primero, por tener muchas estructuras de madera casi la mayor parte tiene ataque de insectos o en estado de pudrición, como lo muestra la figura 5.17 la columna tiene aserrín (mezcla de madera y heces) desalojado por los insectos.



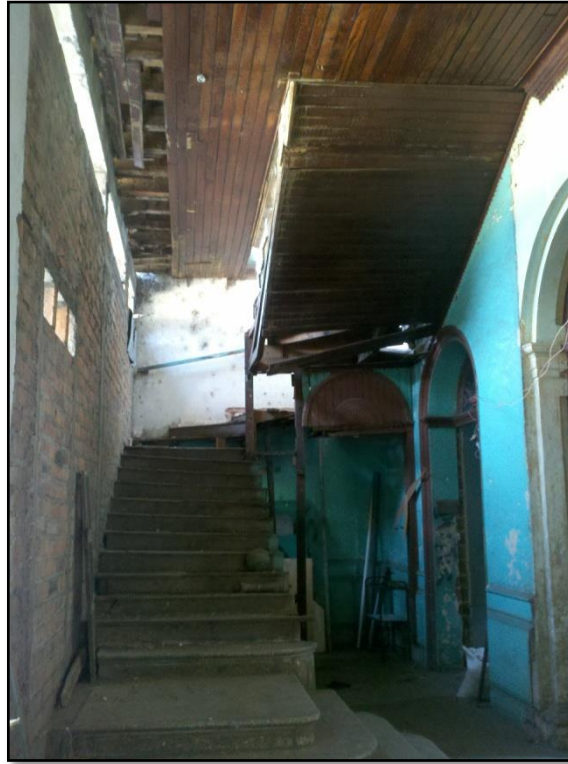


Figura 5.16 Escalera Oeste con alto grado de pudrición en su estructura.



Figura 5.17 Pilares que sostienen el pasillo del segundo nivel, se puede apreciar que no existe un área de contacto constante con el pedestal.

En el caso del segundo nivel la mayor parte de la madera tiene humedad que proporciona un ambiente propicio para la pudrición y los insectos, en la figura 5.18 se puede visualizar una vista parcial del segundo nivel y la ondulación del entrepiso, además el capitel y toda la estructura de madera que une las columnas están dañadas.

Existe un gran porcentaje de las uniones entre paredes perpendiculares que tienen fisuras preponderantes, mostrando un desnivel pronunciado en toda la pared perimetral que linda a la 1ª Calle Libertad y la 3ª Av Sur, presentando un riesgo considerable para cualquier transeúnte. Las grietas rondan desde los 3mm a los 5cm y vienen desde la mitad del segundo nivel hasta la parte alta de ésta, en las figuras 5.19 a la 5.22 se muestran cuatro imágenes de las paredes con grietas.



Figura 5.18 Vista del segundo nivel de la edificación.

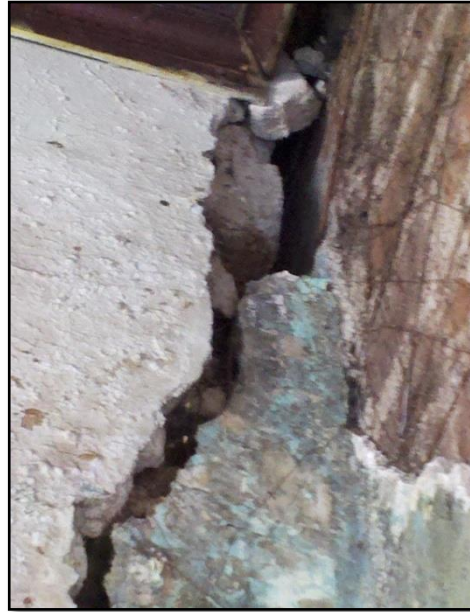


Figura 5.19 y Figura 5.20 Muestran las fisuras entre paredes perpendiculares.

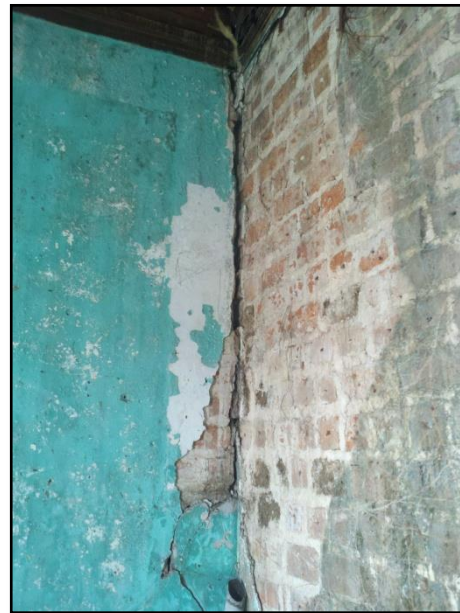


Figura 5.21 y Figura 5.22 Muestran las fisuras entre paredes perpendiculares.



Figura 5.23 Vista del cielo falso del segundo nivel de la edificación.

En la imagen anterior se observa el cielo falso de reglas de madera en el segundo nivel y su estado actual, de la misma manera en todo el techo y el cielo falso de la edificación existe un avanzado deterioro de la estructura de madera.

#### *C.E. José Martí (aulas antiguas)*

En las aulas antiguas se observa el estilo de construcción y arquitectura de inicios de finales del siglo XIX y principios del XX como alturas de paredes mayores de los 4m, estructuras de madera junto con el cielo falso de corredores y algunas habitaciones, cielo falso de lámina repujada en otras habitaciones, entre otros.



En la siguiente figura se muestra el pasillo del centro escolar, al fondo a la derecha las aulas de parvularia. De esta imagen se tiene un daño apreciable en el techo en la última columna circular y el daño en dicha columna teniendo pudrición por presencia de insectos.



Figura 5.24 y Figura 5.25 Muestra el pasillo de la edificación en cuestión y el estado de algunas columnas de madera.

El daño más severo se presenta en el aula de esquina (4<sup>a</sup> C.P. y 2<sup>a</sup> Av. Sur) que tiene colapso parcial de techo y el drenaje de aguas lluvias ha provocado el humedecimiento de las paredes y reduce por ende la resistencia de la mampostería. Este fenómeno ha producido el desmoronamiento del repello y la vista de las grietas en la pared, en las figuras 5.jjj y 5.ppp se muestra la parte interna del aula y la vista desde el exterior, respectivamente.



Figura 5.26 Vista interna de aula de la esquina de la 4ª C.P. y 2ª Av. Sur. Se observa el desprendimiento del repello.



Figura 5.27 Vista exterior de aula, se observan las grietas y la humedad proveniente del techo.

### *Marielos Salón (Esquina)*

Esta edificación es parte de una construcción que abarca 5 establecimientos y han funcionado salones de belleza como lo muestra la figura 5.28 tomada en el año 2001 por la Oficina de Centro Histórico y que antes de un accidente automovilístico que colisiono en la edificación funcionaba Marielos Salón que actualmente se encuentra en una de las edificaciones aledañas.



Figura 5.28 Muestra la edificación evaluada en el año 2001.

El accidente ocurrió con un bus de transporte público que transitaba de Este a Oeste y colisiono en la esquina, misma que quedo totalmente destruida (ver figura 5.29) y que no dio ningún saldo fatal en las personas que se encontraban en ese momento, ya que ocurrió en horas laborales. Además en la inspección se observó un daño que influye hasta la puerta sur de construcción que está a un metro de la parte colisionada (ver figura 5.30), también hay otras grietas que no son por el accidente y se observó que el cielo falso tiene deterioro por humedad y se está desprendiendo de la estructura de sostén (ver figura 5.31).



Figura 5.29 Zona de colisión en la edificación evaluada. El agujero ha sido ocultado con lámina ondulada.



Figura 5.30 Grieta proveniente de la colisión cercana a puerta aledaña.





Figura 5.31 Estado actual del cielo falso, hay presencia de humedad y pudrición.

## 5.4 ESTUDIOS TÉCNICOS

En esta sección se describen aquellos estudios técnicos realizados en el proceso de este estudio y de los recopilados de diversas fuentes ya sea en edificaciones o zonas circunscritas en el perímetro del área de estudio o datos digitales de información pertinente; entre los estudios se tuvo el acceso a plano topográfico realizado por el PLAMADUR en 1996, además se realizaron y recopilaron Estudios de Suelo en 5 puntos y en otras dos edificaciones en la que los encargados proporcionaron dichos estudios y por último se hicieron ensayos con el Martillo Smith en 5 de las edificaciones evaluadas para corroborar el esfuerzo a compresión del concreto por medio de este equipo.

#### **5.4.1. Estudio Topográfico**

Se obtuvo un plano topográfico digital del Centro Histórico de Santa Ana que se realizó en 1996 con el Plan Maestro de Desarrollo Urbano de Santa Ana, que el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU) y la Oficina de Planificación Estratégica (OPE) realizaron en ese año, dicho plano contiene nombre de Calles y Avenidas, principales edificaciones y todos georreferenciados para su uso en programas de Sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés). Este plano se muestra en el Anexo 4 y sirvió en la edición de todos los mapas presentados en este estudio.

#### **5.4.2. Bases de Datos en ArcGIS**

Entre las bases de datos obtenidas están curvas de nivel, geología, áreas y perímetros de la distribución organizacional del territorio (departamentos, municipios, cantones, entre otros), red vial, entre otros que fueron utilizados y editados con la información recopilada propia del estudio de vulnerabilidad para realizar los mapas. Todas las extensiones de los archivos son para uso del programa ArcGIS.

#### **5.4.3. Estudio de Suelos**

Se realizó una investigación para recolectar estudios de suelos dentro de la Zona Estudio, sin embargo, no se tuvo de parte de empresas privadas o la municipalidad, a pesar de las limitantes se pudo obtener un estudio de suelo realizado en la Catedral de Santa Ana en octubre de 1996 por RIVERA-HARROUCH, S.A. de C.V. (Ingenieros Consultores), en dicho estudio se presenta detalladamente las características del suelo a fin de conocer su

comportamiento físico y mecánico, en el cual se realizaron 19 perforaciones, distribuidas convenientemente tanto en la periferia exterior de la iglesia como en la parte interna.

En el estudio se utilizó una maquinaria motorizada, la cual incluye todas las herramientas necesarias para efectuar el ensayo de Penetración Standard de acuerdo con la norma ASTM D-1586-64.

Las características de las herramientas utilizadas fueron:

Diámetro exterior cuchara muestrera = 2”

Longitud de la cuchara muestrera = 18”

Peso del martillo hincador = 140 Lbs.

Altura de caída libre del martillo = 30”

Las pruebas se realizaron de acuerdo al proceso establecido en la norma, el cual consiste en el hincado de un penetrómetro standard dejando caer un martillo de 140 Lbs. desde una altura de 0.76 m, donde la resistencia a la penetración se calcula según el número de golpes necesarios para hincar el penetrómetro.

En dicho estudio se llegó a la conclusión que el suelo del área es de característica arcillosa de baja a media plasticidad, con una capacidad de carga de  $4.0 \text{ kg/cm}^2$ , y que las profundidades de penetración variaron entre 3m a 6m.

De igual forma la directora en turno del Colegio Dominicano Santo Tomas Aquino, proporciono información sobre el estudio de suelo que se realizó en dicho colegio en abril del 2011 por la empresa FC S.A. de C.V. (Laboratorio de Suelos y Materiales), dicha información muestra que el estudio se realizó con equipo motorizado de percusión, con un martillo de peso de 35 Lbs, donde se hicieron 4 perforaciones donde dos de ellas con profundidad de 3.0m y dos de 1.5m, el estudio no detalla la capacidad de carga del suelo.

Además se contrató a la empresa privada MEC-LAB (Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales), para la realización de un estudio de suelos en el Centro Histórico de Santa Ana en abril del 2014. La empresa entregó un informe técnico donde da a conocer los resultados del estudio, análisis y recomendaciones, obtenidas de la exploración del sub-suelo, con el propósito de determinar cuáles son las condiciones actuales del suelo del Área de Estudio (ver Anexo 5).

Se realizaron cinco perforaciones con un equipo “Tipo Acker”, el procedimiento consistió en penetrar el suelo con una cuchara partida de 2” (50.8 mm) de diámetro externo, hincada con un martillo de 140 lbs. (63.5 Kg) que se dejó caer desde una altura de 30” (76 cm), se contó el número de golpes para penetrar 1 pie (30.5 cm) según lo establece la norma ASTM D-1586 “PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR Y MUESTREO DE SUELOS CON CUCHARA PARTIDA” con el objetivo de obtener muestras representativas y continuas para lograr una mayor identificación del suelo, además se determinó el contenido de humedad y la resistencia al corte.

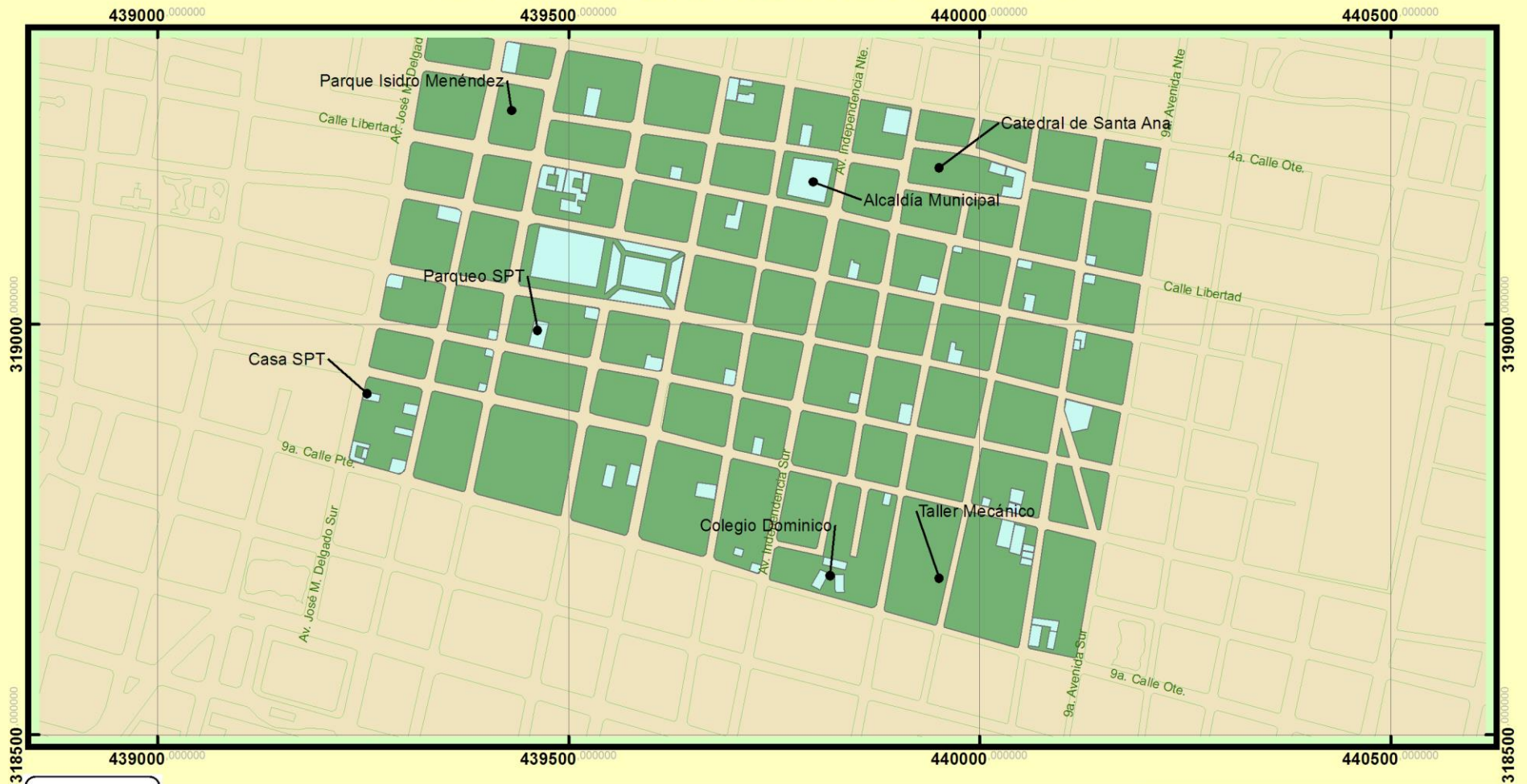
En dicho informe se concluye que el tipo de suelo encontrado fue limo arenoso, y que dos de los cinco puntos perforados poseen un estrato rocoso superficial conformado por rocas basálticas, tres puntos tuvieron una profundidad de 4.0m y dos de 1.0 m, además se determinó que el suelo posee una capacidad de carga de 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>, y que en dos puntos existía saturación del suelo lo que puede afectar en el resultado de capacidad de carga del suelo.

Se detallan en la tabla 5.31 los lugares donde se obtuvieron los estudios de suelos y se ubican en el mapa 5.8.

**Tabla 5.31 Puntos de SPT del área de estudio.**

#	Nº DE PERFORACIONES	ZONA	NOMBRE	DIRECCIÓN
1*	1	B	Alcaldía Municipal de Santa Ana	Av. Independencia entre 2° C.P. Y Calle Libertad
2	19	B	Catedral de Santa Ana	1° y 5° Avenida entre Callejuela Norte y Sur de Catedral
3*	1	E	Parque Isidro Menéndez	10° Av. Norte entre 2° C.P. y Calle Libertad
4*	1	F	Casa SPT	Av. José Matías Delgado Sur entre 7° Y 9° C.P.
5*	1	H	Parqueo SPT	5° C.P. entre 6° Y 8° Av. Sur
6*	1	J	Taller mecánico	7° AV. Sur entre 7° Y 9° C.O.
7	4	J	Colegio Dominicó "Santo Tomas de Aquino"	Callejón Poniente de Iglesia El Carmen.

## MAPA 5.8 Puntos de Estudios de Suelo con SPT



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADO:

Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruíz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez

### Edificaciones

- Tipologías
- Puntos de ensayo

## 5.5 DIAGNOSTICO DE VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES DEL CENTRO

### HISTÓRICO DE SANTA ANA

De todos los resultados obtenidos se extrae como el hecho de que edificaciones de mampostería simple con tiempo de construcción mayor a los 50 años han sido catalogadas por la metodología empleada con grados de vulnerabilidad media y alta, también radica en que el tipo de material empleado no es sismo resistente y la capacidad mayor que tiene es por el ancho de paredes, siendo de hasta 90cm y que aunque se fisure todavía trabaja pero no de forma óptima.

Si se muestran las cantidades de edificaciones en rangos de 10 puntos porcentuales de la ficha de evaluación se tiene la siguiente tabla:

**Tabla 5.32 Muestra las cantidades de edificaciones en rangos de cada 10%**

Rango	#	Rango	#
0% a 10%	1	50% a 60%	17
10% a 20%	11	60% a 70%	4
20% a 30%	14	70% a 80%	1
30% a 40%	13	80% a 90%	2
40% a 50%	9	90% a 100%	0

Entre un 50% y 60% que es una frontera en el grado de vulnerabilidad media y alta hay 17 edificaciones que es un 23.61% de todas las evaluadas, observando estas 17 edificaciones se tiene que 15 son de mampostería simple y las otras son mixta y

mampostería simple y pórtico. Si esta característica se infiere para todas las edificaciones del Centro Histórico significa que más de 200 edificaciones de mampostería simple tienen un grado de vulnerabilidad de medio a alto, siendo el factor fundamental el tipo de mampostería y la tipología constructiva.

De los estudios de suelos se obtuvieron 7 lugares donde se tuvo información de ensayos y totalizan 28 perforaciones en ellos; como se aprecia en los datos de las SPT y de la geología del Centro Histórico del mapa 3.2 de la geología y estructuras geológicas, el suelo donde se ubica el casco urbano tiene la característica de tener formaciones San Salvador y Bálsamo con profundidades que oscilan entre los 1m a 4m hasta el estrato rocoso, por lo que a pesar de los terremotos que ha sufrido el país, la ciudad de Santa Ana no ha sufrido daños similares a otros municipios como San Vicente y la misma capital San Salvador, aunque también no tiene fallas locales cercanas al Centro Histórico que genere sismos. No obstante una aseveración con mayor alcance se puede disponer al conocer los grosores de los estratos rocosos, aunque es un estudio con un alto costo y disposición de equipo especializado muy limitado, pero que de esta manera se podrían obtener valores de atenuación para la zona o sea el efecto de sitio.



# CONCLUSIONES

Después de haber hecho un análisis de toda la información recabada, se pueden hacer las siguientes conclusiones:

Se identificó en la evaluación preliminar general que un 59% de las edificaciones del Centro Histórico de Santa Ana posee una tipología constructiva de Adobe y Ladrillo de arcilla cocida, y se identificó que un 56% de las edificaciones en la evaluación definitiva fue construida con un sistema constructivo simple, de las cuales un 4% resultaron con vulnerabilidad baja, un 42% con vulnerabilidad media y un 10% con vulnerabilidad alta, además de acuerdo a estos resultados se puede inferir que las edificaciones de adobe y ladrillo poseen un grado de vulnerabilidad media.

De los estudios de suelos se obtuvieron 7 lugares donde se tuvo información de ensayos y totalizan 28 perforaciones en ellos; como se aprecia en los datos de las SPT y de la geología del Centro Histórico del mapa 3.2 de la geología y estructuras geológicas, el suelo donde se ubica el casco urbano tiene la característica de tener formaciones San Salvador y Bálsamo con profundidades que oscilan entre los 1m a 4m hasta el estrato rocoso, siendo cada uno de ellos los posibles factores que puedan demostrar porque a pesar de los terremotos que ha sufrido el país, la ciudad de Santa Ana no ha sufrido daños similares a otros municipios como San Vicente y la misma capital San Salvador, aunque también no tiene fallas locales cercanas al Centro Histórico que genere sismos. Por lo tanto la vulnerabilidad en el Aspecto Geotécnico es baja.

A partir del análisis de los resultados se puede decir que los daños ocurridos en las edificaciones del Centro Histórico por los terremotos del 2001 no fueron ocasionados por fallas locales y/o por la estratigrafía del suelo, sino que al sistema constructivo y tipología constructiva, es decir a los Aspectos Estructural y Constructivo de cada edificación.

Del análisis de resultados y del diagnóstico se puede asociar que las edificaciones del Centro Histórico de Santa Ana poseen un grado de vulnerabilidad media, dado que el mayor porcentaje de edificaciones son de sistema constructivo simple y de tipología de adobe y ladrillo.

# RECOMENDACIONES

Dado que en la Ciudad de Santa Ana no se tienen estudios previos de análisis de vulnerabilidad sísmica en edificaciones se debe plantear el desarrollo de temas de grado similares con el fin de obtener una base técnica para el análisis de vulnerabilidad a riesgo sísmico, siendo la Universidad de El Salvador un referente para que profesionales tengan conocimientos técnicos en el tema y aporten soluciones para la prevención, mitigación y reducción de la vulnerabilidad.

Se recomienda a la Alcaldía Municipal, Ministerio de Gobernación entre otras instituciones públicas y/o privadas comprometidas con el desarrollo de la ciudad, el crear una base de datos de estudios técnicos para el análisis de vulnerabilidad que incluyan estudios de suelos, hidrológicos, geológicos, geofísicos, entre otros, para elaborar mapas de riesgos (inundaciones, deslizamiento, sísmico), de microzonificación, usos de suelo, entre otros, que sirvan como base para la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial que entre sus ejes principales de acción tenga un Plan de Prevención y Mitigación de Desastres de la Ciudad de Santa Ana.

El estudio de vulnerabilidad surge a partir de la necesidad de prevenir de un riesgo a una población determinada, por lo que el análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones debe obtenerse con una mayor precisión por tratarse de un área con una gran densidad de población como lo es el Centro Histórico, por lo que se recomienda a la Alcaldía Municipal de Santa Ana, la Unidad de Medio Ambiente y/o la Oficina de Centro Histórico realizar dicho análisis casa por casa que represente las condiciones en la que se

encuentran todas las edificaciones del Centro Histórico de Santa Ana y así determinar con mayor exactitud su Grado de Vulnerabilidad Sísmica.

En cuanto al desarrollo del proyecto de Restauración del Centro Histórico de Santa Ana impulsado por la Alcaldía Municipal en edificaciones de carácter histórico o cultural, se debe incluir el análisis de la vulnerabilidad ante riesgo sísmico en cada una de ellas con el fin de alcanzar una solución completa en la restauración de las mismas.

# BIBLIOGRAFÍA

## **MANUALES Y GUIAS.**

- Evaluación Simplificada de Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, México).
- Guía Técnica para Inspección de edificaciones después de un sismo, ASIA el Salvador
- Manual del formato de captura de datos para evaluación estructural. Red nacional de evaluadores (Versión Febrero de 2011), CENAPRED MEXICO. Joel Aragón Cárdenas, Leonardo E. Flores Corona, Óscar A. López Bátiz.
- Guía para la evaluación de establecimientos de salud de mediana y baja complejidad, Organización Panamericana de la Salud.
- Alfaro - Polanco – Torres, Estudio Técnico Para la Rehabilitación Estructural Del Edificio de la Antigua Escuela de Artes Y Oficios José Mariano Méndez de la Ciudad de Santa Ana; Tesis Universidad de El Salvador, FMOcc. 2001.

## **LIBROS**

- Diseño de Acero Estructural, Joseph E. Bowles, Editorial LIMUSA.
- Juárez Badillo, Eulalio; Rico Rodríguez, Alfonso. Mecánica de Suelos Tomo II.
- E. Harsem, Teodoro. Diseño de Estructuras de Concreto. Tercera edición.
- Braja M. Das. Principios de Ingeniería de Cimentaciones.
- Diseño Simplificado de Estructuras de Madera, H. Parker, Editorial LIMUSA.



- Mecánica de Suelos, capítulo XI, Editorial Limusa, 1986.

## **NORMAS Y REGLAMENTOS**

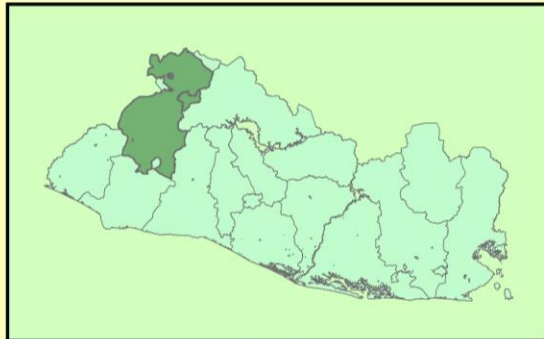
- ACI (American Concrete Institute), *Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318S-05)*
- Norma Técnica Para El Diseño Por Sismo Y Sus Comentarios,
- Reglamento Para La Seguridad Estructural De Las Construcciones, El Salvador.

## **OTROS DOCUMENTOS**

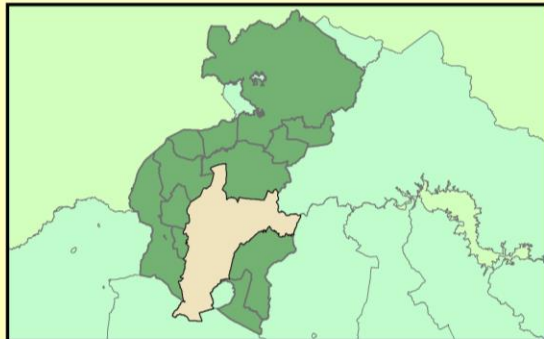
- Escenarios de vulnerabilidad y daño sísmico de las edificaciones de mampostería de uno y dos pisos en el barrio San Antonio, Cali, Colombia.  
Universidad del valle - facultad de ingeniería - escuela de ingeniería civil y geomática.
- Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente: Riesgo sísmico en la Región Metropolitana de San Salvador, Julián Bommer, Walter Salazar, Ricardo Samayoa.
- Sistemas Constructivos definiciones y conceptos básicos.  
<http://www.slideshare.net/fredyteran/sistemas-constructivos-14184659>.

# ANEXOS

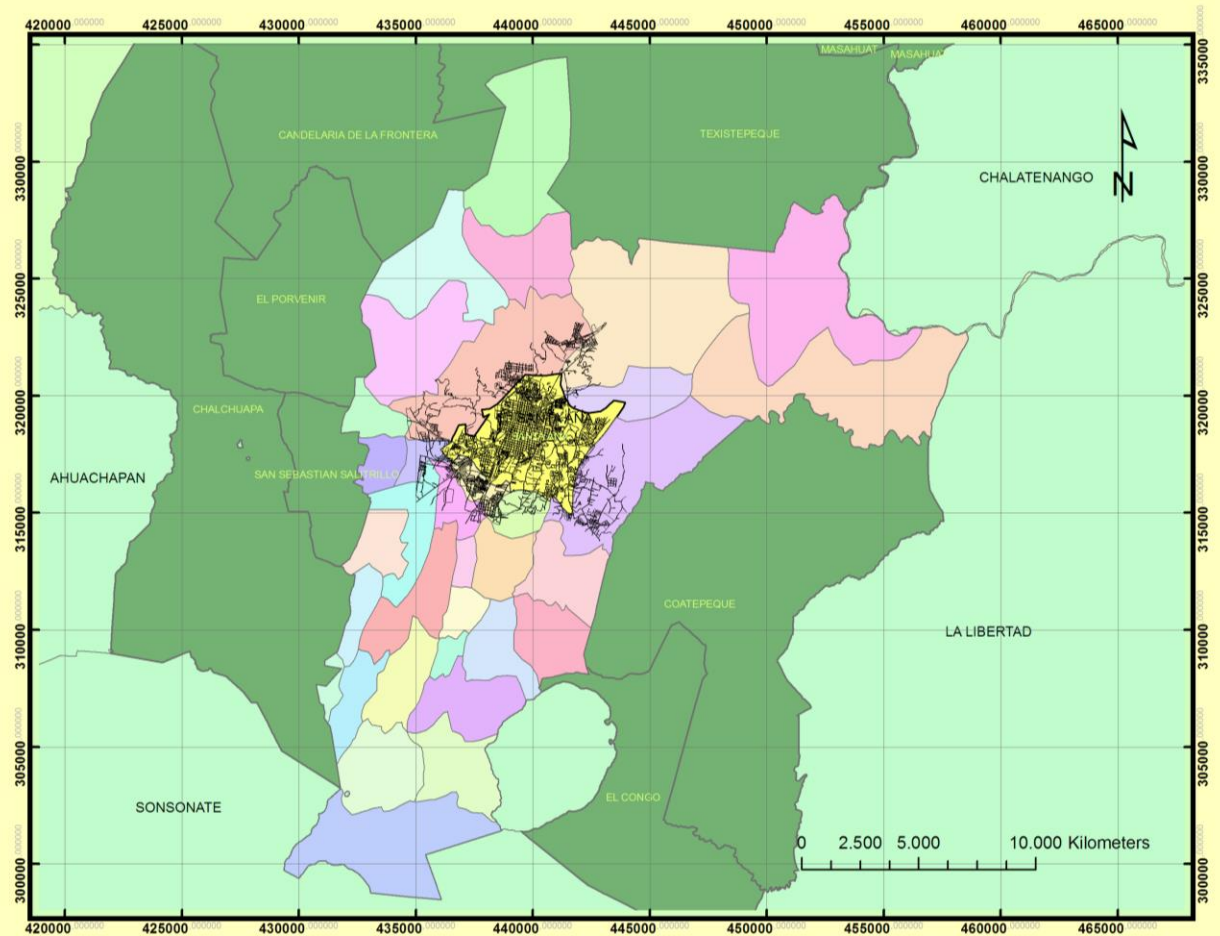
# Anexo 1. Organización territorial del Municipio de Santa Ana



República de El Salvador y organización departamental. Se resalta el Departamento de Santa Ana.



Departamento de Santa Ana y sus municipios. Se resalta el municipio y cabecera municipal homónimo.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADO:  
 Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones del  
 Centro Histórico de Santa Ana.

PRESENTAN:  
 Cruz Lenarduzzi, José Ivan  
 Morales Ruiz, Carlos Adalberto  
 Rosales Cruz, Oscar Wilfredis

DOCENTE DIRECTOR:  
 Ing. Joel Paniagua Torres

DOCENTE ASESOR:  
 Lic. Benancio Henríquez


**CANTONES DEL MUNICIPIO DE SANTA ANA**

- |                  |                        |                     |                          |
|------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|
| CIUDAD           | EL RANCHADOR           | MONTE LARGO         | POTRERILLOS DE LA LAGUNA |
| AYUTA            | FLOR AMARILLA ABAJO    | NANCIENPEQUE        | POTRERILLOS DEL MATAZANO |
| CALZONTES ABAJO  | FLOR AMARILLA ARRIBA   | NATIVIDAD           | POTRERO GRANDE ABAJO     |
| CALZONTES ARRIBA | LA EMPALIZADA          | OCHUPSE ABAJO       | POTRERO GRANDE ARRIBA    |
| CANTARRAMA       | LA MONTAÑITA           | OCHUPSE ARRIBA      | PRIMAVERA                |
| CHUPADEROS       | LAS ARADAS             | PALO DE CAMPANA     | SAN JUAN BUENAVISTA      |
| COMECAYO         | LOMA ALTA              | PINALITO            | TABLON DEL MATAZANO      |
| CUTUMAY CAMONES  | LOMAS DE SAN MARCELINO | PINALON             | VALLE DEL MATAZANO       |
| EL PORTEZUELO    | LOS APOYOS             | PLANES DE LA LAGUNA | CASCO_URBANO             |

## Anexo 2. Ficha Preliminar General.

 <p style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>  <b>FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE</b>  <b>DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b>  <b>Y ALCALDIA MUNICIPAL DE SANTA ANA</b> </p> <p style="text-align: center;"> <b>TRABAJO DE GRADO: EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD A RIESGO</b>  <b>SÍSMICO EN EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTORICO</b>  <b>DE SANTA ANA, EL SALVADOR</b>  <b>EVALUACIÓN PRELIMINAR GENERAL</b> </p> 		
<b>1. IDENTIFICACION</b>		
ZONA:	MANZANA:	No. DE INMUEBLE:
<b>2. LOCALIZACION</b>		<b>4. FECHA DE CONSTRUCCIÓN</b>
CANTON:	BARRIO:	
DIRECCION:		
<b>3. REGIMEN DE PROPIEDAD</b>		<b>5. USO ACTUAL</b>
PUBLICO ESTATAL:	NOMBRE DEL PROPIETARIO	HABITACIONAL
PUBLICO MUNICIPAL:		COMERCIAL
PRIVADO PARTICULAR:		INSTITUCIONAL:
PRIVADO RELIGIOSO:		USO ORIGINARIO:
<b>6. SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>		<b>7. ACCESO PARA LA EVALUACIÓN</b>
ADOBE	CONCRETO ARMADO	SI
BAHAREQUE	ADOBE ARMADO	NO
LADRILLO DE BARRO	SISTEMA MIXTO	SE CONFIRMARÁ
BLOQUE/CONCRETO	OTROS	SE NECESITA PERMISO
LAMINA Y MADERA		OTROS
<b>8. DATOS HISTORICO Y/O RELEVANTES</b>		
<b>LEVANTO:</b>		<b>FECHA DE EVALUACIÓN:</b>

### Anexo 3. Ficha de Evaluación Definitiva.

FICHA DE EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES												
		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR										
		FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE										
		DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA										
		TRABAJO DE GRADO: EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SISMICA DE EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTORICO DE SANTA ANA, EL SALVADOR										
FECHA:			HORA DE INICIO:			HORA FINAL:			EVALUADOR:			
INFORMACIÓN GENERAL DEL INMUEBLE												
NOMBRE DEL INMUEBLE:						DIRECCIÓN:						
NOMBRE DEL PROPIETARIO:												
TELÉFONO O EMAIL DE CONTACTO						COORDENADAS:						
ÁREAS Y USOS												
Reunión	Centro social		Comunicaciones y transporte	Terminal de pasajeros		Oficina/Comercio	Oficinas/ Institucional		Salud/Social	Hospital/ Clínica		
	Templo religioso			Estacionamiento			Tiendas			Asilo		
	Gimnasio			Antena transmisora			Mercado			Guardería		
	Salón de baile			Radio/televisión			Restaurante			OCUPACIÓN ACTUAL		
	Cine/teatro/auditorio			Telefonía/correos			Plaza comercial			Habitada/ En uso		
Educativo	Parvularia		Educación superior		Habitación	Vivienda		Abandonada/Desocupada				
	Educación básica		Biblioteca			Multifamiliar		Desalojada por daños				
	Educación media		Museo			Hotel		Número de Ocupantes:				
ASPECTO ESTRUCTURAL												
GENERALIDADES ESTRUCTURALES												
Número de Niveles			Altura de entepiso		m	REPARACIÓN						
SISTEMA CONSTRUCTIVO						REPARACIÓN						
Mampostería Simple			Porticos			Reparación de elementos		Mantenimiento prevent				
Mampostería Confinada			Otro, explique			Reparación de elementos NO		Mantenimiento correct				
Mampostería Reforzada						ADAPTADA						
TIPO DE CONSTRUCCIÓN			TIPO DE CONSTRUCCIÓN			ADAPTADA						
Diseño Estructural			Autoconstrucción			Aberturas en paredes para puertas y/o		Discontinuidad/ eliminación de elementos				
CARACTERÍSTICAS ACTUALES DE LA EDIFICACIÓN						Eliminación de		Otro, explique				
Restauración			Original			Aumento de paredes						
Reconstrucción			Remodelad			Aumento de niveles						
REMODELADA						Cierre de espacios libre						
Colocación de elementos NO			Cambio de elementos estructurales			Observaciones						
Cambio de elementos NO estructurales			Cambio de sistema constructivo									
Otro, explique												
COLUMNAS						VIGAS						
MATERIAL						MATERIAL						
Acero			Madera			Acero			Madera			
Concreto			Mampostería			Concreto						
Otros, especifique:						Otros, especifique:						
TIPOS DE FALLA						TIPOS DE FALLA						
Falla por cortante			Corrosión en acero			Falla por flexión		Pandeo en elemento de acero				
Falla por flexo-compres			Falla por aplastamiento			Falla por cortante						
Falla por torsión			Pudrición/ ataque de insectos			Falla por torsión		Pudrición/ ataque de insectos				
Pandeo en elemento de acero						Corrosión en acero						
Observaciones y dimensiones de elementos						Observaciones y dimensiones de elementos						

Aspecto Estructural continua...

...Continuación del Aspecto Estructural											
<b>MUROS</b>						<b>ENTREPIOSOS</b>					
TIPO						TIPO					
Portante			No portante			Losas Densas			Armadura de madera		
MATERIALES						MATERIALES					
Mampostería		Madera		Concreto		Losas Aligeradas			Armadura de acero		
Otros, especifique:						Otros, especifique:					
<b>*EXISTE MAS DE DOS MATERIALES O SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN MUROS*</b>											
En Planta				En Elevación				TIPOS DE FALLA			
Explique material, nivel y % de área, según sea el caso						Falla por flexión		Falla por punzonamiento		Falla por pudrición/ataque de insectos	
						Falla en tensión perimetral (acero)		Falla en elementos de acero (soldadura)		Falla en armadura de madera por flexión	
						Corrosión en armadura de acero		Enchapado con hundimientos			
TIPOS DE FALLA						Observaciones					
Falla por cortante			Pudrición/ataque de insectos			<b>CUBIERTA Y ESTRUCTURA DE TECHO</b>					
Separación de unión de paredes perpend.			Falla por volteo								
Observaciones						TIPO DE CUBIERTA					
<b>OTROS TIPOS DE DAÑO</b>						Lámina tradicional			Lámina de asbesto		
						Lámina de zinc-aluminio			Teja tradicional		
DAÑOS EN CONEXIONES						FALLA O COLAPSO					
Placas			Fisuras en concreto			Fisura o hundimientos			Corrosión avanzada		
Pernos o remaches			Uniones en madera			Elementos quebrados o sin algunos de estos			Fallo parcial/Sin cubierta en alguna		
Soldadura			TIPO DE ESTRUCTURA DE TECHO								
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES						Estructura de madera			Estructura de acero		
Otros Elementos						Otros, especifique:					
Escalera interna/externa			Instalación hidráulica			TIPOS DE FALLA					
Cielo falso			Paredes/divisiones			Pudrición/ataque de insectos			Pandeo en elemento de acero		
Ventanas/puertas			Muebles o elementos altos no anclados			Daño en losa			Corrosión en acero		
Instalación eléctrica						Observaciones generales					
Otros, especifique:											
<b>ASPECTO CONSTRUCTIVO</b>											
<b>TIPO DE MAMPOSTERÍA (SI ES APLICABLE)</b>						<b>TIPO DE PORTICO (SI ES APLICABLE)</b>					
Adobe			Piedra			Concreto			Perfiles de acero		
Ladrillo de barro cocido			Otro, especifique			<b>CALIDAD CONSTRUCTIVA EN PORTICOS</b>					
Bloque de concreto			Conexiones sin grietas						Juntas en concreto en mal estado		
<b>CALIDAD CONSTRUCTIVA (MAMPOSTERÍA Y ACABADOS)</b>						Conexiones con grietas perceptibles					
ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA			ACABADOS			Observaciones generales					
Deformaciones visibles en elementos de			Repello sin grietas ni desmoronamiento								
Incorrecta disposición de elementos de			Grietas perceptibles								
Juntas Irregulares			Grietas diagonales y anchas, entre 1mm y								
<b>ASPECTO GEOTECNICO</b>											
<b>ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE FUNDACIÓN</b>											
CIMENTACIÓN SUPERFICIAL						CIMENTACIÓN PROFUNDA					
Solera de fundación		Piedra		ZAPATAS		Pilotes		Pilas			
		Concreto reforzado		Aisladas							
				Conectadas							
				Losa							

Aspecto Geotécnico continúa

Continuación de Aspecto Geotécnico

**SUELO DE FUNDACIÓN**

TIPO

Granular	Granular	Roca	Limos sueltos	Limos y arcillas	Arcilla blanda
----------	----------	------	---------------	------------------	----------------

PROBLEMAS EN SUELO

Socavación	Erosión	Deslizamiento de ladera
Licuação	Grietas en suelo circundant	Hundimiento diferencial (inclinación del

Observaciones

**ASPECTO GEOMETRICO**

**CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA EDIFICACIÓN**

DIMENSIONES GENERALES	Nº de niveles	_____
Frete: _____m, Fondo: _____m	Altura de entrepiso	_____m

**IRREGULARIDAD EN ELEVACIÓN**

Elementos estructurales y		Discontinuidad total en las paredes y elementos del
Variación en dimensión y alineación de elementos estructurales		Cambio de sistema constructivo en

**IRREGULARIDAD EN PLANTA**

Simétrico	Distribución de paredes mínima en
Largo < 3 veces el	En "L" u otra tipo de geometría irregular
Distribución de paredes en ambos sentidos por igual	Cambio de sistema constructivo en planta

Observaciones

**ASPECTO DE ENTORNO**

**POSICIÓN DE LA EDIFICACIÓN EN LA MANZANA**

Intermedia	Esquina	Aislada
------------	---------	---------

**ESTADO DE EDIFICACIONES ALEDAÑAS**

DANOS	Severamente	ASIENTO AMIEN TO	Perceptible
	Fisuras		Severo

**TOPOGRAFÍA**

Área recarga acuífera	Rivera río/mar/lago	Planicie
Ladera de cerro	Zona costera	Quebrada
Otros datos importantes	Pendiente	
Distancia a rivera: _____Km	Profundidad	
TALUD: Sin obra de protección	Mínima protección	

**ESTRUCTURAS ALEDAÑAS (A UNA DISTANCIA MENOR A SU ALTURA)**

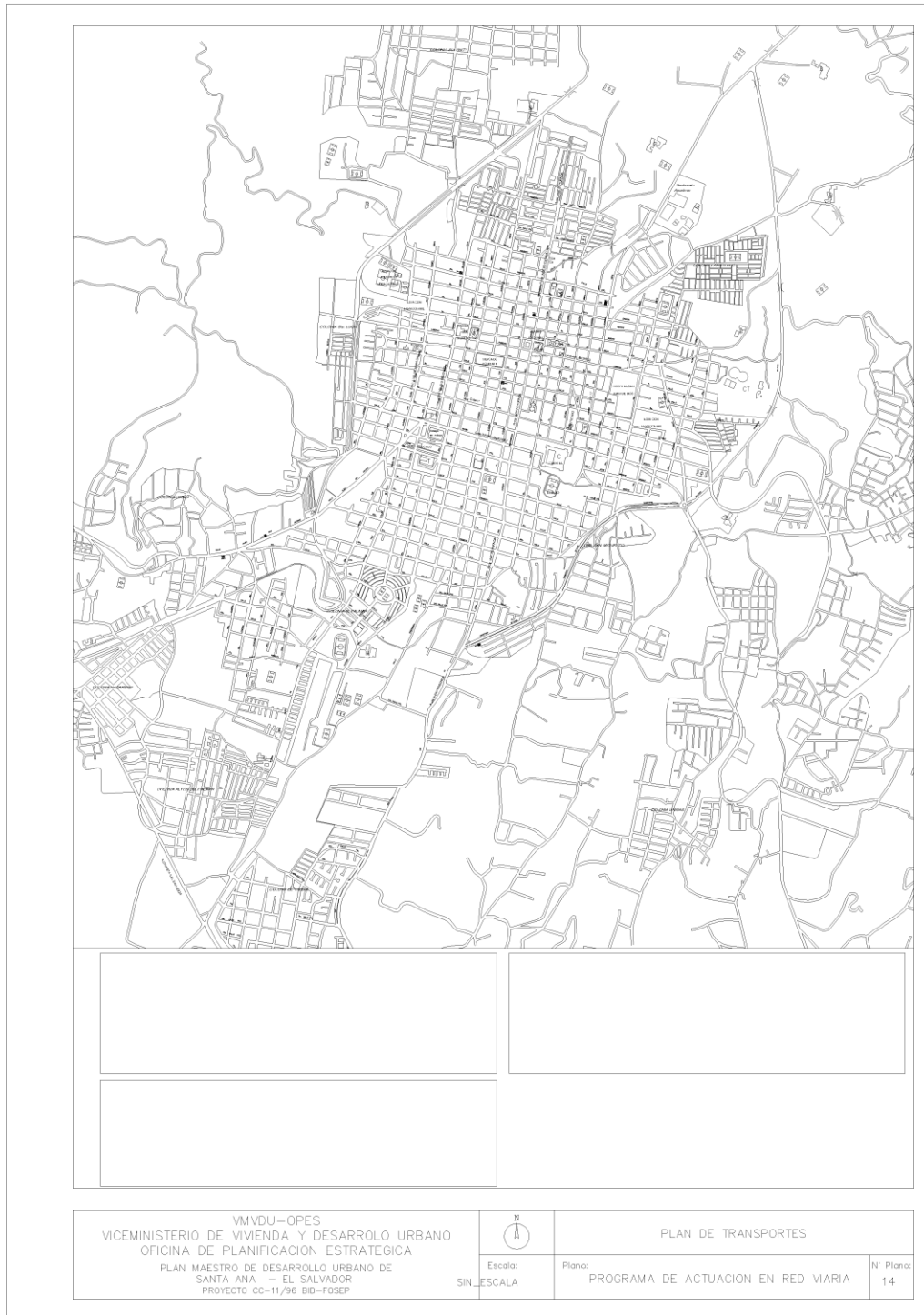
Estructura / Condición	Abandonado/ Daños graves	Mal estado/ Desuso
Tanques elevados		
Torres de altas		
Valla publicitaria		
Transformadores		
Árboles		
Otros	Especifique:	

Observaciones

**ESQUEMA DE UBICACIÓN Y DE LA EDIFICACIÓN**

**Anexo 4.  
Plano del Casco Urbano de la Ciudad de Santa Ana. PLAM ADUR**

**Anexo 5.  
Reporte de Ensayos de pruebas SPT**





### 1. INTRODUCCIÓN.

El contenido del presente estudio de geotecnia está referido para la consultoría de un grupo de edificaciones del conjunto histórico de la ciudad de Santa Ana, para el trabajo de graduación: **“EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD A RIESGO SISMICO DE EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE SANTA ANA.”** Ubicado en Municipio de Santa Ana, Departamento de Santa Ana.

### 2. OBJETIVO.

El análisis de los suelos tiene como propósito determinar por medio del ensayo de penetración (STP), la capacidad de soporte del suelo y en base a las muestras recabadas en el muestreo, las propiedades físicas y mecánicas de los suelos e inferir de los resultados obtenidos en las conclusiones y recomendaciones pertinentes, para garantizar las cimentaciones más apropiadas para la obra proyectada.

Para cumplir el objetivo anterior se requirió de la ejecución de 5 perforaciones S. P. T con una profundidad máxima de 4.00 m.

### 3. TRABAJO DE CAMPO.

Se ejecutó 5 sondeos con equipo “Tipo Acker”, se midió el N° de golpes con prueba de penetración estándar con el objeto de obtener muestras representativas y continuas para su identificación, determinar su contenido de humedad y la resistencia presentada por el suelo a la penetración de una cuchara partida de 2” (50.8 mm) de diámetro externo, hincada con un martillo de 140 lbs. (63.5 Kg) que se deja caer desde una altura de 30” (76 cms) contándose los golpes necesarios para penetrar 1 pie (30.5 cms) según se establece en la norma ASTM D-1586 “PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR Y MUESTREO DE SUELOS CON CUCHARA PARTIDA”.

#### 4. ANALISIS DE LABORATORIO.

De las muestras obtenidas en la perforación se realizaron en el laboratorio los ensayos siguientes de acuerdo a las normas A.S.T.M.

- A. D-2216. "Método de laboratorio para la determinación del Contenido de la humedad de los suelos."
- B. D- 2488. "Practica estándar para la descripción e identificación de suelos."
- C. D- 2487. "Método de prueba para la clasificación de los suelos, para propósitos de ingeniería".

#### 5. ESTRATIGRAFIA

De acuerdo al sitio explorado y con la cota determinada en la perforación como elevación brocal de la terraza existente. El sub-suelo de este se encuentra formado: por estratos de suelo clasificados como: Limo Arenoso Color café Oscuro más Limos Orgánicos (ML + OL) Limo Arenoso Color Café Oscuro más Gravillas Pómez Retenido en Malla ¼. (ML). Limo Arenoso Color Café (ML). Limo Arenoso Color Café más Fragmentos de Rocas Basálticas Manto Rocoso (ML). Limo Arenoso Color Café más Gravillas Retenidas en Malla 3/8 (ML). Limo Arenoso Color Café más Gravillas Retenidas en Malla 1" (ML). Arena Limosa Color Café más Limos Orgánicos (SM + OL). Arena Limosa Color Café (SM).

#### 6. CONTENIDO DE HUMEDAD Y NIVEL FREÁTICO

El contenido de humedad de los suelos en el área explorada es normal, varía entre 21.14 y 26.77 %. El nivel freático o tabla de agua no se encontró dentro de la profundidad explorada en ninguno de los puntos investigados.

MEC - LAB			ARQ. PEDRO ANTONIO LOPEZ RODRIGUEZ LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES						
PETICIONARIO			TESISTAS DE UES - FMO						
PROYECTO			EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD A RIESGO SISMICO DE EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE SANTA ANA.				NÚMERO DE ENSAYO:	1	
28/03/2014			OPERARIO:	Tec. Luis García			CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO:		
			SUPERVISOR:	Arq. Pedro Antonio López			TIPO DE PUNTAZA: CUCHARA PARTIDA		
COTA DE INICIO:			0.00		OBSERVACIONES		VARILLAJE:	6.31	kg/m
COTA FINAL DE ENSAYO:			4.00		NOTA: SE HA TOMADO COMO ELEVACION BROCAL EL NIVEL ACTUAL DEL SUELO.	MASA DE LA MAZA:	63.50	Kg.	
NIVEL FREÁTICO:			-			MASA DE CABEZA DE GOLPEO:	0.80	Kg.	
UBICACIÓN:			ALCALDIA MUNICIPAL DE SANTA ANA AV. INDEPENDENCIA ENTRE 2º C.P. Y CALLE LIBERETAD				MASA DE YUNQUE:	7.20	Kg.
							ALTURA DE CAÍDA:	0.76	m
PROFUNDIDAD	Nº DE GOLPES	N	MUESTRA Nº	% DE H	CLASIFICACIÓN VISUAL		% DE ARENA	SIMBOLOGÍA	
0,00 - 0,20					LIMPIEZA				
0,20 - 0,35									
0,35 - 0,50									
0,50 - 0,70	4	5	M -1	26.37	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ OSCURO MAS LIMOS ORGÁNICOS	SUELTO	10-20	ML + OL	
0,70 - 0,85	3								
0,85 - 1,00	2								
1,00 - 1,20	3	4	M -2	25.12	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ OSCURO MAS GRAVILLAS POMEZ RETENIDOS EN MAYA 1/4	MUY SUELTO	10-20	ML	
1,20 - 1,35	2								
1,35 - 1,50	2								
1,50 - 1,70	5	20	M -3	25.54	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ	SEMI SUELTO	10-20	ML	
1,70 - 1,85	7								
1,85 - 2,00	13								
2,00 - 2,20	11	22	M -4	26.77	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ	SEMI COMPACTO	10-20	ML	
2,20 - 2,35	10								
2,35 - 2,50	12								
2,50 - 2,70	6	14	M -5	25.06	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ	SEMI SUELTO	10-20	ML	
2,70 - 2,85	6								
2,85 - 3,00	8								
3,00 - 3,20	10	22	M -6	26.07	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ	SEMI COMPACTO	10-20	ML	
3,20 - 3,35	10								
3,35 - 3,50	12								
3,50 - 3,70	23	77	M -7	26.47	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ MAS FRAGMENTOS DE ROCAS BASÁLTICAS MANTO ROCOSO	MUY COMPACTO	10-20	ML	
3,70 - 3,85	27								
3,85 - 4,00	50								
4,00 - 4,20	R				CONDICION DE RECHAZO CUANDO N ES > A 50 GOLPES				
4,20 - 4,35									
4,35 - 4,50									
4,50 - 4,70									
4,70 - 4,85									
4,85 - 5,00									

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
**MEC-LAB**  
 El Salvador, C.A.

MEC - LAB			ARQ. PEDRO ANTONIO LOPEZ RODRIGUEZ LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES					
PETICIONARIO			TESISTAS DE UES - FMO					
PROYECTO			EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD A RIESGO SISMICO DE EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE SANTA ANA.			NÚMERO DE ENSAYO:		2
28/03/2014			OPERARIO:		Tec. Luis García		CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO:	
			SUPERVISOR:		Arq. Pedro Antonio López		TIPO DE PUNTAZA: CUCHARA PARTIDA	
COTA DE INICIO:			0.00		OBSERVACIONES		VARILLAJE:	
COTA FINAL DE ENSAYO:			4.00		NOTA: SE HA TOMADO COMO ELEVACION BROCAL EL NIVEL ACTUAL DEL SUELO.		6.31 kg/m	
NIVEL FREÁTICO:			-				MASA DE LA MAZA:	
UBICACIÓN:			PARQUE ISIDRO MENENDEZ 10º AV. NORTE ENTRE 2º CALLE PONIENTE Y CALLE LIBERTAD			MASA DE CABEZA DE GOLPEO:		0.80 Kg.
						MASA DE YUNQUE:		7.20 Kg.
						ALTURA DE CAÍDA:		0.76 m
PROFUNDIDAD	Nº DE GOLPES	N	MUESTRA Nº	% DE H	CLASIFICACIÓN VISUAL		% DE ARENA	SIMBOLOGÍA
0,00 - 0,20					LIMPIEZA			
0,20 - 0,35								
0,35 - 0,50								
0,50 - 0,70	2	38	M -1	23.10	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ OSCURO	COMPACTO	10-20	ML
0,70 - 0,85	2							
0,85 - 1,00	36							
1,00 - 1,20	5							
1,20 - 1,35	7	13	M -2	23.78	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ OSCURO	SEMI SUELTO	20-30	ML
1,35 - 1,50	6							
1,50 - 1,70	8							
1,70 - 1,85	7	14	M -3	23.28	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ OSCURO	SEMI SUELTO	10-20	ML
1,85 - 2,00	7							
2,00 - 2,20	13	29	M -4	21.26	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ MAS GRAVAS RETENIDAS EN MALLA 3/8	SEMI COMPACTO	10-20	ML
2,20 - 2,35	14							
2,35 - 2,50	15							
2,50 - 2,70	25	27	M -5	21.14	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ MAS GRAVAS RETENIDAS EN MALLA 3/8	SEMI COMPACTO	10-20	ML
2,70 - 2,85	13							
2,85 - 3,00	14							
3,00 - 3,20	17	12	M -6		NO HUBO RECUPERACIÓN DE MUESTRAS MANTO ROCOSO			
3,20 - 3,35	6							
3,35 - 3,50	6							
3,50 - 3,70	12	64	M -7		NO HUBO RECUPERACIÓN DE MUESTRAS MANTO ROCOSO			
3,70 - 3,85	14							
3,85 - 4,00	50							
4,00 - 4,20	R				CONDICION DE RECHAZO CUANDO N ES > A 50 GOLPES			
4,20 - 4,35								
4,35 - 4,50								
4,50 - 4,70								
4,70 - 4,85								
4,85 - 5,00								
5,00 - 5,20								
5,20 - 5,35								
5,35 - 5,50								
5,50 - 5,70								
5,70 - 5,85								
5,85 - 6,00								

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
**MEC-LAB**  
El Salvador, C.A.



MEC - LAB			ARQ. PEDRO ANTONIO LOPEZ RODRIGUEZ LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES					
PETICIONARIO			TESISTAS DE UES - FMO					
PROYECTO			EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD A RIESGO SISMICO DE EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE SANTA ANA.		NÚMERO DE ENSAYO:		3	
28/03/2014			OPERARIO:	Tec. Luis Garcia		CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO:		
			SUPERVISOR:	Arq. Pedro Antonio López		TIPO DE PUNTAZA: CUCHARA PARTIDA		
COTA DE INICIO:			0.00	OBSERVACIONES		VARILLAJE:	6.31	kg/m
COTA FINAL DE ENSAYO:			0.85	NOTA: SE HA TOMADO COMO ELEVACION BROCAL EL NIVEL ACTUAL DEL SUELO.		MASA DE LA MAZA:	63.50	Kg.
NIVEL FREÁTICO:			-			MASA DE CABEZA DE GOLPEO:	0.80	Kg.
UBICACIÓN:			PARQUEO 5º CALLE PONIENTE ENTRE 6º Y 8º AVENIDA SUR			MASA DE YUNQUE:	7.20	Kg.
						ALTURA DE CAÍDA:	0.76	m
PROFUNDIDAD	Nº DE GOLPES	N	MUESTRA Nº	% DE H	CLASIFICACIÓN VISUAL	% DE ARENA	SIMBOLOGÍA	
0,00 - 0,20					LIMPIEZA			
0,20 - 0,35								
0,35 - 0,50								
0,50 - 0,70	50	90	M - 1		MEZCLA DE LIMOS ARENOSOS CON ROCAS BASALTICAS			
0,70 - 0,85	40							
0,85 - 1,00	50							
1,00 - 1,20	R				CONDICION DE RECHAZO CUANDO N ES > A 50 GOLPES			
1,20 - 1,35								
1,35 - 1,50								
1,50 - 1,70								
1,70 - 1,85								
1,85 - 2,00								
2,00 - 2,20								
2,20 - 2,35								
2,35 - 2,50								
2,50 - 2,70								
2,70 - 2,85								
2,85 - 3,00								
3,00 - 3,20								
3,20 - 3,35								
3,35 - 3,50								
3,50 - 3,70								
3,70 - 3,85								
3,85 - 4,00								
4,00 - 4,20								
4,20 - 4,35								
4,35 - 4,50								
4,50 - 4,70								
4,70 - 4,85								
4,85 - 5,00								
5,00 - 5,20								
5,20 - 5,35								
5,35 - 5,50								
5,50 - 5,70								
5,70 - 5,85								
5,85 - 6,00								



MEC - LAB			ARQ. PEDRO ANTONIO LOPEZ RODRIGUEZ LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES					
PETICIONARIO			TESISTAS DE UES - FMO					
PROYECTO			EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD A RIESGO SISMICO DE EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE SANTA ANA.			NÚMERO DE ENSAYO:	4	
28/03/2014			OPERARIO:	Tec. Luis García			CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO:	
			SUPERVISOR:	Arq. Pedro Antonio López			TIPO DE PUNTAZA: CUCHARA PARTIDA	
COTA DE INICIO:			0.00	OBSERVACIONES			VARILLAJE:	6.31 kg/m
COTA FINAL DE ENSAYO:			4.00	NOTA: SE HA TOMADO COMO ELEVACION BROCAL EL NIVEL ACTUAL DEL SUELO.			MASA DE LA MAZA:	63.50 Kg.
NIVEL FREÁTICO:			-				MASA DE CABEZA DE GOLPEO:	0.80 Kg.
UBICACIÓN:			CASA PARTICULAR AVENIDA JOSE MATIAS DELGADO SUR ENTRE 7ª Y 9ª CALLE PONIENTE			MASA DE YUNQUE:	7.20 Kg.	
						ALTURA DE CAÍDA:	0.76 m	
PROFUNDIDAD	Nº DE GOLPES	N	MUESTRA Nº	% DE H	CLASIFICACIÓN VISUAL	% DE ARENA	SIMBOLOGÍA	
0,00 - 0,20					LIMPIEZA			
0,20 - 0,35								
0,35 - 0,50								
0,50 - 0,70	1	8	M -1	24.87	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ MAS LIMOS ORGÁNICOS	SUELTO	50 - 60	SM + OL
0,70 - 0,85	3							
0,85 - 1,00	5							
1,00 - 1,20	12	20	M -2	23.84	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ MAS LIMOS ORGÁNICOS	SEMI SUELTO	50 - 60	SM
1,20 - 1,35	10							
1,35 - 1,50	10							
1,50 - 1,70	13	23	M -3	21.42	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ MAS LIMOS ORGÁNICOS	SEMI COMPACTO	40 - 50	ML
1,70 - 1,85	13							
1,85 - 2,00	10							
2,00 - 2,20	3	5	M -4	24.21	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ	SUELTO	10-20	ML
2,20 - 2,35	2							
2,35 - 2,50	3							
2,50 - 2,70	5	13	M -5	24.84	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ	SEMI SUELTO	50 - 60	SM
2,70 - 2,85	7							
2,85 - 3,00	6							
3,00 - 3,20	4	4	M -6	25.81	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ	MUY SUELTO	20 - 30	ML
3,20 - 3,35	2							
3,35 - 3,50	2							
3,50 - 3,70	7	57	M -7	26.52	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ OSCURO	MUY COMPACTO	10-20	ML
3,70 - 3,85	7							
3,85 - 4,00	50							
4,00 - 4,20	R				CONDICION DE RECHAZO CUANDO N ES > A 50 GOLPES			
4,20 - 4,35								
4,35 - 4,50								
4,50 - 4,70								
4,70 - 4,85								
4,85 - 5,00								
5,00 - 5,20								
5,20 - 5,35								
5,35 - 5,50								
5,50 - 5,70								
5,70 - 5,85								
5,85 - 6,00								



MEC - LAB			ARQ. PEDRO ANTONIO LOPEZ RODRIGUEZ LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES					
PETICIONARIO			TESISTAS DE UES - FMO					
PROYECTO			EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD A RIESGO SISMICO DE EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE SANTA ANA.			NÚMERO DE ENSAYO:		5
28/03/2014			OPERARIO:		Tec. Luis García		CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO:	
			SUPERVISOR:		Arq. Pedro Antonio López		TIPO DE PUNTAZA: CUCHARA PARTIDA	
COTA DE INICIO:			0.00		OBSERVACIONES		VARILLAJE:	
COTA FINAL DE ENSAYO:			1.00		NOTA: SE HA TOMADO COMO ELEVACION BROCAL EL NIVEL ACTUAL DEL SUELO.		6.31 kg/m	
NIVEL FREÁTICO:			-				MASA DE LA MAZA:	
UBICACIÓN:			TALLER MECÁNICO 7ª AVENIDA SUR ENTRE 7º Y 9º CALLE ORIENTE.				MASA DE CABEZA DE GOLPEO:	
							0.80 Kg.	
							MASA DE YUNQUE:	
							7.20 Kg.	
							ALTURA DE CAÍDA:	
							0.76 m	
PROFUNDIDAD	Nº DE GOLPES	N	MUESTRA Nº	% DE H	CLASIFICACIÓN VISUAL		% DE ARENA	SIMBOLOGÍA
0,00 - 0,20					LIMPIEZA			
0,20 - 0,35								
0,35 - 0,50								
0,50 - 0,70	4				LIMOS ARENOSOS COLOR CAFÉ MESCLOSADOS CON FRAGMENTOS DE ROCA MANTO ROCOSO EXPUESTO.		MUY COMPACTO	10 - 20
0,70 - 0,85	8	58	M - 1	23.17				ML
0,85 - 1,00	50							
1,00 - 1,20	R				CONDICION DE RECHAZO CUANDO N ES > A 50 GOLPES			
1,20 - 1,35								
1,35 - 1,50								
1,50 - 1,70								
1,70 - 1,85								
1,85 - 2,00								
2,00 - 2,20								
2,20 - 2,35								
2,35 - 2,50								
2,50 - 2,70								
2,70 - 2,85								
2,85 - 3,00								
3,00 - 3,20								
3,20 - 3,35								
3,35 - 3,50								
3,50 - 3,70								
3,70 - 3,85								
3,85 - 4,00								
4,00 - 4,20								
4,20 - 4,35								
4,35 - 4,50								
4,50 - 4,70								
4,70 - 4,85								
4,85 - 5,00								
5,00 - 5,20								
5,20 - 5,35								
5,35 - 5,50								
5,50 - 5,70								
5,70 - 5,85								
5,85 - 6,00								

Laboratorio de In-  
y Materiales  
**MEC-LAB**  
El Salvador, C.A.

## CONCLUSIONES

De la investigación ejecutada en el terreno se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- A. Los lugares donde se ha ejecutado los sondeos, son edificaciones que forman parte del conjunto histórico de la ciudad de Santa Ana. Y se tomaron al azar, tratando sondear varios puntos, para poder determinar cuales son las condiciones actuales del sub suelo de apoyo de las edificaciones.
- B. Los materiales encontrados en la presente investigación son: Limos Arenosos color café. (ML) y Arena limosa color café (SM). Conocidas como cenizas, las que tienen su génesis en las erupciones del volcán de Santa Ana. Por debajo de estas se encontró el manto rocoso que esta formado por rocas basálticas, que son materiales residuales. los contenidos de humedad detectados se pueden considerar como medianos pero no en condición de saturación. El estrato resistente se encontró a partir de -4.00 M. para los puntos No. 1,2 y 3. Para los puntos No.2 y 5. La condición de rechazo fue a -1.00 M. considerar como Capacidad de carga Admisible. 2.00 Kg/Cm<sup>2</sup>. Para todos los puntos.
- C. Para el área de influencia del sondeo No. 1, existe la posibilidad que haya una saturación del suelo por ser este parte del jardín del Palacio Municipal. Ya que los contenidos de humedad son altos. Y pueden afectar la capacidad de carga del suelo de apoyo de las cimentaciones y posiblemente en condición sísmica ocurra el fenómeno de una falla local o licuefacción. (Esta observación es valida para el punto No.4)
- D. En ninguno de los puntos investigados se detecto el nivel freático.





Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

---

E. Datos del suelo: Peso volumétrico suelto 1.65 Ton/M<sup>3</sup>. Angulo de fricción Interna 37°. Cohesión. 0. Considerar estos datos de manera conservadora.

#### RECOMENDACIONES.

Para las edificaciones con valor histórico se propone:

- A. Se recomienda ampliar la investigación de los suelos de apoyo de todas las edificaciones con valor histórico. Con el objeto de comprobar cuales son los materiales existentes y sus caracterices físico mecánicas. Además de su capacidad de carga.
- B. La cimentaciones deberán apoyarse sobre suelos densos, sobre el estrato resistente existente (ver cuadro de resistencias) en ninguna caso deberá apoyarse la estructura sobre suelos en estado suelto o contaminado.
- C. Debido que a partir del nivel 0+00 M. hasta -4.00 M. para los puntos No. 1,2 y 3. la capacidad de carga es baja, se recomienda la aplicación de la siguiente alternativa.
- D. Mejorar las condiciones del sub suelo de apoyo de las cimentaciones, a través de pilas de suelo cemento, mezclado con rocas hasta el nivel del manto rocoso detectado. La separación de las pilas podría ser cada 3.00 M. pero se recomienda elaborar un análisis estructural de la edificación, para tomar en conjunto con el ingeniero estructurista los puntos más críticos. mejorando el sub suelo hasta la profundidad antes indicada.